Storia dell'Ingegneria

Atti del 2° Convegno Nazionale

Napoli, 7-8-9- aprile 2008

tomo primo



CUZZOLIN EDITORE

Storia dell'Ingegneria

Atti del 2° Convegno Nazionale

Napoli, 7-8-9 aprile 2008

tomo primo

a cura di

Salvatore D'Agostino

comitato di redazione

Alfredo Buccaro
Giulio Fabricatore
Lia M. Papa

Comitato scientifico:

Vito Cardone
Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria
Edoardo Cosenza
Università di Napoli Federico II
Salvatore D'Agostino
Università di Napoli Federico II
Felicita De Negri
Archivio di Stato di Napoli
Giuseppe Galasso
Università di Napoli Federico II
Vittorio Marchis
Politecnico di Torino
Giuseppe Marrucci
Università di Napoli Federico II
Andrea Silvestri
Politecnico di Milano
Paolo Stefanelli
Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Comitato organizzatore:

Alfredo Buccaro
Università di Napoli Federico II
Giulio Fabricatore
Università di Napoli Federico II
Lia M. Papa
Università di Napoli Federico II
Vittoria Rinaldi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Luigi Verolino
Università di Napoli Federico II
Luigi Vinci
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Armando Zambrano
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno

Segreteria scientifica e organizzativa:

C.I.Be.C.
Centro Interdipartimentale di Ingegneria
per i Beni Culturali dell'Università di Napoli
e-mail: cibec@unina.it
fax: 0817682106

Facoltà di Ingegneria
Piazzale V. Tecchio, 80
80125 Napoli

Enti Sostenitori:

Centro Interdipartimentale di Ingegneria
per i Beni Culturali (Ci.Be.C.)
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno

Progetto grafico:

Maria Ines Pascariello

Collaborazione all'impaginato:

Carolina Graziani

Si ringraziano le signore Carmela Allagrande e Luciana Sepe per la collaborazione prestata.

Per le immagini pubblicate l'editore resta a disposizione degli eventuali aventi diritto.

Sommario

Tomo primo

Il percorso continua: una nuova tappa
Salvatore D'Agostino 19

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

Una 'sistematica' per la Storia dell'Ingegneria
Vittorio Marchis 25

Il ruolo dell'ingegneria nell'osservazione della Terra dallo Spazio
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti 35

Le stazioni spaziali
Raimondo Fortezza, Rodolfo Monti, Giuseppe De Chiara 47

L'ingegneria dei trasporti:
da ingegneria ferroviaria a ingegneria dei sistemi
Ennio Cascetta, Francesca Pagliara 63

Ingegneria e beni culturali: una storia difficile
Salvatore D'Agostino 73

Gli sviluppi della Teoria dei Giochi e le sue applicazioni
nel campo dell'ingegneria
Giuseppe Bruno, Gennaro Improta, Lina Mallozzi, Antonino Sgalambro 87

L'evoluzione dei Linguaggi di Programmazione
Antonino Mazzeo, Flora Amato 99

La computazione e comunicazione quantistica: dall'idea alla realizzazione tecnologica
Alberto Porzio, Salvatore Solimeno 109

La Teoria dell'elasticità tra Fisica e Ingegneria
Ermenegildo Caccese, Federico Guarracino 117

La scoperta dell'acqua calda (storia dei dispositivi per lo sfruttamento dell'Energia Solare)
Dario Assante, Luigi Verolino 125

Breve storia della chimica
Francesco Branda 135

Il ruolo dell'acciaio nella rivoluzione industriale
Walter Nicodemi, Carlo Mapelli, Cristian Corna 145

Le tecnologie metallurgiche nello sviluppo dell'ingegneria
Walter Nicodemi, Carlo Mapelli, Silvia Barella 155

Una storia degli strumenti di analisi strutturale
Nicola Augenti 165

Logica ed evoluzione delle strategie descrittive
Lia M. Papa 175

Il ruolo dell'ingegneria strutturale nella creazione di nuove spazialità
Zaira Dato, Stefania Di Pietro, Antonio Perretti 185

La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria
Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini 195

La geotecnica e l'evoluzione della progettazione nell'ingegneria civile
Giovanni Calabresi, Giuseppe Scarpelli 205

La lampadina elettrica: una storia anche italiana
Giulio Fabricatore 211

L'elettrificazione delle ferrovie italiane.
Una storia di coraggiosa intraprendenza e di incapacità
a seguire una coerente politica industriale
EMILIO MARAINI 223

La Storia della Radio nella mostra di Cassino
sulla Storia dell'Ingegneria delle Telecomunicazioni
MARCO DONALD MIGLIORE, FRANCO CREMONA, FULVIO SCHETTINO, CIRO D'ELIA 237

Il Radar e la sua storia.
Il museo del Radar di SELEX Sistemi Integrati
ANTONIO PUGLIA 247

Sviluppo di automi in Italia
MARCO CECCARELLI, MICHELA CIGOLA, CESARE ROSSI 257

Storia dell'Ingegneria Forense
NICOLA AUGENTI 267

Le comunicazioni mobili: una storia in movimento
ERMANNO TURCO, PASQUALE FEDELE 277

La sicurezza stradale per una mobilità responsabile
ANTONIO COPPOLA 297

Ingegneria e beni culturali: interdisciplinarietà
in una collaborazione recente e in continua evoluzione
SILVIA PENNISI, RAFFAELLA RIVA SANSEVERINO 309

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Innovazione tecnologica e innovazione formale nell'architettura:
l'evoluzione nelle costruzioni in calcestruzzo armato
ROSALBA LA CRETA, LUIGI ALINI 321

Ingegneria e architettura nel modernismo italiano:
strutturalismo e realismo
SERGIO PORETTI 331

La teoria della consolidazione fra Terzaghi e Fillunger: una disputa accademica nell'Austria degli anni '30
CARLO VIGGIANI 339

Costruire con la terra cruda: un esempio dall'antichità
GIOVANNA GRECO 349

Breve storia dell'evoluzione dei modelli per il suono nelle grandi sale
CARMINE IANNIELLO 361

Il progetto e la costruzione degli apparati radioelettrici durante il secondo conflitto mondiale: diverse filosofie
SIGFRIDO LESCHIUTTA 377

Origini filosofiche del principio delle velocità virtuali
ANNA SINOPOLI 389

Principio delle velocità virtuali e trasformazione per analogia degli 'oggetti' della meccanica
ANNA SINOPOLI 399

Il meccanismo di Anticitera: un oggetto fuori tempo o un prodotto dell'età classica?
CESARE ROSSI, FERRUCCIO RUSSO, FLAVIO RUSSO 409

Per una storia dell'ingegneria idraulica nell'antichità
MARIA LETIZIA CONFORTO, SILVIA NICOLUCCI 421

Il porto dell'antica Puteoli: evoluzione dell'ingegneria marittima in età romana
MARIDA SALVATORI 431

Malte per il restauro di opere d'arte antiche
RICCARDO SERSALE 441

Traiettorie tecnologiche nell'invenzione dell'orologio meccanico nel Medioevo
GIUSEPPE ZOLLO 449

Alcune tappe verso l'automazione
CESARE ROSSI, MICHELA CIGOLA, MARCO CECCARELLI 461

Aspetti della costruzione dei ponti nel Settecento
LUCIANO MARIA MONACO 471

'Misurando'. Storia delle misure dal XVII secolo ad oggi attraverso la collezione privata di un appassionato ingegnere
ORONZO MAURO 477

La Statica degli Edifici *dell'ingegnere napoletano Vincenzo Lamberti: un trattato teorico-pratico del tardo XVIII secolo*
MARIA LIPPIELLO 487

Dalla cultura tecnica settecentesca alla meccanica di Navier
LUCIANO BOSCOTRECASE 497

Note sulla diagnosi dei dissesti strutturali tra XVIII e XIX secolo
BIANCA GIOIA MARINO 509

I sistemi di misura nel Mezzogiorno verso l''eguaglianza': da due pesi e due misure al sistema metrico decimale
FRANCESCA M. LO FARO 521

Un disegno per l'ingegneria ottocentesca
CRISTINA CÀNDITO 541

Saint-Venant prima del 'problema di Saint-Venant'. Studi sulla resistenza dei materiali (1837-1853)
FEDERICO FOCE 551

Materiali costruttivi nell'architettura napoletana di fine Ottocento tra tradizione e nuove conoscenze tecniche
CLAUDIA AVETA 563

Stazioni ferroviarie: disegno e tecnologie tra XIX e XX secolo
PIERPAOLO D'AGOSTINO 573

I cicli tecnologici del trasporto terrestre delle merci
PAOLO FERRARI 583

Evoluzione dei traffici e degli impianti portuali
EDOARDO BENASSAI 595

Un manoscritto anonimo di esperienze idrauliche
FILIPPO NIEDDU 607

Sviluppo della valorizzazione irrigua nel Mezzogiorno
ROBERTO CARRAVETTA 615

Dismissione e rinascita del trasporto tranviario. Il caso di Napoli
GIOVANNI FRESA 629

La cassaforma nella costruzione italiana del Novecento
STEFANIA MORNATI 639

Prime applicazioni del calcestruzzo armato
nella trasformazione di antichi edifici a Napoli
RAFFAELE AMORE 649

Consolidaciones históricas.
Las fábricas tradicionales y su consolidación mediante
sistemas y técnicas constructivas 'modernas'
SUSANA MORA ALONSO-MUÑOYERRO 661

Relazione tra forma e struttura
nella recente storia dei ponti italiani
STEFANIA PALAORO, ENZO SIVIERO 671

L'edilizia scolastica prefabbricata in Italia.
La sperimentazione degli anni '60
RICCARDO GULLI 681

La costruzione metallica nell'architettura
dei punti ristoro autostradali del dopoguerra in Italia
LAURA GRECO 691

Patrimonio storico e catalogazione dei disegni
FRANCESCO ROSA, EDOARDO ROVIDA 701

Strumenti e tecniche di rilevamento e restituzione grafica avanzate per la valutazione dei meccanismi di danno nell'architettura storica monumentale: il caso della Chiesa di Santa Maria del Quartiere in Parma
CHIARA VERNIZZI 707

Le perizie tecniche per la stabilità della tholos micenea
MARIA TERESA COMO 717

L'ultima città. Ricerca formale ed elementi costruttivi nelle necropoli etrusche
GIGLIOLA AUSIELLO 727

Lo studio del comportamento statico delle strutture antiche e le nuove tecnologie per il rilievo e la modellazione tridimensionale: la cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma
ANDREA GHIRETTI 741

L'influenza dell'evoluzione territoriale moderna sulle grandi infrastrutture del passato: il caso dei Regi Lagni in Campania
ANNA NATALE 751

Tomo secondo

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

L'insegnamento delle discipline umanistiche e sociali nella formazione degli ingegneri
VITO CARDONE 781

Ingegneria tra scienza e arte: il Codice Corazza *e la permanenza del modello vinciano nella cultura napoletana*
ALFREDO BUCCARO 797

Il disegno illuminato dal testo
PIER GABRIELE MOLARI 811

Il disegno degli ingegneri, tra metodo e ragion pratica
Maria Ines Pascariello 819

Il constructeur*: la tradizione ingegneristica francese del XIX secolo nella storiografia architettonica del Novecento*
Andrea Maglio 829

L'ingegneria dei ponti in ferro nella manualistica ottocentesca
Anna Bottini 839

Il ruolo del disegno nella formazione e nella professione dell'ingegnere: uno sguardo al passato
Licio Pavan 849

Una dissertazione di laurea presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Napoli
Tommaso Esposito, Raffaele Mauro 855

L'insegnamento dell'ingegneria chimica: storia e prospettive
Gianni Astarita, Giuseppe Marrucci 861

La didattica del disegno di architettura tra Otto e Novecento
Maura Boffito 867

L'insegnamento della scienza delle costruzioni in Italia
Riccardo Barsotti, Stefano Bennati, Danilo Capecchi, Giuseppe Ruta 875

Evoluzione dei modelli di termoregolazione del corpo umano
Francesca Romana d'Ambrosio 887

Un sogno durato un secolo: il Politecnico di Palermo
Antonio Cottone, Tiziana Basiricò 901

Donne e tecnologia: il caso del politecnico di Torino tra la fine dell'Ottocento e gli anni Cinquanta
Margherita Bongiovanni 915

Camillo Guerra e i "Quaderni di Architettura e di Urbanistica": didattica e costruzione nella Napoli degli anni Trenta
Francesco Viola 921

Da "Casabella" a "Costruzioni-Casabella": la rivista di Giuseppe Pagano e il trait d'union *con la cultura dell'ingegneria*
GABRIELLA MUSTO 931

L'ingegnere oggi tra azienda e società
MARIO RAFFA 945

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Luigi Giura: il primo ingegnere di Stato nell'Italia in costruzione
EDOARDO COSENZA, ROBERTO PARISI 959

Gli ingegneri del granduca di Toscana e i terremoti del Seicento: una nota sull'eredità dell'osservare e del descrivere
EMANUELA GUIDOBONI 971

Sulla storia del restauro statico della cupola di San Pietro in Roma eseguito da Poleni e Vanvitelli
MARIO COMO 981

Eugenio Miozzi, un ingegnere tra tradizione e modernità
ENZO SIVIERO, ILARIA ZAMPINI 991

Santo Domingo de la Calzada: l'ingegnere del Camino de Santiago
GIULIO FABRICATORE 1001

Obras de ingeniería en el Próximo Oriente en la Antigüedad
AMPARO GRACIANI GARCÍA 1007

La trasformazione dei porti e degli arsenali del Regno di Napoli nel passaggio dalla propulsione remica a quella velica
MARIA SIRAGO 1017

L'approvvigionamento idrico della città di Napoli. L'acquedotto del Serino e il Formale Reale in un manoscritto della Biblioteca Nazionale di Madrid
GIUSEPPE MARIA MONTUONO 1029

Niccolò Tartaglia, matematico e ingegnere
Emilio Chirone, PierLuigi Pizzamiglio 1051

Luigi Vanvitelli e la cultura tecnica del Settecento
Aldo Aveta 1061

L'Acquedotto Carolino: il sistema produttivo dei mulini
Riccardo Serraglio 1073

Sulle orme di Luigi Vanvitelli.
Cultura tecnica e architettura in Terra di Lavoro
Maria Gabriella Pezone 1081

Il regio ingegnere Giuseppe Giordano
nella cultura borbonica tra '700 e '800
Giuseppina D'Errico 1095

Le fucine della Valle Trompia alla base della metallurgia bresciana
Massimo Persico, Carlo Remino 1107

I progetti del Borgo Murattiano della città di Bari:
confronto fra ingegneri e architetti
Claudio Mazzanti 1117

L'ingegneria idraulica in epoca borbonica:
il sistema produttivo del Regio Canale di Sarno
Francesca Castanò 1129

Luigi Oberty
e il progetto di riduzione dell'antico castello di Montesarchio
Giuliana Ricciardi 1139

Ignazio Gardella sr. e le 'terrazze di marmo' a Genova
Stefano Poli 1145

Raffaele Pareto (1812-1882). Il contributo al dibattito sull'arte
e il restauro nella cultura italiana del secondo Ottocento
Serena Pesenti 1155

L'ingegneria del ferro nei mercati del XIX secolo a Barcellona
Carlos Alberto Cacciavillani 1165

Un ingegnere all'opera nel Grande Archivio di Napoli (1835-1864): Ercole Lauria
Fausto De Mattia, Felicita De Negri 1175

Storia dell'illuminazione a gas nella città di Napoli
Andrea Lizza 1183

Illuminare le coste: i fari del golfo di napoli nel XIX secolo
Ornella Cirillo 1193

La pianificazione stradale in Sicilia prima dell'Unità d'Italia
Marco Guerrieri, Roberta Marino, Alessandro Crisafulli 1205

Infrastrutture ottocentesche della costa tirrenica orientale della Sicilia
Mario Manganaro 1215

La via della Libertà a Palermo
Orazio Giuffrè, Marco Guerrieri, Anna Granà 1225

Dalla relazione Possenti ai primi provvedimenti postunitari per il completamento e l'adeguamento della rete stradale siciliana
Marco Guerrieri, Anna Granà, Alessandro Crisafulli 1235

La prima pianificazione postunitaria della rete ferroviaria della Sicilia
Marco Guerrieri, Tullio Giuffrè, Alessandro Crisafulli 1245

Sviluppo urbano della città di Campobasso dopo l'Unità d'Italia: l'edilizia pubblica e il ruolo degli ingegneri
Nina Maria Margiotta 1255

Persistenze e segni delle infrastrutture nel paesaggio del sud Piemonte
Maria Paola Marabotto, Nadia Fabris, Giulio Capriolo 1265

Ponti in muratura di fine ‘800 nell’Italia meridionale
PAOLO BELLI 1275

Le infrastrutture storiche della Valsugana
ANNA VILLANOVA 1281

Alle origini dell’ingegneria ferroviaria in Campania: la costruzione della linea Avellino-Ponte S. Venere (1888-1895) e gli attuali problemi di conservazione
ANDREA PANE 1291

Infrastrutture territoriali ed urbane in Costiera Amalfitana tra Otto e Novecento
MARIA RUSSO 1301

Prime funicolari: binari, freni, funi, rulli
GIOVANNI FRESA 1311

Alle radici di una difficile coesistenza nella città stratificata: elaborazioni e progetti per la Funicolare Centrale e il cinema-teatro Augusteo in Napoli
VALENTINA RUSSO 1321

Il contributo di Ercole Bottani e del Politecnico di Milano alla ricostruzione postbellica nel settore elettrico
ANDREA SILVESTRI 1331

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell’ingegneria del primo Novecento. Parte I: il profilo del professionista, dall’architetto all’ingegnere
ENZO SIVIERO, MARCELLO ARICI, FRANCESCA ARICI 1341

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell’ingegneria del primo Novecento. Parte II: il profilo dell’ingegnere
ENZO SIVIERO, MARCELLO ARICI, FRANCESCA ARICI 1351

Cento anni di solitudine nell’Irpinia balcanica. Emigrazione, capitali ed elettrificazione a Greci
CARLO MEOLA 1359

Puentes colgantes entre las estructuras metálicas de la arquitectura venezolana en la década 1920
Mónica Silva Contreras 1371

Struttura e rivestimento in un'opera di ingegneria civile di Gaetano Minnucci
Luigi Stendardo 1383

Il Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo in Napoli di Camillo Guerra
Renato Iovino 1393

Il Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli di Camillo Guerra
Flavia Fascia 1403

Camillo Guerra e gli aspetti strutturali del restauro architettonico
Renata Picone 1413

Ingegneri a Torino tra fascismo, guerra e avvio della ricostruzione (1925-1946)
Andrea Villa 1429

Il dibattito sul consolidamento della cupola di San Gaudenzio a Novara (1931-1945): un contributo alla storia della dinamica delle costruzioni in Italia
Chiara Calderini, Luisa Pagnini 1437

Stazioni della prima metà del '900 tra rappresentatività pubblica e ridisegno urbano: Afragola e Benevento
Carolina De Falco 1447

Carlo Pradella ingegnere
Enzo Siviero, Giorgio Pradella 1457

La fábrica de cemento ENCI de Maastricht y sus ampliaciones tras la Segunda Guerra Mundial
Rafael García 1465

Carlos Raúl Villanueva
Pionero en la construcción de la modernidad venezolana
NANCY DEMBO 1475

Ingegneria e restauro nella ricostruzione postbellica.
Gli studi di Piero Sanpaolesi
per la copertura del Camposanto Monumentale di Pisa
ARIANNA SPINOSA 1487

Il boom dell'ingegneria italiana:
il ruolo di Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso
TULLIA IORI 1501

Strutture di accosto nei porti marittimi
EDOARDO BENASSAI 1511

ELENCO DEGLI AUTORI 1525

SALVATORE D'AGOSTINO

Il percorso continua: una nuova tappa

A quattro anni dalla fondazione dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria ed a due dal primo Convegno Nazionale, questo secondo Convegno rappresenta la più evidente testimonianza della volontà dell'Ingegneria Italiana di voler approfondire con tenace costanza la conoscenza della propria storia.

In questi ultimi due anni non sono certo mancate iniziative concrete che hanno contribuito alla evoluzione di un così complesso processo culturale. Si sono avuti infatti Convegni quali "L'Ingegneria e la sua storia", organizzato dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Salerno, sono stati pubblicati volumi quali quello dedicato agli "Ingegneri a Pavia tra formazione e professione", è stato presentato il progetto del Museo del Radar a Bacoli e si stanno sviluppando collezioni private, come la raccolta "Misurando", dedicata appunto agli strumenti di misura. Ulteriori iniziative sono state promosse dall'Università di Firenze, con il Convegno dedicato ad Antonio Meucci, e dall'Università di Pavia, con il Convegno sulla Storia dell'Industria Elettrica in Italia.

L'Associazione segue con vivo interesse queste iniziative, che pubblicizza nella sezione "news" del suo sito, in cui è presente anche la sezione "pubblicazioni", nella quale sono raccolti i riferimenti bibliografici di interesse, che già conta oltre cento voci e per la cui crescita si sollecita il contributo di tutti. Sul piano delle iniziative concrete, l'Associazione ha inoltre collaborato con la Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria per istituire una rete nazionale per la promozione della Storia dell'Ingegneria ed ha promosso un'analoga iniziativa in collaborazione con gli Ordini Provinciali degli Ingegneri, sostenuta e coordinata dagli Ordini delle Province di Napoli e Salerno. I risultati di tali iniziative saranno discussi e coordinati in questo Convegno.

Per il futuro, l'Associazione intende mantenere vivo l'interesse per la Storia dell'Ingegneria, anche promuovendo Convegni su specifici temi, per documentare la ricchezza e la complessità di linee di ricerca di interesse anche di tanti ricercatori, universitari e non, che appartengono a culture diverse da quella dell'Ingegneria (dall'architettura alla geofisica, dalla storia all'archeologia) ma che in essa convergono.

Per quanto riguarda questo Convegno, il rilevante numero di memorie presentate, tutte pubblicate negli Atti, ha comportato, come per il primo Convegno, l'organizzazione di una sessione poster in cui vengono presentati contributi per i quali ci si aspetta una presentazione vivace e accattivante; peraltro, l'insieme dei poster presentati finora ai due convegni comincia a configurarsi come una possibile mostra itinerante che

può stimolare confronti e dibattiti. Con riferimento agli Atti, si è deciso di conservare la stessa impostazione editoriale e le stesse sezioni tematiche della precedente edizione, al fine di dare continuità ad un percorso appena iniziato e che potrà, con il susseguirsi dei Convegni, configurarsi come un vero e proprio archivio in itinere per la Storia dell'Ingegneria italiana e non solo, stante i contributi pervenuti dalla Spagna e dall'America latina; si auspica vivamente che i contributi esteri si estendano via via ad altri Paesi, il che potrebbe comportare modifiche alla struttura dei futuri Convegni.

Prima di concludere queste brevi note di presentazione è necessario riprendere e sottolineare alcune direttrici culturali già presentate nel precedente Convegno e che si ritiene necessario sviluppare affinché, proprio nel nome della sua Storia, l'Ingegneria italiana possa, con il contributo di tutti, essere pienamente cosciente del ruolo che è chiamata a svolgere nell'attuale contesto storico.

Una prima direttrice può essere individuata nello sforzo per rendere disponibile la conoscenza delle fonti di archivio; è questo un problema di non facile soluzione, sia perché non sempre l'ingegnere ha questo tipo di approccio con la storia della propria cultura, sia per la particolare congiuntura economica e culturale, che vede quasi sempre in sofferenza gli Archivi, pubblici e privati. Su questo aspetto, un compito importante attende le Facoltà di Ingegneria tutte, che devono sollecitare i giovani allievi verso la Storia. Più in particolare quelle Facoltà che hanno il privilegio di disporre di fondi di libri antichi e rari e/o di apparecchiature scientifiche di valore storico dobrebbero riqualificare il materiale librario e, al contempo, realizzare e diffondere la conoscenza dei "Musei diffusi", che peraltro consentono di non disperdere un grande patrimonio di attrezzature scientifiche.

Un'ulteriore direttrice è identificabile nella necessità della promozione di una cultura umanistica presso le Facoltà di Ingegneria, che sia in Europa sia in America trova significativi riscontri, come è stato già sottolineato nel precedente Convegno ed è efficacemente ripreso in questo. In effetti, bisogna prendere atto che, a valle di una scuola sempre meno formativa, l'ingegnere non ha più rapporti con tale cultura né con quella storico-sociale, che pure ne condiziona comportamenti e sviluppi; a questo proposito, va riconosciuto che in realtà esistono iniziative locali, che però stentano ad estendersi sul piano nazionale e non riescono ad avere un significativo riscontro istituzionale

Andrebbe poi in qualche modo contrastata la distorta utilizzazione di parte della tecnologia contemporanea, sostenuta dal sistema industriale e da quello commerciale che, mediante martellanti campagne pubblicitarie ed opportune direttive tecniche che prescindono dalla conoscenza storica e quindi da meditate valutazioni critiche, inducono diffidenza nell'opinione pubblica e negli ambienti culturali più consapevoli. Ciò è particolarmente evidente per l'Ingegneria biomedica, quella dei materiali, quella dei

beni culturali e ambientali, ed anche, per gli aspetti che incidono sulle valutazioni socio-economiche per l'Ingegneria gestionale.

Fortunatamente, non mancano certo campi di eccellenza, quali l'osservazione della Terra dallo spazio e le reti di sistemi di trasporto, che trovano anche riscontro in relazioni al Convegno insieme a tanti altri contributi sugli strumenti della moderna Ingegneria, si pensi alla teoria dei giochi e allo sviluppo di nuovi codici linguistici, su riflessioni critiche riguardanti l'Ingegneria dei beni culturali e dei materiali, e perfino sull'alto senso morale degli antichi Maestri, che si contrappone malinconicamente all'attuale senso del potere che si riveste di vuoto presenzialismo. In conclusione, la coscienza del ruolo fondamentale che l'Ingegneria tutta è chiamata a svolgere nel mondo contemporaneo, ancora fortemente caratterizzato dal passaggio tra la civiltà industriale a quella informatizzata, induce viva preoccupazione per il reale pericolo che l'ingegnere italiano veda vanificare quelle funzioni dirigenziali e manageriali che ne hanno caratterizzato il ruolo nell'ultimo secolo e che rischiano di essere ridotte a quello di tecnico esecutivo. Si auspica pertanto che tutte le istituzioni preposte alla formazione dell'ingegnere lavorino per allargarne gli orizzonti culturali, così che egli possa approfondire la propria identità, riconoscere le proprie radici e sviluppare l'innovazione con una visione più meditata del futuro che ci attende.

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

VITTORIO MARCHIS

Una 'sistematica' per la Storia dell'Ingegneria

Quando nel XVIII secolo Carl Linné mise mano al suo *Systema Naturae* aveva ben chiaro che le scienze naturali, per entrare a pieno diritto nella "nuova scienza", avevano bisogno di fare chiarezza al proprio interno. Esse avevano bisogno di una struttura in grado di distinguere *philum*, *genus*, *species*. Il poter distinguere le relazioni strutturali tra gli appartenenti a una famiglia e la loro organizzazione gerarchica stava diventando l'elemento chiave della osservazione e della classificazione dei tre "regni" e soprattutto (inconsciamente) stava ponendo le basi a quanto avrebbe sviluppato nel secolo successivo Charles Darwin con la sua "teoria" dell'evoluzione.

Ma prima ancora di questi sviluppi, assolutamente impensabili al tempo di Linné, - e si prenda questa parentesi solo a titolo di esempio paradigmatico - si sentiva l'esigenza di stabilire, per esempio, se il corallo fosse una specie animale o vegetale, quando alcuni addirittura potevano pensare che fosse di origine minerale. Fu un italiano, Vitaliano Donati, a porre fine alla questione con un suo saggio scientifico intitolato *Della storia naturale marina dell'Adriatico* che, dopo essere stato pubblicato in italiano (Venezia, appresso Francesco Storti, 1750) ebbe traduzioni in inglese ("Phil. Trans.", XLVII, London, 1753), in tedesco (Halle, 1753) e in francese (La Haye, 1758). Ma non è il caso qui di aprire un capitolo che altri molto più qualificati hanno già diffusamente e puntualmente approfondito (G. BARSANTI, *Una lunga pazienza cieca*, Torino, Einaudi, 2005).

Gli sforzi di classificare la "natura" avevano origini assai antiche e sono state ampiamente descritte da un altro saggio del già citato Barsanti (*La Scala, la Mappa, l'Albero*, Firenze: Sansoni, 1992) e alle metodiche analizzate si farà riferimento nelle brevi note che seguono.

Può invece essere utile soffermarsi sul termine "storia" che ricorre anche nel titolo del citato saggio del Donati. Le ragioni di una "storia" naturale si devono trovare nell'opera di Francesco Bacone che all'inizio del secolo XVII impostò un'opera monumentale di descrizione del mondo *more historico*, includendo in essa non solo ciò che era "naturale" ma anche quanto era "artificiale" ossia fatto ad arte, per mezzo della tecnica.

Se nella meccanica una struttura "elementare" (ossia "per elementi") cercava di spiegare l'organizzazione degli *ingegnia* attraverso la loro scomposizione nelle "macchine semplici", nel mondo antico la organizzazione sistematica del sapere può solo essere derivata dai pochi trattati che ci sono giunti. Il *De Architectura* di Marco Vitruvio Pollione è organizzato in dieci libri:



Libro 1: Introduzione all'architettura. La scelta dei luoghi. Gli elementi della geometria.

Libro 2: La storia e la filosofia del costruire. Gli elementi del costruire: mattoni, pietre, sabbia, calce, pozzolana. i legnami. La costruzione dei muri.

Libro 3: Gli ordini architettonici e i canoni del costruire. Le fondazioni e le colonne.

Libro 4: I templi.

Libro 5: Gli edifici pubblici: il foro, i teatri, la basilica. Elementi di armonia musicale. Acustica architettonica.

Libro 6: Geografia ambientale. Le misure degli edifici.

Libro 7: I terrazzi, i muri, gli intonaci. Tecnica e preparazione dei colori.

Libro 8: l'idraulica: reperimento delle risorse e conduzione delle acque.

Libro 9: La misura del territorio. Nozioni di geometria. La misura del tempo e nozioni di Astronomia

Libro 10: La macchina. Le macchine da cantiere. Le macchine idrauliche. Le macchine da guerra. L'organo musicale.

Questa suddivisione permette di individuare una prima mappa delle discipline e degli ambiti che competono all'*ingegnarius* o *architectus*, due professioni che ancora si confonderanno per molti secoli. Ma alle discipline si mescolano le tipologie dei "prodotti" di una tecnica significativamente indirizzata alle costruzioni edili. Purtroppo manca una completa descrizione dell'opera di Varrone, prolifico trattatista.

Nel Medioevo i trattati e le enciclopedie descrivono un mondo "naturale" dove gli artefatti hanno una posizione assolutamente secondaria. Il manuale popolare *Didascalicon de studio legendi* di Ugo di San Vittore, si basa sulla ripartizione delle *artes* secondo la classificazione della scienza di Aristotele e Boezio, la amplia e contempla le nuove "arti meccaniche", "bastarde" ma necessarie per sopperire alle debolezze del corpo umano. Si parla di fabbricazione di tessuti e di armi, di tecniche di navigazione, di agricoltura, di caccia, di medicina e di arti teatrali.

"Tutte le conoscenze dapprima furono nella pratica, quindi divennero tecniche" Fra le "arti meccaniche o adulterine" si leggono "lanificium, armaturam, navigationem, agriculturam, venationem, medicinam, theatricam".

Il *Catalogus historiarum particularium secundum capita* (London 1620) che viene posto da Francesco Bacone (1561-1626) a seguito del *Novum Organum*, con impaginazione distinta, può essere assunto come struttura di un'ipotetica enciclopedia delle arti e dei mestieri: è il prototipo progettuale dell'*En-*

cyclopédie. Le "storie", o meglio il loro elenco, di cui si riporta il dettaglio relativo alle sole arti, riescono a descrivere compiutamente la storia della tecnica e dell'ingegneria. Qui dopo la *Storia dei corpi celesti, o storia astronomica* seguono le *Storie delle grandi masse* e quindi le *Storie delle specie naturali*. Di qui incominciano le "storie delle arti e delle industria":

[...] *26. Storia dei metalli perfetti, dell'oro, dell'argento; e delle miniere, delle vene e delle loro marcassiti; e anche la storia del lavoro nelle miniere.* [...] *Seguono le storie dell'uomo.* [...] *81. Storia dell'arte culinaria e delle arti sussidiarie, come del macello, dell'allevamento dei polli, ecc. 82. Storia della cottura, della panificazione e delle arti sussidiarie, come quella del mugnaio, ecc. 83. Storia del vino. 84. Storia della cantina e dei differenti tipi di bevande. 85. Storia dei dolci e delle confetture. 86. Storia del miele. 87. Storia dello zucchero. 88. Storia dei latticini. 89. Storia dei bagni e unguenti. 90. Storia miscellanea relativa alla cura del corpo; dei barbieri, profumieri, ecc. 91. Storia della lavorazione dell'oro e arti sussidiarie. 92. Storia della lana e delle arti sussidiarie. 93. Storia delle manifatture della seta e delle arti sussidiarie. 94. Storia delle manifatture del lino, della canapa, del cotone, delle setole, e di altri tipi di filo, e delle loro arti sussidiarie. 95. Storia della lavorazione delle piume. 96. Storia della tessitura, e delle arti sussidiarie. 97. Storia della tintoria. 98. Storia della conciatura, della lavorazione del cuoio, e delle arti sussidiarie. 99. Storia della lavorazione di coltrici e piume. 100. Storia della lavorazione del ferro. 101. Storia dell'estrazione e della lavorazione della pietra. 102. Storia della costruzione dei mattoni e delle tegole. 103. Storia della costruzione dei vasi. 104. Storia dei cementi e degli smalti. 105. Storia della lavorazione del legno. 106. Storia della lavorazione del piombo. 107. Storia del vetro e di tutte le sostanze vetrose e della lavorazione del vetro. 108. Storia dell'architettura in generale. 109. Storia della costruzione di carri, carrozze, lettighe, ecc. 110. Storia dell'arte tipografica, dei libri, della scrittura, dei sigilli; dell'inchiostro, della penna, della carta, delle membrane, ecc. 111. Storia della cera. 112. Storia dei lavori di vimini. 113. Storia dei lavori di stuoie e delle manifatture di paglia, di giunco e simili. 114. Storia della lavanderia e delle pulizie, ecc. 115. Storia dell'agricoltura, della pastorizia, della coltura dei boschi, ecc. 116. Storia dell'orticoltura. 117. Storia della pesca. 118. Storia della caccia e dell'uccellagione. 119. Storia dell'arte della guerra, e delle arti sussidiarie, come la costruzione di armi, di archi, frecce, archibugi, cannoni, baliste, macchine, ecc. 120. Storia dell'arte della navigazione, e dei mestieri e delle arti sussidiarie. 121. Storia dell'atletica e degli esercizi umani in genere. 122. Storia dell'arte del cavalcare. 123. Storia dei giochi di ogni tipo. 124. Storia dei prestigiatori e dei saltimbanchi. 125. Storia miscellanea di diversi materiali arti-*



ficiali; come lo smalto, la porcellana, vari cementi, ecc. 126. Storia dei sali. 127. Storia miscellanea di diverse macchine e moti. 128. Storia miscellanea degli esperimenti comuni, che non si sono costituiti in arte. Si devono scrivere anche le storie delle matematiche pure, per quanto esse siano piuttosto osservazioni che esperimenti. 129. Storia delle nature e dei poteri dei numeri. 130. Storia delle nature e dei poteri delle figure. (F. Bacone, *Opere*, a cura di P. Rossi, Torino, Utet, 1975, pp. 815 sgg.)

Ma queste storie mancano di una struttura gerarchica e sembra solo che il loro autore abbia avuto la preoccupazione di non dimenticare nulla. Delle «storie» baconiane, furono progettate tra il 1622 e il 1623 l'*Historia ventorum*, l'*Historia gravis et levis*, l'*Historia sympathiae et antipathiae rerum*, l'*Historia sulphuris, mercurii et salis*, l'*Historia vitae et mortis*, l'*Historia densi et rari*, ma solamente le ultime due furono portate a compimento e pubblicate postume nel 1658.

Intanto l'ingegneria, promossa presso il grande pubblico dai teatri di macchine, continuava a suddividersi in ingegneria "civile" e "militare", lasciando la prima ampio spazio a una scienza che sempre più andava delineandosi nella sua autonomia: l'Idraulica, di cui lo scienziato e amico di Galilei, il padre Benedetto Castelli, fu uno dei pionieri.

Per tutto il XVII secolo sembra quasi che la preoccupazione di dare ordine nella tecnica, che già stava subendo importanti processi innovativi, non risultasse primaria. Bisogna pertanto aspettare il "secolo dei lumi" e soprattutto le nuove esigenze dei corpi tecnici militari per far nascere una "sistematica" del sapere tecnico.

La nuova situazione venutasi a creare nel Ducato sabaudo dopo la vittoria sui Francesi (1706) impose una organizzazione generale delle strutture dello Stato, per avviare una "ricostruzione" organica ed efficiente. In questi piani non doveva, né di fatto lo fu, essere trascurato l'Esercito e soprattutto i suoi corpi tecnici. Nella dinamica della ricostruzione, il re Vittorio Amedeo II diramò in data 23 marzo 1726 un *Regio Viglietto* sulle norme di "construzione de' novi Inventarij dell'Artiglieria". L'esigenza di "far denominare propriamente e categoricamente tutte le rispettive Robbe et Utigli" dell'Artiglieria è sintomo di una nuova mentalità aperta a concetti innovativi di efficienza e funzionalità. A seguito di un nuovo Viglietto

emanato da Carlo Emanuele III, in data 24 marzo 1731 si rinnovò la prescrizione di eseguire un nuovo inventario delle "Robbe d'Artiglieria". Il 18 aprile dello stesso anno il Commendator D'Embser fu "caricato di far eseguire il contenuto dei controscritti tre capi" e cioè di redigere: un "novo Vocabolario [...] sovra tutte le categorie" concernenti l'Artiglieria. Con rapidità incredibile, in meno di due anni furono redatti due documenti. Il primo è il *Dizzionario Istruttivo di tutte le Robbe appartenenti all'Artiglieria*, il secondo documento è invece una raccolta di *Dissegni d'ogni sorta de Cannoni et Mortari con tutte le pezze, stromenti et utigli appartenenti all'Artiglieria come anco le piante, alzate et profili di tutte le machine, edifizy, et ordegni necessary per la medema, l'anno 1732*". Se pure solo limitatamente all'ingegneria militare, il *Dizzionario* resta un "catalogo ragionato" di grandissimo interesse per l'organizzazione dell'ingegneria militare dell'epoca.

D'altro canto, se la *Cyclopedia or, An Universal Dictionary of Arts and Sciences* (London, 1728) di Ephraim Chambers ancora risente di un enciclopedismo medievale, seppure fortemente già polarizzato sulle scienze e le tecniche, è l'*Encyclopédie* (Paris, 1751) di Didertot e D'Alembert a mettere un po' d'ordine nelle tassonomie. Nel *Tableau raisonnée des connaissances humaines,* che introduce il primo volume la conoscenza umana è suddivisa in tre settori: *Memoire, Raison, Imagination*: la classificazione di "arts, métiers, et manufactures" prevede che le tecniche siano classificate all'interno della *mémoire*, e più precisamente nell'ambito dell'*histoire naturelle*, secondo un'enumerazione semplice e priva di organicità. Charles Dupin, nei suoi corsi al Conservatoire, ha classificato le diverse arti e mestieri secondo i bisogni dell'uomo, alla luce della nuova organizzazione del lavoro industriale, nella maniera più conforme ai ruoli assunti nella società:

1. la preparazione delle materie prime

2. il nutrimento dell'uomo, compreso i medicinali

3. i vestiti ovvero le arti vestiarie

4. i mutamenti del globo per renderlo conforme ai nostri desideri

5. i mobili, gli utensili, gli strumenti, e le macchine

6. la lavorazione degli oggetti

7. gli strumenti e le procedure usate nelle scienze e nelle belle arti.

Sono le prime industrie e soprattutto le "esposizioni di arti e manifatture" a far nascere l'esigenza di rimettere in ordine un settore che stava entrando in una fase di grande complessità.

Il 1862 è l'anno della *International Exhibition* di Londra, la medesima in cui il senatore De Vincenzi raccolse materiali per il nucleo originario per il Museo Industriale Italiano. L'universo della società tecnologica è organizzato, dopo gli innumerevoli tentativi che ancora oggi leggiamo nei verbali delle Commissioni, nei cataloghi delle Mostre, negli elenchi dei Premi - in 36 categorie, che invece sono la fotografia della società (inglese) di quell'anno 1862:

1. Cave, miniere, metallurgia e prodotti minerali

2. Sostanze e prodotti chimici e farmaceutici

3. Sostanze usate come alimentari

4. Sostanze vegetali e animali utilizzate nelle manifatture

5. Ferrovie, incluse locomotive e vagoni

6. Mezzi di trasporto non appartenenti a sistemi ferroviari e tramviari

7. Macchine per le manifatture e utensili

8. Macchine in generale

9. Macchine agricole e accessori

10. Ingegneria civile, architettura e costruzioni

11. Ingegneria militare, armi e accessori, armi portatili

12. Architettura e costruzioni navali

13. Strumenti scientifici e processi dipendenti dal loro uso

14. Apparecchi fotografici e fotografia

15. Orologeria

16. Strumenti musicali

17. Strumenti chirurgici e loro applicazioni

18. Cotone

19. Lino e canapa

20. Seta e velluti

21. Lana e fibre animali

22. Tappeti

23. Tessuti, filati, feltri come campioni di tintura e di stampa

24. Tappezzerie, pizzi e passamaneria

25. Pelli, pellicce, piume e capelli

26. Cuoio, compresi finimenti e selleria

27. Abbigliamento

28. Carta, oggetti di cartoleria, stampa e legatura

29. Prodotti educativi

30. Arredamento, carta da parati e decorazioni

31. Ferro e oggetti metallici

32. Coltelleria

33. Oggetti in metalli preziosi e loro imitazioni; gioielleria

34. Oggetti in vetro decorativi e per la casa

35. Ceramiche

36. Articoli da toelette e da viaggio; articoli vari.

È però inevitabile che le classificazioni "industriali" e "merceologiche" seguano le mode e stentino a radicarsi all'interno di saperi codificati nelle "scuole" e destinate alla trasmissione del sapere tecnico sulla base di un contesto culturale che ha bisogno di riferimenti più stabili e duraturi, come li richiede la nuova "cultura politecnica".

La storia dell'ingegneria, si sviluppa però non solo intorno all'innovazione industriale, ma trova nelle istituzioni, negli "istituti tecnici superiori", nei "politecnici" lo spazio naturale per un consolidamento di nuove suddivisioni disciplinari. I vari corsi di laurea, sorti negli atenei italiani, e in specie nelle facoltà di ingegneria, nella seconda metà del XX secolo hanno portato oggi a una proliferazione delle "ingegnerie" il cui catalogo, al di là di varianti minimali, può essere sintetizzato come segue:

Ingegneria aeronautica e spaziale
Ingegneria agroalimentare
Ingegneria ambientale
Ingegneria biomedica

Ingegneria chimica
Ingegneria civile
Ingegneria dell'automazione
Ingegneria dell'autoveicolo
Ingegneria delle telecomunicazioni
Ingegneria elettrica industriale
Ingegneria elettronica
Ingegneria energetica
Ingegneria ferroviaria
Ingegneria fisica
Ingegneria gestionale
Ingegneria idraulica
Ingegneria industriale
Ingegneria informatica
Ingegneria meccanica
Ingegneria militare
Ingegneria mineraria
Ingegneria navale
Ingegneria nucleare
Ingegneria tessile

Forse, per una disamina più organica, sarebbe più utile trovare un "ordinamento" cronologico delle varie discipline individuandone la data e il luogo di "nascita". Così, per esempio, e sempre solo con riferimento al "caso" italiano, calato nella realtà delle "specializzazioni" universitarie, si avrebbe il seguente elenco cronologico e geografico:

Ingegneria civile (1859, Torino, Milano)
Ingegneria meccanica (1867, Torino)
Ingegneria chimica (1867, Torino)
Ingegneria metallurgica (1867, Torino)
Ingegneria industriale agricola (1867, Torino)
Ingegneria industriale (1879, Torino e Milano)
Ingegneria elettrotecnica (1886, Torino)
Ingegneria aeronautica (1913, Torino)
...
Ingegneria aerospaziale (1960, Roma)
Ingegneria gestionale (1975, Milano)

Ma anche in questo caso il legarsi troppo rigidamente alla nascita di un corso di laurea rischia di dimenticare gli "esperimenti pilota", le esperienze pionieristiche, che spesso lasciano tracce significative nella storia della conoscenza, anche se non hanno il tempo di consolidarsi all'interno delle istituzioni.

E allora, forse, potrebbe sembrare più utile il legare la tassonomia dell'ingegneria al sorgere di nuove discipline, istituzionalizzate all'interno di corsi universitari, ma la situazione appare subito caotica.

Del resto anche la stessa suddivisione dei cosiddetti "settori scientifico-disciplinari" regolati dal Decreto del Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica del 4 ottobre 2000, di cui si stralcia la parte relativa all'ingegneria, è stato recentemente posto all'esame di nuove revisioni e accorpamenti.

AREA 08 - INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA

ICAR/01 Idraulica
ICAR/02 Costruzioni idrauliche e marittime e idrologia
ICAR/03 Ingegneria sanitaria-ambientale
ICAR/04 Strade, ferrovie ed aeroporti
ICAR/05 Trasporti
ICAR/06 Topografia e cartografia
ICAR/07 Geotecnica

ICAR/08 Scienza delle costruzioni
ICAR/09 Tecnica delle costruzioni
ICAR/10 Architettura tecnica
ICAR/11 Produzione edilizia
ICAR/12 Tecnologia dell'architettura
ICAR/13 Disegno industriale
ICAR/14 composizione architet-tonica e urbana
ICAR/15 Architettura del paesaggio
ICAR/16 Architettura degli interni e allestimento
ICAR/17 Disegno
ICAR/18 Storia dell'architettura
ICAR/19 Restauro
ICAR/20 Tecnica e pianificazione urbanistica
ICAR/21 Urbanistica
ICAR/22 Estimo

AREA 09 - INGEGNERIA INDUSTRIALE E DELL'INFORMAZIONE

ING-IND/01 Architettura navale
ING-IND/02 Costruzioni e impianti navali e marini
ING-IND/03 Meccanica del volo
ING-IND/04 Costruzioni e strutture aerospaziali
ING-IND/05 Impianti e sistemi aerospaziali
ING-IND/06 Fluidodinamica
ING-IND/07 Propulsione aerospaziale
ING-IND/08 Macchine a fluido
ING-IND/09 Sistemi per l'energia e l'ambiente
ING-IND/10 Fisica tecnica industriale
ING-IND/11 Fisica tecnica ambientale
ING-IND/12 Misure meccaniche e termiche
ING-IND/13 Meccanica applicata alle macchine
ING-IND/14 Progettazione meccanica e costruzione di macchine
ING-IND/15 Disegno e metodi dell'ingegneria industriale
ING-IND/16 Tecnologie e sistemi di lavorazione
ING-IND/1 Impianti industriali meccanici
ING-IND/18 Fisica dei reattori nucleari
ING-IND/19 Impianti nucleari
ING-IND/20 Misure e strumentazione nucleari
ING-IND/21 Metallurgia
ING-IND/22 Scienza e tecnologia dei materiali
ING-IND/23 Chimica fisica applicata
ING-IND/24 Principi di ingegneria chimica
ING-IND/25 Impianti chimici
ING-IND/26 Teoria dello sviluppo dei processi chimici
ING-IND/27 Chimica industriale e tecnologica
ING-IND/28 Ingegneria e sicurezza degli scavi
ING-IND/29 Ingegneria delle materie prime
ING-IND/30 Idrocarburi e fluidi del sottosuolo
ING-IND/31 Elettrotecnica
ING-IND/32 Convertitori, macchine e azionamenti elettrici
ING-IND/33 Sistemi elettrici per l'energia
ING-IND/34 Bioingegneria industriale

ING-IND/35 Ingegneria economico-gestionale
ING-INF/01 Elettronica
ING-INF/02 Campi elettromagnetici
ING-INF/03 Telecomunicazioni
ING-INF/04 Automatica
ING-INF/05 Sistemi di elaborazione delle informazioni
ING-INF/06 Bioingegneria elettronica e informatica
ING-INF/07 Misure elettriche e elettroniche

Per concludere, di fronte a un problema che qui è solo presentato in maniera frammentaria e incompleta, per evidenziarne le criticità nella stessa sua formulazione, si ritorna a una recente "rappresentazione" dell'ingegneria apparsa in una Mostra (*Ingegneri per gioco, giochi per ingegneri*, Milano novembre-dicembre 2007, Torino febbraio-marzo 2008) la quale ha accorpato il "sapere" degli ingegneri in nove "categorie" che abbandonano i "settori disciplinari" per privilegiare i fondamenti epistemologici di un sapere tecnico in continua evoluzione:

Matematica e Fisica
Materiali e Processi
Costruzioni e Architetture
Meccanica e Trasporti
Energetica e Ambiente
Aeronautica e Spazio
Elettronica e Telecomunicazioni
Automazione e Robotica
Logistica e Management

È inevitabile che le classificazioni seguono dinamiche in continua evoluzione e non possono congelarsi in rigidi schemi, e inoltre ogni tassonomia non può considerarsi assoluta ed "esclusiva" perché gli ambiti culturali sconfinano gli uni negli altri e proprio da queste contaminazioni nascono e nasceranno le discipline future.

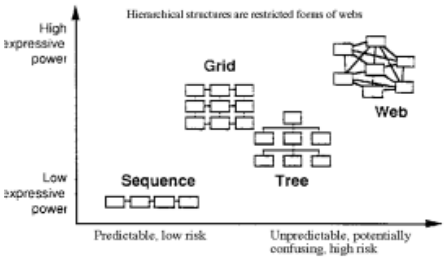
Una tassonomia dell'ingegneria, in assoluto, non è quindi possibile e ogni classificazione rischia di cadere sotto questo o quel riduzionismo, ma ciò nonostante una storia tassonomica dell'ingegneria di certo aiuterà a comprendere l'evoluzione di un *corpus* disciplinare intorno a cui ancora si è fatto poco per fare luce sui suoi fondamenti epistemologici. Ma soltanto con questa visione tassonomica sarà possibile incominciare a organizzare una completa "storia dell'ingegneria". *Pensare/classificare* è il titolo di un curioso saggio di Georges Perec (Milano, Rizzoli, 1989) dove sono puntualizzate le domande cardine intorno a ogni classificazione, perché "pensare *è* classificare".

"Che cosa significa la barra di separazione tra il pensare e il classificare? Che cosa mi si domanda, alla fine? Se penso prima di classificare? Se classifico prima di pensare? Come classifico ciò che penso? Come penso quando voglio classificare?"

E poiché ogni classificazione reca in sé una struttura gerarchica, forse varrebbe la pena rifarsi allo schema che hanno proposto Brockmann, Horton e Brock (R.J. Brockmann, W. Horton, e K. Brock, *From database to hypertext via electronic publishing: an information odyssey*, in *The Society of text: hypertext, hypermedia, and the social*

construction of information, a cura di Edward Barrett, Cambridge-London, The MIT Press, 1989).

Alla sequenza, all'albero, alla matrice, la società dell'informazione, che trova nel Web la sua nuova realtà operativa e di supporto, nonché i suoi nuovi fondamenti epistemologici, si sta sostituendo il paradigma della rete, dove gli intrichi e i "sentieri che si biforcano" sembrano essere la nuova "regola".



MARIO CALAMIA, GIORGIO FRANCESCHETTI

Il ruolo dell'ingegneria nell'osservazione della Terra dallo Spazio

Introduzione

L'Osservazione della Terra dallo Spazio, qualunque ne sia lo scopo, è un problema complesso, multidisciplinare, che coinvolge competenze estremamente vaste. È giusto pertanto parlare del "ruolo dell'ingegneria" nelle sue diversificate competenze. Se poi anzichè limitarsi al singolo problema, parliamo di studio dell'ambiente in senso lato, allora tale studio diventa un fenomeno globale, perchè si tratta di controllare, con strumenti diversi, vaste zone dello spazio terrestre. Infatti maggiori sono volume e superficie contemporaneamente monitorati, più significativi sono i risultati. La disponibilità di satelliti orbitanti è risultata determinante nello studio del sistema Terra in generale, e anche, in particolare, nel loro utilizzo per il controllo dell'ambiente e per comprendere fenomeni e trasformazioni avvenute nel corso dei secoli e dei millenni. Il satellite è una piattaforma eccezionale per collocarvi la strumentazione più diversa allo scopo di valutare e controllare parametri ambientali e il loro andamento temporale: dallo studio del sistema Terra in generale, all'analisi della superficie terrestre ed alle sue trasformazioni in relazione, per esempio, alle variazioni stagionali e anche alle modificazioni introdotte dall'uomo.

Il discorso è molto ampio e non si può pensare di coprirlo in un breve articolo, che sintetizza la presentazione al Convegno. Ci si limita, pertanto, ad una rapida carrellata, sulla base della nostra personale esperienza, vissuta come Project Scientists Italiani, in occasione delle più complesse ed avanzate missioni scientifiche abitate (e cioè con equipaggio a bordo del satellite) di Osservazione della Terra finora realizzate. Tali missioni (SIR-C/X-SAR), effettuate due nel 1994 e l'ultima nel 2000, hanno avuto lo scopo di mettere in evidenza la potenzialità dell'Osservazione dallo Spazio con sistemi radar in vari settori applicativi, in particolare nell'ambito del controllo dell'ambiente nei settori: Ecologia, Geologia, Idrologia, Oceanografia.

La novità delle missioni SIR-C/X-SAR consiste nel fatto che, per la prima volta, si mettevano in orbita, su una unica piattaforma, tre radar a frequenze diverse, a diverse polarizzazioni, capaci di osservare con diversi angoli di incidenza. Questo ha consentito di ricavare, per ogni tipo di applicazione, i parametri ottimi del radar (SAR, Radar ad Apertura Sintetica), e quindi, viceversa, classificare l'affidabilità dei dati ottenuti.

In particolare, si era in presenza di missioni scientifiche e abitate. *Scientifiche* perché si è trattato di missioni con lo scopo di sperimentare nuove tecnologie radar (per la prima volta un radar in banda-X in orbita), di valutare global-

mente le variazioni stagionali (una missione in Aprile, l'altra in Ottobre, la terza in Febbraio), di verificare la fattibilità della interferometria dallo spazio (con la prima e la seconda missione) e quindi, sulla base della risposta positiva ottenuta, di predisporre un sistema interferometrico operativo con la terza missione. *Abitate* perché era prevista la presenza dell'uomo, anzi di un intero equipaggio (sei persone) per rendere efficace e significativa la sperimentazione. La carrozza adoperata, infatti, è stato la navicella spaziale *Shuttle*, con equipaggio e programmato ritorno a Terra.

Le orbite erano state determinate in modo da poter essere ripercorse in giorni diversi della stessa missione, o anche di due missioni diverse. Il risultato è stato la disponibilità di un gran numero di immagini semplici o complesse, queste ultime ottenute combinando immagini della stessa zona riferite a momenti diversi per avere *immagini multitemporali*; o a frequenze diverse per avere *immagini multifrequenziali*; o con polarizzazioni diverse, per avere *immagini multipolarimetriche*.

Ci si è sinora limitati a sistemi di *osservazione radar*, perché le missioni citate hanno utilizzato questo tipo di sensori. Ma l'osservazione dallo Spazio è cominciata con l'utilizzo di *sensori ottici*, dalle prime semplici fotografie, ai moderni sensori, estremamente sofisticati. Nella sezioni seguenti, quindi, si presenta una sintetica carrellata, relativa allo sviluppo dei sensori, ottici e radar, mettendo in evidenza lo stretto legame che si è creato negli ultimi 60 anni tra questo sviluppo e le missioni che li hanno utilizzati.

Osservazione ottica

- *E' necessaria la visibilità (assenza di nubi, presenza di luce, etc.)*
- *L'immagine acquisita dipende dalla posizione del Sole*
- *L'osservazione ottica utilizza sensori passivi: acquisiscono energia da sorgenti esterne*
- *Può consentire la visione in profondità di oggetti trasparenti*

Osservazione radar

- *Utilizza sensori attivi che illuminano l'oggetto*
- *E' insensibile alla presenza di nubi e pioggia*
- *Può penetrare oggetti opachi (non conduttori)*

Tab. 1 - Osservazione ottica e osservazione radar

Evoluzione tecnologica: gli strumenti

Come si evidenzia dall'esame della Tabella 1, i due modi di osservare (ottico e radar) sono abbastanza complementari e quindi possono essere utili sia in maniera separata, sia per integrare le diverse informazioni. Il comportamento della superficie terrestre, in termini di risposta alle diverse frequenze ottiche o alle microonde, è messo in evidenza nella Fig. 1. È evidente quindi che combinando opportunamente le diverse risposte è possibile ottenere una informazione più completa rispetto alla risposta singola.

Gli strumenti disponibili all'inizio dell'era satellitare erano ottici. Il radar non era utilizzabile in quanto sarebbe facile dimostrare che, considerando la quota dei satelliti, coi radar disponibili (essenzialmente per problemi connessi alle dimensioni delle antenne) non si sarebbero potute raggiungere le risoluzioni richieste. Tuttavia, già negli anni '50 cominciarono le sperimentazioni per montare il radar (coerente e ad apertura sintetica) su un aereo.

Non c'è, però, un periodo ottico ed un periodo radar nel telerilevamento da satellite: l'osservazione radar, arrivata certamente dopo, si è posta, come detto, come complementare ed integrativa di quella ottica.



Fig. 1 - Immagine radar di Long Island (in basso) confrontata con un'immagine ottica (in alto). L'immagine è stata acquisita durante le missioni SIR-C/X-SAR. Rosso: L-HH, Verde: L-HV, Blu: C-HV

Evoluzione tecnologica: il sensore ottico

L'evoluzione del sensore ottico, associata all'affidabilità degli strumenti (l'affidabilità è un requisito base per la strumentazione a bordo di satelliti) ha via via modificato il "sistema" per meglio utilizzarne le potenzialità tecnologiche.

Le tappe percorse sono sintetizzate nella Tabella 2.

Evoluzione tecnologica: il sensore passivo a microonde

I sistemi passivi a microonde raccolgono l'energia a microonde emessa naturalmente dagli oggetti entro il loro campo visivo. Una classifica di tali sensori è riportata nella Tabella 3. La configurazione base di un tale dispositivo prevede l'uso di un'antenna ricevente a microonde che raccoglie l'energia e,

- Return Beam Vidicon (RBV): 3 bande funzionanti pancromaticamente.
  Strumento simile ad un tubo di ripresa televisivo capace di prendere immagini "snapshot" della superficie terrestre lungo la traccia a terra del satellite.

- MultiSpectral Scanner (MSS): 4, 5 bande.
  E' un dispositivo a scansione meccanica che acquisisce dati mediante scansione della superficie terrestre in strisce normali al moto del satellite.

- Thematic Mapper (TM): 6, 7 bande.
  E' un dispositivo a scansione meccanica, come l'MSS, ma possiede migliori caratteristiche spettrali, spaziali e radiomeriche e scansione differente dall'MSS.

- High Resolution Visible (HRV): multispettrale e pancromatico.
  E' un dispositivo a scansione che, invece di specchi oscillanti (MSS e TM), utilizza un array lineare di rivelatori ad accoppiamento di carica (CCD).

- Enhanced Thematic Mapper (ETM):
  come il TM, con l'aggiunta di una banda pancromatica.

- Sensore pancromatico.

Tab. 2 - Evoluzione tecnologica dei sensori ottici

- Radiometri
- Radiometri a scansione
- Radiometri multispettrali e iperspettrali
- Radiometri polarimetrici

Tab. 3 - Evoluzione tecnologica dei sensori ottici ottici passivi a microonde

attraverso un commutatore rapido, confronta il relativo livello, generalmente basso, con quello di un generatore di riferimento standard. L'evoluzione tecnologica ha consentito di affinare sempre più tali sensori, passando dal radiometro fisso, a quelli a scansione, a quelli multispettrali e polarimetrici, sempre più sofisticati.

Evoluzione tecnologica: il sensore radar

L'osservazione dallo Spazio, da quote non inferiori ai 200 Km., con una discriminazione accettabile, richiederebbe antenne di dimensioni di centinaia di metri, la cui difficoltà di realizzazione e collocazione in orbita è evidente. Non sarebbe, di per sé, impossibile (basti pensare alla Stazione Spaziale), ma tempi e costi costituirebbero certamente un problema. La soluzione è oggi data dal radar ad apertura sintetica (SAR).

Questo sensore si muove rispetto all'oggetto da osservare e quindi lo rileva per un certo tempo. Attraverso un' operazione di elaborazione dei dati osservati in tale tempo (qualche secondo), il radar, in moto traslatorio perché posto sul satellite, riesce ad osservare la scena come se, anziché da un'antenna di alcuni metri, operasse con una antenna *virtuale* di centinaia di metri. In definitiva, viene ad essere *sintetizzata* un'antenna di dimensioni molto più grandi del reale, e avere quindi un sensore di facile trasportabilità, di semplice collocazione su un satellite, e di costo contenuto.

Abbiamo così il SAR, che, col suo sviluppo tecnologico ed operativo, ha consentito di ottenere risultati di grande interesse. Anche per il radar, pertanto, possiamo indicare le tappe percorse indicate nella Tabella 4.

- Radar ad apertura reale (RAR)
- SAR ad angolo di puntamento fisso
- SAR ad angolo di puntamento variabile meccanicamente
- SAR ad angolo di puntamento variabile elettronicamente

Tab. 4 - Evoluzione tecnologica dei sensori radar

Le ridotte dimensioni dell'antenna posta sul satellite hanno poi consentito la sperimentazione della *interferometria* dallo Spazio, cioè di osservare la stessa scena a terra da due punti dello spazio leggermente discosti (quella che in ottica è la vista binoculare, per ricavare la terza dimensione).

Nelle prime due missioni citate, si è proceduto all'esperimento di fare ripercorrere allo Shuttle la stessa orbita ed estrarre le frange di interferenza da due immagini radar ottenute in due istanti diversi. La prima immagine ottenuta con questo sistema, durante la seconda missione dell'ottobre 1994, è stata quella dell'ETNA (Fig. 2).

Si è così realizzato il SAR interferometrico con passaggi ripetuti. Lo stesso risultato si è potuto ottenere con due satelliti che si muovevano in tandem (ERS-1 ed ERS-2), per arrivare poi alla terza missione (febbraio 2000), per la quale si è modificato il radar montato sullo Shuttle, associando ai radar in bande C e X, già presenti nelle precedenti

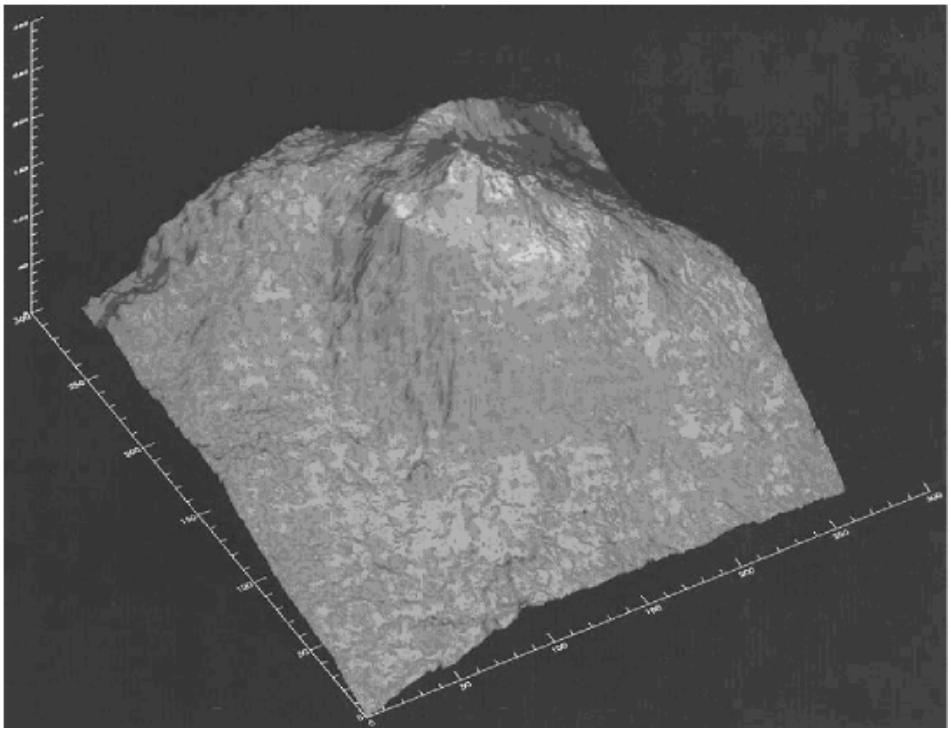


Fig. 2 - Vista del vulcano Etna, ricostruita tramite interferometria in banda X

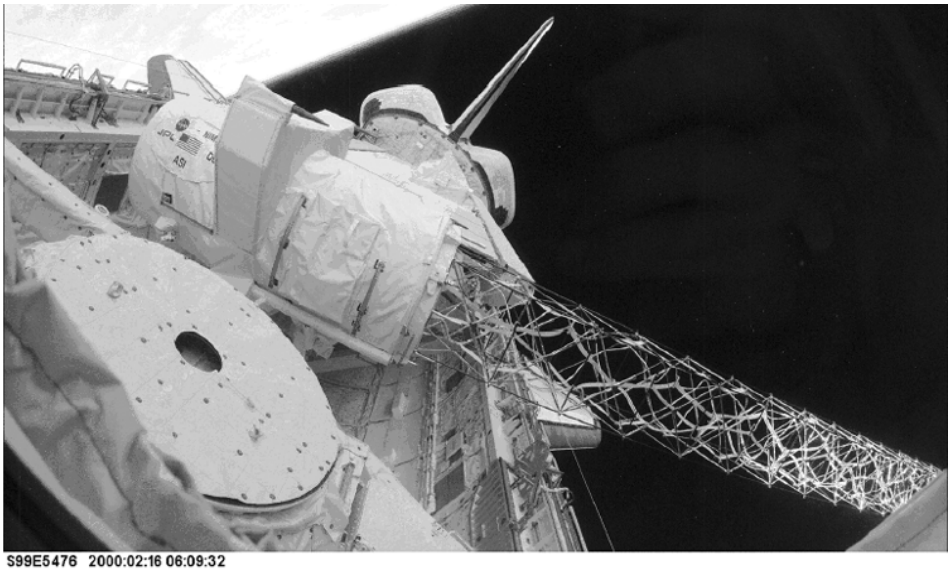


Fig. 3 - Lo Shuttle Endeavour in orbita durante la missione SRTM. Sono visibili i pannelli delle antenne master ed il braccio alla cui estremità sono collocate le antenne slave

missioni, un ricevitore radar ulteriore, la cui antenna (bande C e X) era collocata all'estremità di un braccio lungo 60 metri che si dispiegava dopo che lo Shuttle era entrato in orbita. Si realizzava così il SAR interferometrico a singolo passaggio, che può riscrivere tutta la moderna cartografia (Fig. 3).

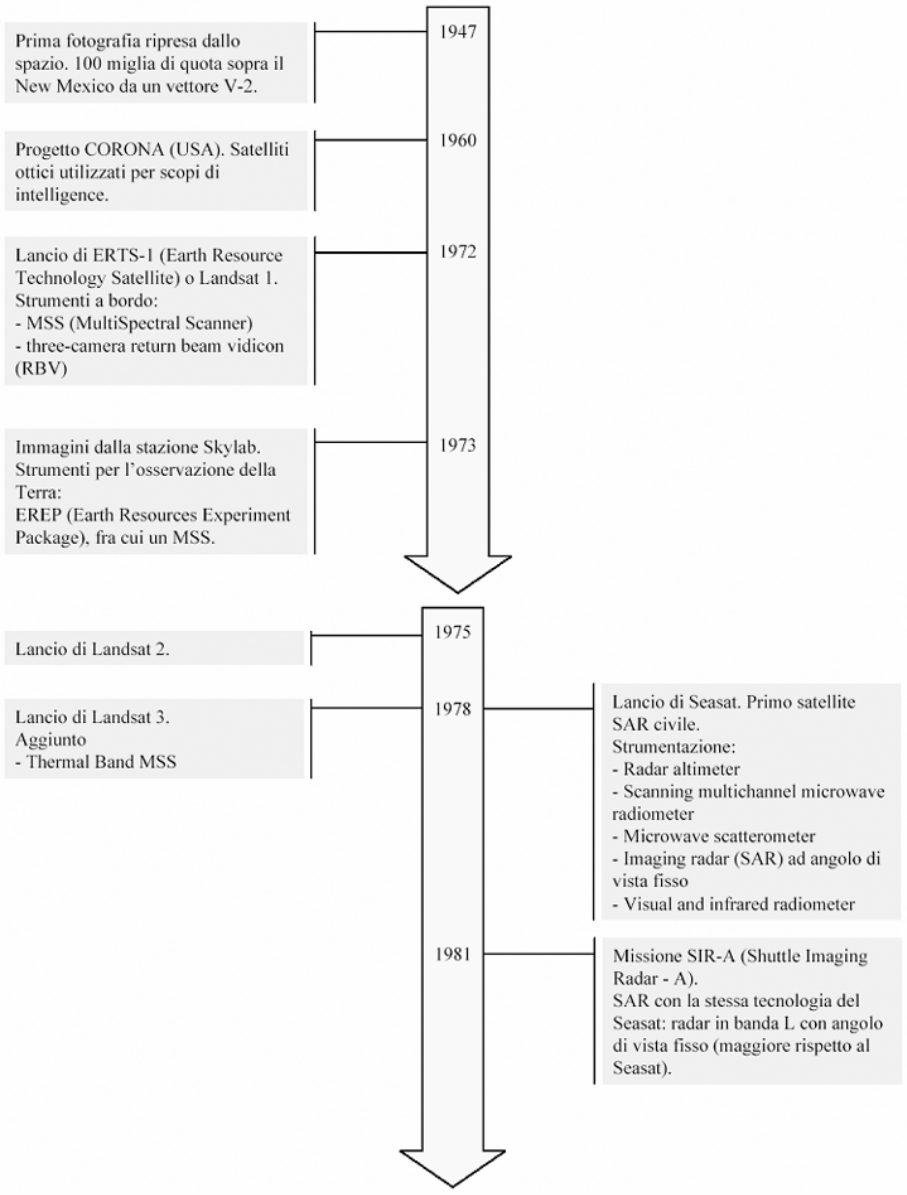


Fig. 4 - Evoluzioni sistemistica. Le principali missioni

guito l'evoluzione tecnologica dei sensori, cercando di utilizzare la tecnologia disponibile per ottenere prodotti di qualità sempre migliore. Siamo così passati dalle missioni squisitamente ottiche a quelle squisitamente radar, che hanno portato anche a immagini integrate ottico-radar. Il passo successivo è costituito

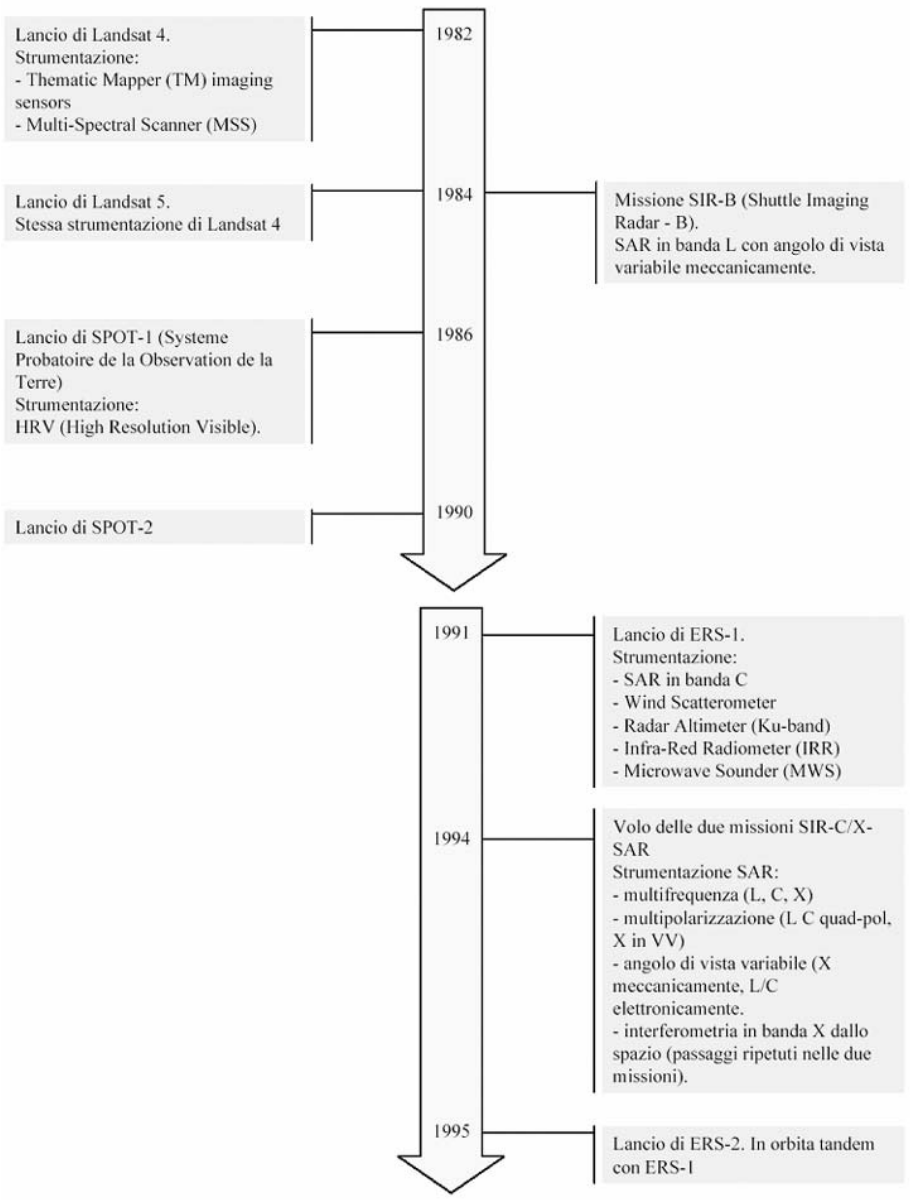


Fig. 4 (cont.) - Evoluzione sistemistica. Le principali missioni

da missioni nelle quali il satellite porta strumentazione ottica e radar, e il futuro (già iniziato) è rappresentato non più dal singolo satellite, ma da costellazioni con sensori ottici e sensori radar, per realizzare la fusione dei dati (*data fusion*) che potrà fornire, a ritmo continuo, immagini di altissima qualità. Si passa ov-

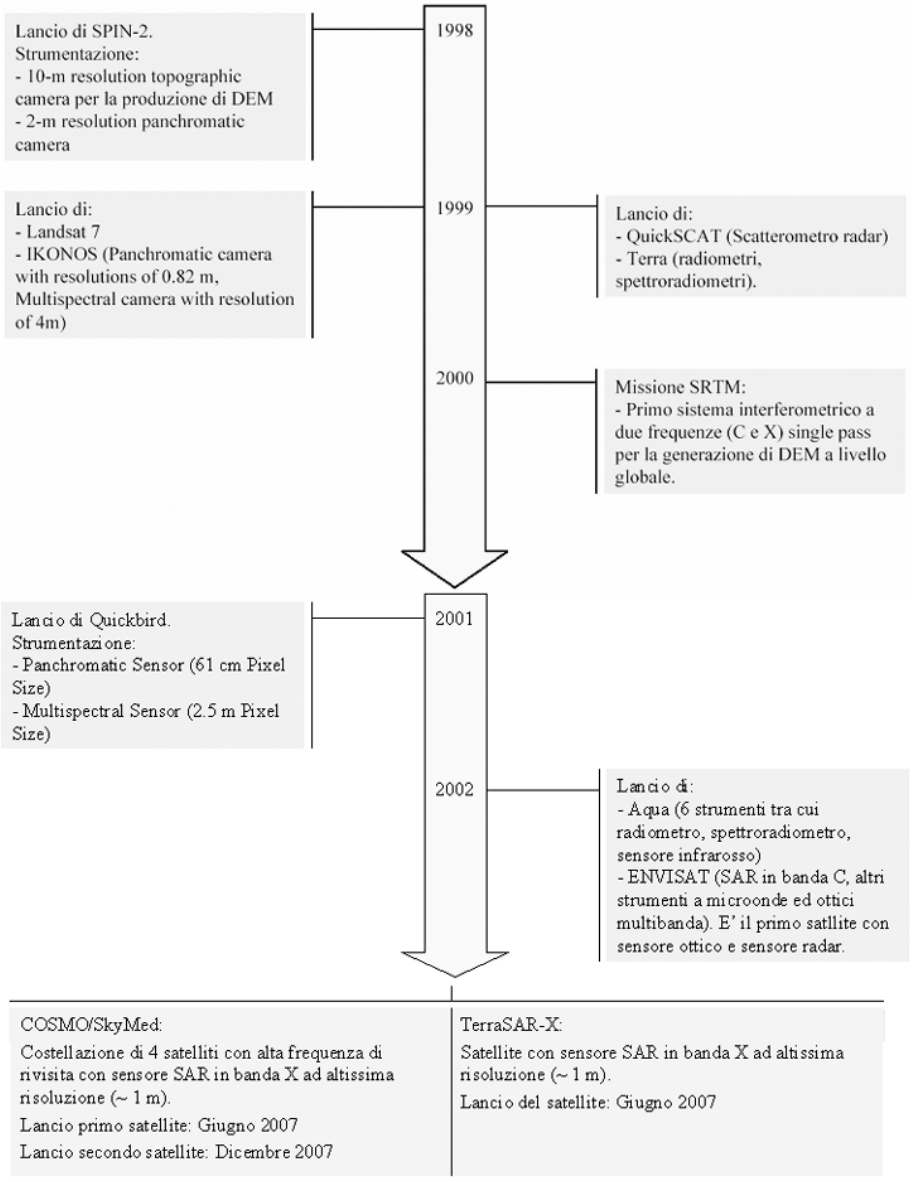


Fig. 4 (cont.) - Evoluzione sistemistica. Le principali missioni

viamente dalla missione scientifica abitata alla missione automatica, nella quale strumenti, ottici e radar, ormai messi a punto e verificati durante le precedenti missioni, montati su costellazioni di satelliti, possano assicurare un controllo continuo del sistema Terra nel suo complesso. L'evoluzione storica delle succedentesi missioni è sintetizzata nella Figura 4.

Le immagini tridimensionali

L'interferometria ha consentito di aggiungere la terza dimensione alle immagini rilevate da sensori SAR. Tale tecnica è stata utilizzata con successo per ottenere, per la prima volta, una mappa digitale topografica delle terre emerse a livello globale, a seguito di una missione (Shuttle Radar Topography Mission) di 11 giorni.

La generazione di immagini tridimensionali richiede una successione di operazioni sulle immagini rilevate dai due sensori del sistema interferometrico.

Essenzialmente si passa da una coppia di immagini bidimensionali, acquisite in posizione leggermente diverse (Fig. 5), alle frange di interferenza (Fig. 5) - legate alla topografia della zona osservata -alla rappresentazione tri-dimensionale della scena (Fig. 6).

Dalle missioni scientifiche alle missioni operative

Come anticipato, non il singolo satellite, ma una costellazione di satelliti che forniscano dati in modo continuo sullo stato di salute della Terra. Due sono le costellazioni al momento operative:

- COSMO/SkyMed, di concezione italiana (Fig. 7). Si tratta di una costellazione di quattro satelliti, equipaggiati con un sensore SAR operante in banda X, con modalità di acquisizione selezionabile in termini di risoluzione,

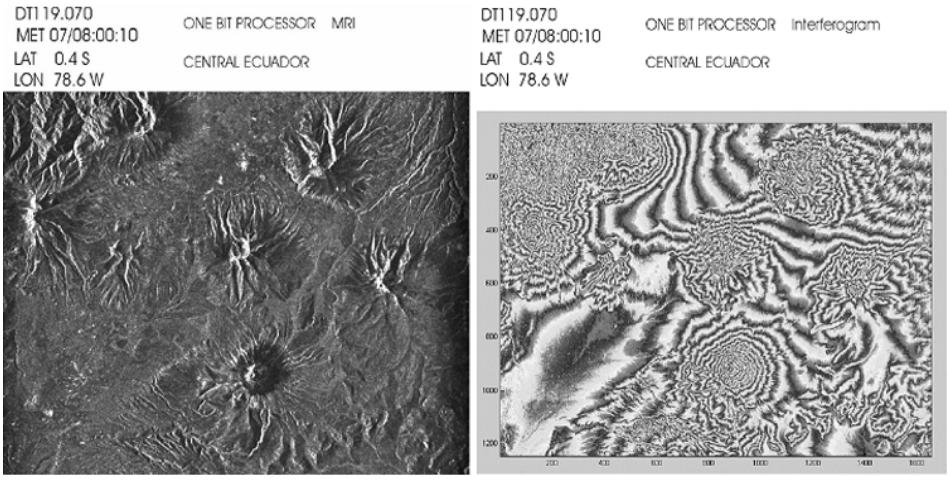


Fig. 5 - Immagine acquisita da un sensore (antenna master) del sistema interferometrico utilizzato nella missione SRTM (a sinistra), e frange di interferenza (a destra)

polarizzazione e angolo di vista. La costellazione assicura un tempo di rivisita molto basso, ed il sistema è progettato per garantire un tempo di risposta (dalla richiesta di acquisizione alla fornitura del prodotto) di 72 ore a costellazione completa;

- TerraSAR-X, di concezione e realizzazione tedesca (Fig. 8). Al momento è un singolo satellite, che potrebbe presto diventare costellazione. Anch'esso equipaggiato con un sensore SAR in banda X, configurabile in modalità operative diverse per risoluzione, acquisizione polarimetria e angolo di incidenza.

I due sistemi hanno iniziato ad operare nel 2006 e, a breve, dovrebbero iniziare a fornire con continuità dati sullo stato di salute del sistema Terra, oltre a costituire un sistema di sorveglianza continuo per conoscere in tempo reale il verificarsi di eventi calamitosi e quindi predisporre gli interventi necessari.

Conclusioni

Da quanto si è esposto, parlando dell'Osservazione dallo Spazio, è emersa chiaramente la complessità delle competenze necessarie. Se si volesse inquadrare il tutto nell'ambito della suddivisione attuale dei vari rami dell'ingegneria, diremmo che è coinvolta tutta l'ingegneria dell'informazione, nelle sue più diverse e profonde articolazioni. La messa a punto dei sensori ottici, dei sensori radar, la elaborazione dei segnali, la gestione dei dati, la loro presentazione e quant'altro occorra, sono capitoli di un unico mosaico, che riconducono alla unicità di Scienza e Tecnologia e in ogni caso, alla loro sintesi.

E ci siamo limitati alla descrizione di un'applicazione, certamente importante, ma sempre una singola applicazione.

Abbiamo preso il nostro satellite in orbita e lì lo abbiamo utilizzato. Ma quale è stato il contributo dell'ingegneria in questo fantastico viaggio: si tratta di un contributo grandioso per una impresa veramente fantastica e spettacolare. Il fatto che la messa in orbita di un satellite sia diventato un fatto quasi di routine, nulla toglie alla complessità dell'evento.

Proviamo un momento a chiudere gli occhi e seguiamone la vicenda. L'accensione dei motori sulla rampa di lancio, la sua arrampicata nel cielo, la

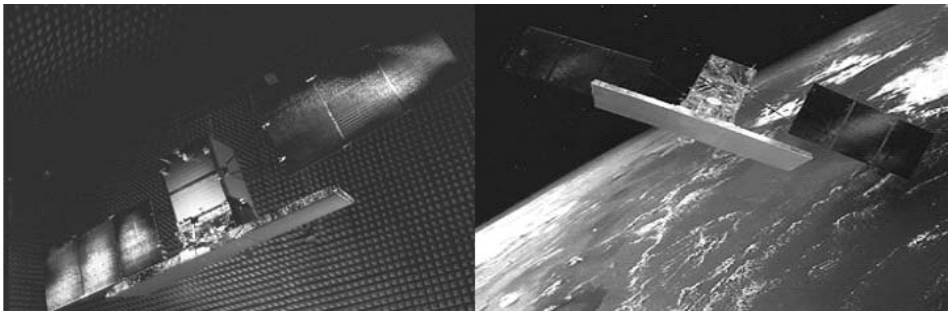


Fig. 6 - Un satellite della costellazione COSMO/SkyMed

cronometrica successione delle varie fasi, la calcolata spinta nei vari momenti della sua traiettoria, per ritrovarsi, alla fine, nel posto giusto con una precisione incredibile, a centinaia, se non migliaia, di chilometri d'altezza.

Riapriamo gli occhi e ripetiamo: è proprio tutto vero. Ma se è proprio vero che è necessario mettere in orbita il satellite, è ancora più vero che è necessario attrezzarlo per metterlo in condizioni di controllare, come abbiamo visto, la salute del nostro pianeta. E su questa applicazione nasce una convergenza incredibile ed esaltante di competenze: propagazione elettromagnetica ed ottica, antenne sintetiche, circuiteria elettronica nella sua più avanzata integrazione, codifica ed elaborazione del segnale alla frontiera della teoria della informazione, strumentazione di calcolo e grid-computing, per mostrare solo la cima dell'iceberg. Si è in presenza della parte oggi più avanzata della INGEGNERIA, tutta in lettere maiuscole, senza dubbio la punta di diamante della categoria, per realizzazioni innovative, impatto nella società civile, e futuro ancora tutto da esplorare. E questo dovrebbe fare riflettere sulle sterili polemiche, che accompagnarono la nascita dell'ingegnere elettronico, elettronico sì, ma poco ingegnere. Quanto descritto chiarisce, qualora ce ne fosse ancora bisogno, il ruolo determinante dell'ingegnere, senza ulteriori aggettivi.

Raimondo Fortezza, Rodolfo Monti, Giuseppe De Chiara

Le stazioni spaziali

Premessa

Stazioni Spaziali dalla forma di ruote di bicicletta per creare una forza di gravità artificiale, astronavi che decollano come aeroplani per il trasporto nello spazio, navi intergalattiche in grado di effettuare viaggi interstellari. Tutte queste sono state le immagini della nostra era spaziale così come ci sono state presentate dall'industria cinematografica e documentari della NASA. Ma tutti questi sogni non si sono ancora avverati ed il 2001 ormai è passato senza che le idee di Kubrick, presentate nel famoso film "2001 Odissea nello spazio", si siano concretizzate. Lo Spazio è ancora un posto esclusivo in cui solo pochi eletti possono entrare. Le Stazioni Spaziali di oggi sono ancora una serie di cilindri pressurizzati interconnessi, in cui la vita degli astronauti è alquanto spartana, rispetto alla condizioni in cui noi oggi viviamo a terra. Eppure era il 1971 quando i Russi per primi inviarono la prima stazione spaziale Salyut 1 in orbita con una massa in orbita di 19 ton. Due anni dopo gli Americani rispondono con quello cha ancora oggi è considerata la più grande singola struttura messa in orbita: lo Skylab con un diametro di 6,5 m , una lunghezza di 14 ed una massa di 90 ton, un vero gigante dello Spazio.

Nel 1975, in piena guerra fredda un segnale di disgelo viene proprio dallo Spazio con una mini Stazione Spaziale congiunta USA-URSS, l'Apollo-Soyuz test project, durante la cui missione per la prima volta astronauti americani e cosmonauti russi convivono nello spazio. Dal 1974 fino al 1985 i Russi mantengono in orbita altre cinque Stazioni Spaziali dalla Salyut 3 fino alla Salyut 7 effettuando ben venti missioni. E' il 1986 l'anno del primo modulo della MIR, la Stazione Spaziale dei records, rimasta in orbita fino al 2001, ben 15 anni per una struttura che doveva avere una vita operativa di 5 anni, e che è servita come alloggio in circa 40 missioni. Intanto nel 1999 era iniziato l'ultimo sogno spaziale, una vera Stazione Spaziale Internazionale dove Americani, Russi, Giapponesi, Canadesi ed Europei potessero lavorare insieme nel nome della scienza: La Stazione Spaziale Internazionale - ISS, il più grande progetto scientifico/tecnico internazionale nella storia dell'umanità. Fino ad oggi la storia della ISS è stata lunga, caratterizzata da grossi successi, ma anche da molti problemi e ritardi che hanno esteso sempre più il periodo di costruzione la cui conclusione al momento è prevista per il 2010.

Introduzione alle Stazioni Spaziali

Per stazione spaziale si intende, sempre ed in ogni caso, una struttura orbitante intorno alla Terra, in grado di ospitare un equipaggio umano per un certo periodo di tempo. Lanciata disabitata

(intera o in componenti) la Stazione Spaziale non è in grado di effettuare cambi di orbita (in alcuni casi può essere equipaggiata con motori d'assetto), non è in grado di consentire il rientro dell'equipaggio e pertanto necessita di una serie di veicoli spaziali (abitati e non) a supporto delle proprie operazioni.

In realtà la stessa idea di stazione spaziale ha subito un'evoluzione costante nel tempo soggetta all'evoluzione tecnico-scientifica dell'Astronautica e dalla disponibilità in termini di risorse necessaria per realizzarla. Spesso la denominazione di "stazione spaziale" è stata utilizzata per indicare sistemi spaziali tra loro molto diversi, per capacità e dimensioni. Si ritiene necessario, pertanto, introdurre la seguente classificazione degli insediamenti spaziali umani, necessaria per una migliore comprensione di quanto è stato progettato e realizzato nel corso degli ultimi 50 anni:

1. Laboratori spaziali
2. Stazioni spaziali
3. Habitat spaziali

I laboratori spaziali

Per laboratorio spaziale si intende una struttura orbitale non permamente (con tempi di utilizzo in orbita che possono andare da qualche settimana a qualche anno), e deve essere considerata come dedicata ad una serie di scopi specifici ed equipaggiata con una serie di apparecchiature adatte allo scopo, che possono essere di volta in volta aggiornate o sostituite. Il laboratorio spaziale è nato concettualmente negli anni sessanta ed è figlio della "gara spaziale" tra Stati Uniti ed Unione Sovietica. Da un punto di vista concettuale i laboratori spaziali possono essere divisi in due famiglie:

- Civili (come l'americano Skylab e la famiglia di Salyut russe).
- Militari (come l'americano MOL e le russe Almaz).

In realtà i laboratori spaziali militari, nati esclusivamente per l'osservazione della Terra con potenti telescopi (allo scopo di supportare le attività di "Intelligence"), sono nati negli anni '60 e morti negli anni '70, quando sia gli Stati Uniti che l'Unione Sovietica si resero conto che i satelliti da ricognizione garantivano delle prestazioni migliori ad un costo decisamente più basso.

Il laboratorio spaziale è lanciato con un grosso razzo vettore e può avere sia una concezione di tipo:

- Integrata (tutto l'equipaggiamento in unico veicolo, ad esempio lo Skylab).
- Modulare (un veicolo base al quale è possibile agganciare una serie di moduli aggiuntivi con equipaggiamenti specifici, ad esempio le Salyut 6 e 7).

Le Stazioni spaziali

Per stazione spaziale si intende una struttura orbitale semipermanente o permanente (con tempi di utilizzo perlomeno sull'ordine del decennio), ed è da intendersi come una struttura flessibile che consente l'aggiunta o la variazione dei suoi componenti di base allo scopo di soddisfare le esigenze della comunità scientifica man mano che gli anni di servizio trascorrono. La stazione spaziale modernamente intesa è un diretto di-

scendente dei laboratori spaziali di tipo modulare, se è verò che la prima stazione spaziale della Storia, la russa Mir, è stata realizzata proprio a partire da un'evoluzione del modulo di base della Salyut 7 con l'aggiunta di sei moduli specialistici e ben tre distinti tipi di veicoli spaziali a supporto (Soyuz, Progress e Space Shuttle).

La stazione spaziale modernamente intesa ha le seguenti caratteristiche:

- Non dispone di gravità artificiale per poter operare liberamente in condizioni di microgravità.
- Ha una concezione modulare.
- Non è riutilizzabile.
- È realizzata a partire da un "nucleo" base e man mano ampliata.
- Ogni suo componente è costruito a terra e semplicemente assemblato agli altri nello Spazio.
- Dipende da una serie di veicoli spaziali per il suo assemblaggio, mantenimento e cambio degli equipaggi.

Per quanto detto finora la ISS (quantunque non ancora ultimata) rappresenta lo "stato dell'arte" nel campo delle stazioni spaziali, ed i suoi costi (100 mld di Euro per la sua costruzione e mantentimento) sono ripartiti tra le 16 nazioni che costituiscono i partecipanti all'impresa.

Habitat spaziali

Per habitat spaziale si intende una struttura permanente in grado di ospitare centinaia o migliaia di persone per periodi di tempo indefiniti, grazie alla possibilità di ricreare condizioni biologiche simili a quelle terrestri tramite l'utilizzo di gravità artificiale, ottenuta per rotazione intorno ad un asse. Concettual-

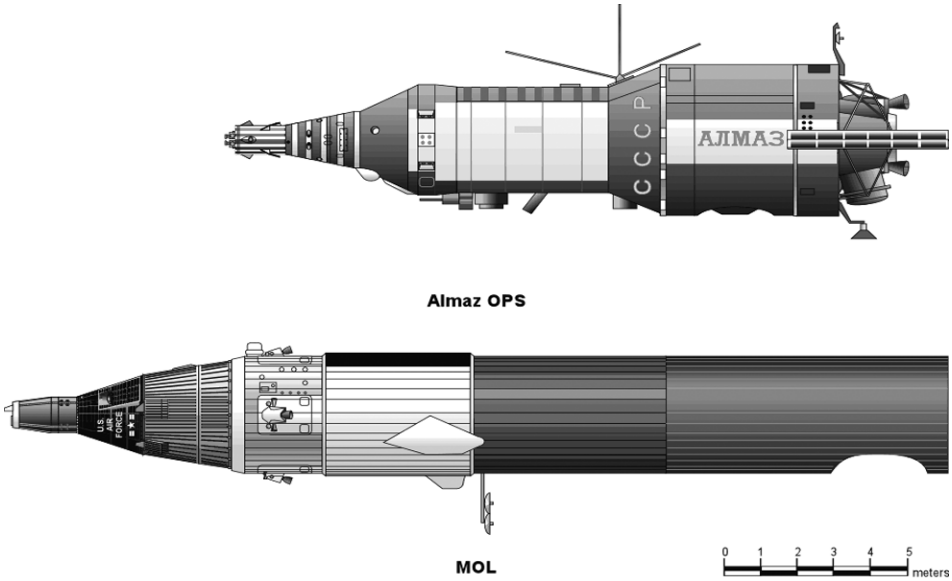


Fig. 1 - Paragone fra i laboratori militari in progettazione nel periodo della guerra fredda: l'Almaz Sovietico (sopra) ed il MOL Americano

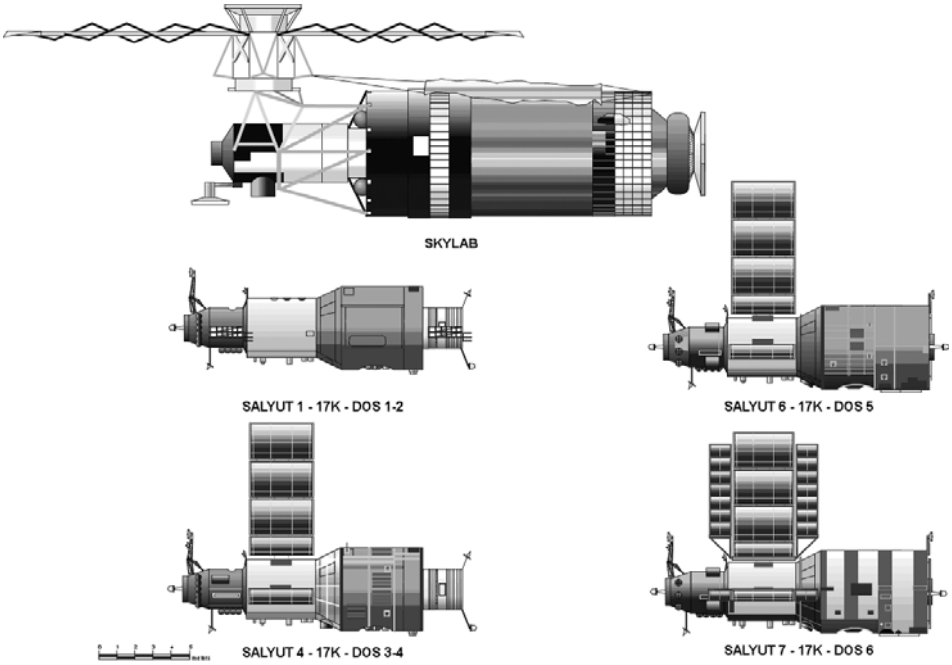


Fig. 2 - Paragone fra i laboratori civili:
l'americano Skylab (sopra) e la famiglia delle Salyut lanciate dai russi

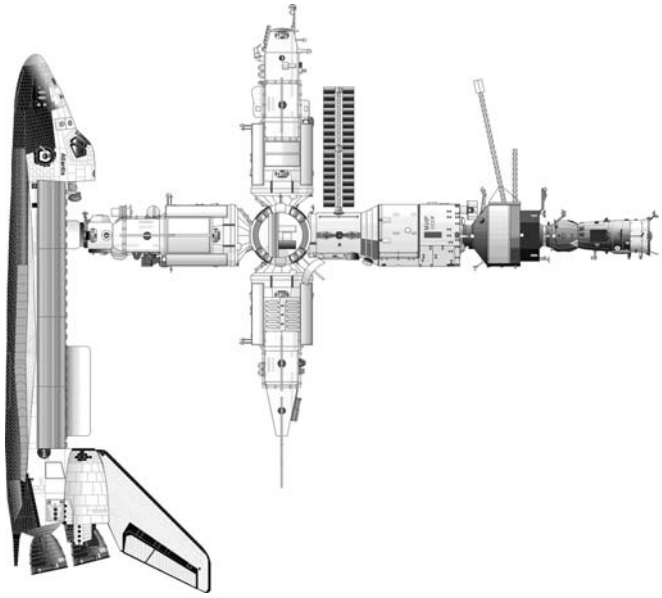


Fig. 3 - La stazione spaziale Mir e lo Space Shuttle alla stessa scala

mente gli habitat spaziali sono "figli" delle grosse stazioni spaziali toroidali o cilindriche ipotizzate negli anni '50. La teorizzazione dell'habitat spaziale modernamente inteso risale agli inizi degli anni '70 e si deve al fisico americano Gerard. K. O'Neill. Secondo O'Neill gli habitat spaziali sono strutture cilindriche con diametri di chilometri e lunghe decine di chilometri, in grado di far entrare la luce solare tramite specchi opportunamente orientati, riproducenti al loro interno le condizioni quanto più simili possibile a quelle terrestri, con fiumi, laghi, boschi, allevamenti ecc.

Storia delle stazioni spaziali

Il concetto di Stazione Spaziale, ovvero di un avamposto orbitante attorno ad un pianeta (la Terra, la Luna oppure Marte), nasce nel lontano 1870 in un racconto dello scrittore Edward Everett Hale dal titolo "The Brick Moon" (La Luna di Mattoni) nella quale viene costruita una stazione spaziale costruita usando proprio i mattoni ed orbitante attorno alla Terra. Ma è soltanto nel 1923 che lo scienziato e pioniere dell'astronautica Hermann Oberth conia il termine "Stazione Spaziale" e nel 1928 il tedesco Hermann Noordung (pseudonimo di Hermann Potocnick), nel suo libro intitolato "Il problema della navigazione spaziale" descrive per la prima volta una stazione toroidale, o a forma di "ruota", che tanta fortuna avrà nell'immaginario tecnico e (sopratutto) fantascientifico degli anni a venire. La "ruota" avrebbe avuto un diametro di 50 m con una parte pressurizzata "spes-

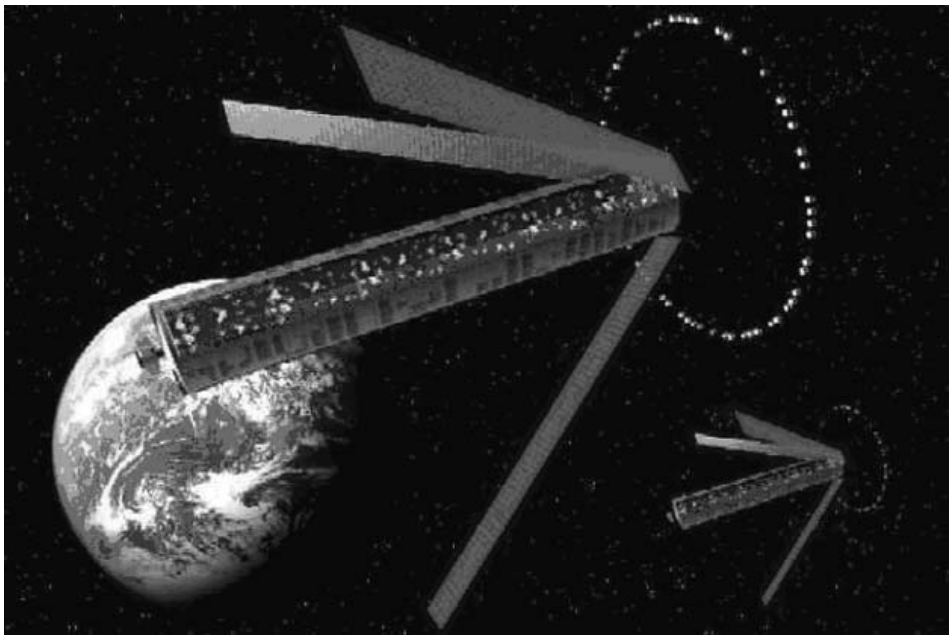


Fig. 4 - Due habitat spaziali del tipo "O'Neill Isola 3"

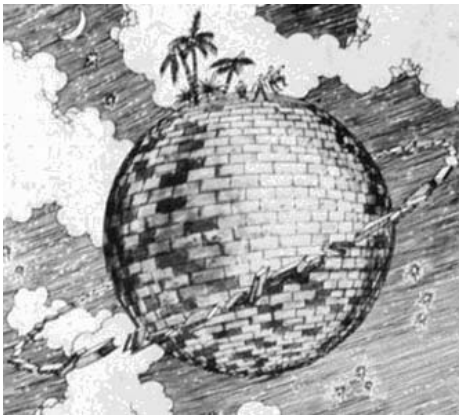


Fig. 5 - La "Luna di MattonI" (Brick Moon) di Hale

sa" 30 m, mentre al centro (il mozzo) era prevista una sezione cilindirca utilizzata come osservatorio astronomico.

La stazione avrebbe dovuto ruotare intorno al proprio mozzo per generare una gravità artificiale. L'energia solare sarebbe stata utilizzata (tramite appositi specchi) per riscaldare dei collettori contenenti azoto per far muovere un sistema di turbine collegate a generatori di corrente continua, un sistema ingegnoso considerando che i pannelli solari non erano ancora stati inventati. Nei periodi d'ombra sarebbero entrate in azione delle batterie chimiche, come quelle dei sommergibili. Gli ambienti interni sarebbero stati suddivisi in una serie di sezioni, isolate da paratie stagne, che avrebbero ospitato laboratori, un'officina, una cucina, una camera oscura, gli alloggi per l'equipaggio nonché un bagno e finanche una lavanderia. I rifornimenti sarebbero arrivati da terra tramite appositi veicoli spaziali.

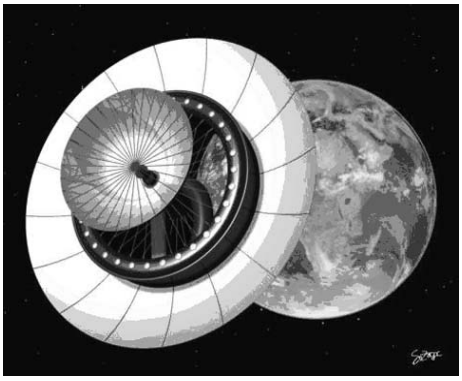


Fig. 6 - La stazione spaziale "a ruota" di Noordung

Wernher von Braun, il genio tedesco responsabile della realizzazione delle famose V2 e dell'altrettanto famoso Saturno V che ha portato l'Apollo intorno alla Luna, agli inizi degli anni '50 dedicò una serie di articoli alla esplorazione dello Spazio. In questi articoli apparsi nell'allora popolare rivista di divulgazione Collier's (tra il 1952 ed il 1954), von Braun coadiuvato da numerosi altri tecnici (primo tra tutti l'Arch. Chesley Bonestell che con i suoi realistici dipinti a contribuito a rendere le idee di von Braun "vive" e tangibili), teorizzò un programma spaziale molto articolato, che avrebbe portato l'Umanità dalla Terra a Marte, passando per la Luna.

Il programma spaziale di von Braun resta nei suoi principi tuttora valido, e poggia sulle seguenti ipotesi:

- Realizzazione di un sistema di trasporto spaziale Terra/orbita-bassa, riutilizzabile (un diretto precursore dello Space Shuttle).

- Realizzazione di una stazione spaziale toroidale con 50 persone di equipaggio.

- Realizzazione di un'astronave riutilizzabile in grado di circumnavigare la



Fig. 7 - La stazione spaziale "a ruota" di von Braun/Bonestell ed il Ferry Rocket in orbita

Luna con partenza e ritorno dalla stazione spaziale.

- Realizzazione di una serie di astronavi riutilizzabili in grado di scendere sulla superfice lunare, con partenza e ritorno dalla stazione spaziale.

- Realizzazione di una serie di astronavi a perdere per un volo Terra-Marte con sbarco sulla superficie del pianeta rosso e rientro sulla stazione spaziale in orbita intorno alla Terra (tramite un apposito mezzo di recupero denominato "Mars retriever").

Come si vede si tratta di un programma logico e razionale dove la stazione spaziale di von Braun gioca un ruolo fondamentale, consentendo un punto di arrivo per gli Shuttle da terra ed un punto di partenza per le astronavi interplanetarie (verso la Luna e Marte). Questo approccio "piramidale" di accesso alle risorse dello Spazio fu implementato in maniera minuziosa da von Braun ed i suoi collaboratori, utilizzando al massimo le conoscenze tecnologiche e scientifiche a loro disposizione. Il progetto fu studiato nei minimi dettagli (finanche quelli economici), rendendo la stazione spaziale di von Braun la prima veramente "progettata".

All'inzio degli anni '60 i tecnici spaziali americani e russi iniziano ad esplorare realmente lo spazio, passata la fase di sogno fantascientifico fatta di film in bianco e nero e disegni a colori di Bonestell, devono conftrontarsi con problemi reali: carico utile dei razzi disponibili e potenza dei motori allo stadio di studio. Il problema sta dunque nel peso, e i progetti di stazioni spaziali risentono notevolmente di questo fattore (tuttora vincolante). Abbandonata, almeno momentaneamente, la grande ruota spaziale (legata alla disponibilità di supermissili riutilizzabili, inesistenti negli anni '60), la stazione spaziale, sia americana che russa, si evolve in un concetto diverso: quello del laboratorio spaziale.

Tale concetto prevede una struttura pressurizzata, pesante il meno possibile,

in grado di ospitare 2 o 3 astronauti per un periodo di tempo limitato. Deve poter essere compatibile con le capacità di lancio dei razzi esistenti o quelli in studio avanzato (per gli americani Titan III e Saturno V, per i russi Proton ed N 1), ed eventualmente deve prevedere la possibilità di espansione con un criterio di tipo modulare. Il cambio degli equipaggi sarebbe garantito dalla aggancio al laboratorio (che deve essere necessariamente equipaggiato con un sistema di rendezvous e docking) da parte di veicoli spaziali esistenti o allo studio (per gli americani Gemini e Apollo, per i russi la Soyuz ed il TKS).

Concettualmente il laboratorio spaziale si pone al capo opposto della grande stazione spaziale a ruota. Per quanto riguarda l'architettura dei laboratori spaziali gli americani ed i russi mantengono atteggiamenti e filosofie alquanto differenti:

- Gli americani si orientano verso l'utilizzo dell'ultimo stadio di grossi vettori, quali il Titan III o il Saturno I e V, pressurizzandone i serbatoi vuoti, dopo un apposito purgaggio (wet workshop); oppure opportunamente modificati con una sezione pressurizzata interna al posto dei serbatoi, pannelli solari, sistemi di attracco e quant'altro occorre (dry workshop).

- I russi invece puntano ad una struttura pressurizzata standard, denominata 17K, che diviene il nucleo fondamentale dei loro laboratori spaziali sia civili che militari.

Per ciò che concerne la configurazione il laboratorio spaziale si presenta invariabilmente come una struttura cilindrica (che sia derivata o meno da stadi di missile, deve comunque essere trasportata in orbita da un missile), fiancheggiata da pannelli solari, equipaggiata con una sezione d'attracco ed una camera di decompressione, più una serie di attrezzature accessorie che ne caratterizzano la missione.

Il MOL (Manned Orbiting Laboratory)

Il progetto MOL nasce nella prima metà degli anni '60 e viene ufficialmente annunciato dall'allora segretario della difesa Robert McNamara all'indomani della cancellazione (a pochi mesi dal primo volo) della navetta spaziale militare Boeing X 20. Dal punto di vista configurativo il MOL si pone come un antesignano dello Skylab, dato che utilizza il terzo stadio di un razzo Titan IIIM. Il MOL viene lanciato direttamente con il suo equipaggio, il quale durante il lancio è ospitato in una versione della capsula Gemini, denominata Gemini B. Dopo l'entrata in orbita l'equipaggio,

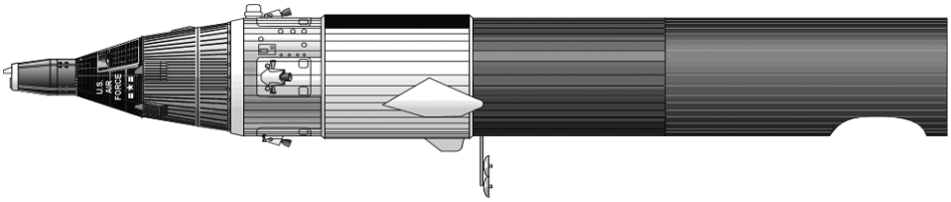


Fig. 8 - Il MOL (Manned Orbiting Laboratory) e la capsula Gemini B

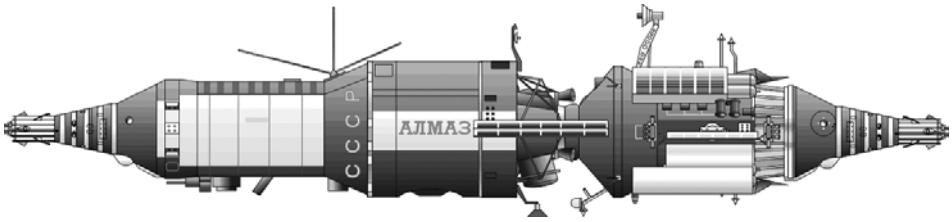


Fig. 9 - TKS-VA, Almax OPS e TKS agganciati insieme

composto da due specialisti USAF, apre un portello nello scudo termico della capsula (per la prima volta una capsula abitata è dotata di un simile dispositivo) e tramite un tunnel pressurizzato accede al MOL. Al termine della missione i due astronauti rientrano a terra utilizzando la Gemini. Il MOL ha una configurazione di tipo verticale, ossia l'asse Z è solidale con l'asse principale del laboratorio, ed il veicolo si presenta come un edificio a più "piani".

L'Almaz-OPS

Per quel che riguarda i laboratori spaziali militari i russi, almeno fino al 1966, hanno portato avanti due distinti programmi spaziali, esattamente come accadeva per il programma lunare, quello del gruppo di Korelev-Kozlov e quello del gruppo Chelomei-Glushko, il che ha comportato un enorme spreco di risorse ed una duplicazione del lavoro. Nel 1965 il gruppo capeggiato dal progettista Vladimir Chelomei (già responsabile della progettazione del razzo Proton) avvia un ambizioso programma militare basato su tre componenti:

- Il laboratorio Almaz (Diamante)
- La capsula recuperabile a tre posti Merkur (VA – Veicolo di rientro)
- Il veicolo di supporto logistico TKS.

Durante gli anni '70 assistiamo a tre fenomeni distinti:

- Cominciano ad essere lanciati i primi laboratori spaziali, sia civili che militari, concepiti durante gli anni '60 (Skylab, Salyut ed Almaz).
- Nasce la stazione spaziale modernamente intesa ideata come estensione, in chiave modulare, dei laboratori spaziali.
- L'originaria stazione spaziale dotata di gravità artificiale, toroidale o cilindrica, grazie agli studi del fisico Gerard K. O'Neill di Princeton, si evolve nell'habitat spaziale, inteso come dimora permanente per un gran numero di persone. L'habitat spaziale, a differenza di laboratori e stazioni modulari, deve essere completamente autosufficiente sia per la produzione di energia, sia per la produzione dei mezzi di sostentamento dei suoi abitanti (a questo punto non ha più alcun senso parlare di "equipaggio"), aria, acqua, cibo ecc.

Negli anni '80 gli americani sognano cose che i russi realizzano, infatti durante gli anni '80 viene lanciato la Mir che diventerà la prima stazione spaziale semipermanente dell'umanità. Per quel che riguarda il decennio in esame assistiamo ai seguenti fenomeni:

- Gli americani, in assenza di un loro

laboratorio spaziale già in orbita, hanno la tendenza ad utilizzare lo Shuttle come laboratorio, con o senza lo Spacelab. Questa tendenza, che si rafforzerà negli anni '90 fino all'avvento della ISS rappresenta, in un certo senso, un "tradimento" dell'idea originaria alla base dello Space Shuttle, ossia una navetta in grado di fare la spola tra la Terra e la stazione spaziale. Quest'ottica, tra l'altro, sancisce il fallimento dello Shuttle come lanciatore, in realtà gli americani lo utilizzeranno sempre più come trasporto equipaggi e laboratorio spaziale che non come veicolo di lancio o servizio.

- Nel 1984 il presidente Ronald Reagan lancia il progetto della stazione spaziale Freedom, la quale raccoglie l'eredità di tutta una serie di studi di stazioni spaziali modulari concepite nella seconda metà degli anni '70 e della quale discuteremo in seguito.

- I russi, dal canto loro, continuano a lanciare laboratori spaziali come la Salyut 7, che diventa la prima a carattere modulare grazie ai veicoli TKS lanciati come moduli aggiuntivi (tutti senza equipaggio, difatto alla metà degli anni '80 il TKS come veicolo da trasporto equipaggi era già morto).

Ma sopratutto nel 1986 lanciano il primo modulo della stazione spaziale Mir che, grazie anche ad una serie di vicissitudini politiche ed economiche (prima tra tutte la fine dell'URSS), troverà pieno completamento solo alla metà degli anni '90. Gli anni '90 sono segnati, dal punto di vista spaziale, da una serie di eventi di natura politica: la dissoluzione dell'Unione Sovietica nel 1991, segna la fine della Guerra Fredda ed implicitamente di ciò che resta della Gara Spaziale tra Americani e Russi, inizia l'era della cooperazione. Nel 1993, su suggerimento del Presidente Clinton gli Stati Uniti, la Russia, l'Europa più altre nazioni fondono i propri sforzi, e progetti, in un unico prodotto la stazione spa-ziale R-Alpha, che diventerà il nucleo dell'attuale ISS. Si può dire che le attività spaziali russe, a partire dalla seconda

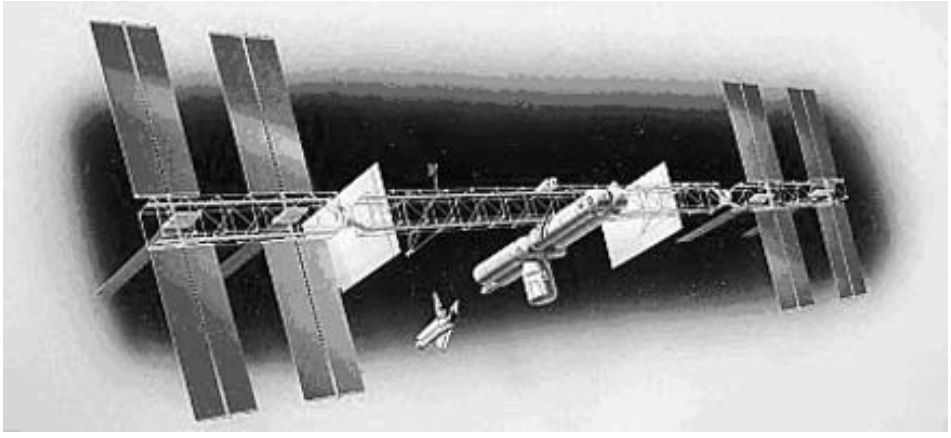


Fig. 10 - La stazione spaziale "Freedom" del 1984

metà degli anni ’90, diventano una dependance economica di quelle americane. Quindi la NASA si impegna, attraverso un’apposita voce del proprio bilancio, a finanziare una buona parte delle attività spaziali della sua controparte russa, la RKA (Agenzia Spaziale Russa).

D’altra parte gli anni ’90 vedono non solo il completamento della Mir, ma anche il suo impiego da parte degli americani attraverso le famose missioni Shuttle-Mir, che consentono agli americani di poter capitalizzare una serie di esperienze significative (altrimenti non ottenibili, dato il gap americano in fatto di stazioni spaziali) assolutamente necessarie in vista della ISS. Ironia della sorte vuole che la prima navetta spaziale ad attraccare alla Mir non sia la prevista Buran, scomparsa con la morte dell’URSS, ma lo Space Shuttle americano.

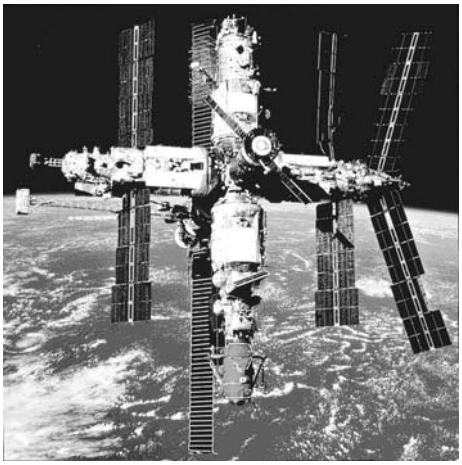


Fig. 11 - La Mir completa nel 1998

La Stazione Spaziale Internazionale (ISS)

La ISS (International Space Station) rappresenta la seconda generazione di stazioni spaziali modulari (dopo la Mir), è abitata continuativamente dal 2 novembre 2000 da almeno 2 astronauti. La stazione spaziale si trova in una orbita attorno alla Terra ad un’altitudine di circa 350 km, con un periodo di circa 92 min. Uno degli obiettivi principali della ISS è di fungere da laboratorio in assenza di peso per condurre quegli esperimenti che necessitano di condizioni particolari difficilmente riproducibili sulla terra. I principali campi di ricerca sono la biologia (con esperimenti biomedici e sulle biotecnologie), la fisica (compresa la meccanica dei fluidi e la meccanica quantistica), la scienza dei materiali, l’astronomia (inclusa la cosmologia) e la meteorologia.

La ISS è un progetto congiunto di cinque agenzie spaziali, la canadese (CSA), l’europea (ESA), la giapponese (JAXA - già NASDA), l’agenzia russa (RKA) e quella statunitense (NASA). L’Agência Espacial Brasileira (AEB Brasile) partecipa tramite un contratto separato con la NASA. Anche l’Agenzia Spaziale Italiana similmente partecipa tramite un contratto separato (accordi di Washington del 1998) per diverse attività pur partecipando anche come membro ESA essendo l’Italia un membro fondatore dell’agenzia. Attualmente la ISS è servita principalmente dagli Space Shuttle, dalla Soyuz, dalla Progress, e presto dall’ATV, che è in attesa del lancio. Al momento la stazione ha la capacità di ospitare un equipaggio di tre

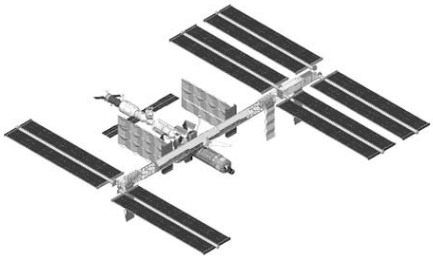


Fig. 12 - La configurazione della ISS (Gennaio 2008)

persone. Fino all'Expedition 13 , tutti i membri (permanenti) dell'equipaggio provenivano dal programma spaziale americano o russo. Con l'Expedition 13 è salito a bordo della stazione Thomas Reiter, astronauta ESA proveniente dalla Germania. L'ISS è stata visitata da molti altri astronauti, un certo numero dei quali di altri paesi (e da 2 turisti spaziali).

Il primo modulo, Zarya, fu lanciato in orbita nel novembre 1998 da un razzo Proton. Due settimane dopo, la missione STS-88 dello shuttle pose in orbita Unity, il primo dei tre moduli di collegamento, e lo agganciò a Zarya. Questi primi due moduli, nucleo della ISS, rimasero senza equipaggio per un anno e mezzo, finché nel luglio 2000 fu aggiunto il modulo Russo Zvezda che permise ad un equipaggio minimo di due astronauti di insediarsi. Dal 2001 al 2007,l'unico altro modulo pressurizzato trasportato sulla ISS dalla missione STS-98 nel 2001 è il Destiny Laboratory Module, a causa della sospensione dei voli Shuttle susseguenti al disastro del Columbia (missione STS-107 del 2 febbraio 2003).

La costruzione della stazione richiederà più di 40 viaggi nello spazio. Di questi 33 saranno svolti dallo Shuttle, 20 sono stati effettuati e 13 saranno svolti tra il 2007 e il 2010. Gli altri voli di assemblaggio saranno svolti dai Russi con i vettori Proton o con i vettori Soyuz. Inoltre serviranno circa 30 viaggi del vettore Progess per rifornire periodicamente la stazione fornendole le risorse necessarie per il suo sostentamento fino al 2010. Gli equipaggiamenti per gli esperimenti, il combustibile e tutto il materiale di consumo verrà portato da molti vettori come lo Shuttle, i vettori Progess, l'Europeo ATV (a partire dal marzo 2008 almeno) e il Giapponese HTV (ancora in fase di sviluppo).

Una volta completata la ISS avrà approssimativamente un volume pressurizzato di 1000 metri cubi, una massa di 400.000 chilogrammi, genererà 100 kilowatts di potenza elettrica e avrà un equipaggio di sei persone. Sarà essenzialmente costituita da un insieme di moduli pressurizzati lungo circa 74 metri, collegati ad un'intelaiatura (lunga 110 metri e posta trasversalmente rispetto ai moduli) sulla quale sono fissati i pannelli solari che alimentano la stazione. Sono previsti 10 moduli principali:Zarya, Zvezda, Destiny, Unity (Node 1), Harmony (Node 2), Node 3, Columbus, Kibo, il Multipurpose Laboratory Module, e il Docking Cargo Module.

Energia elettrica

L'alimentazione della stazione spaziale è fornita da pannelli solari che convertono la luce del Sole in corrente elettrica. Prima dell'assemblaggio del segmento 4A (missione STS-97 del 30

novembre 2000) l'unica alimentazione era fornita dai pannelli solari dei moduli Russi Zarya e Zvezda. I segmenti russi della stazione utilizzavano una corrente continua a 28 volt (come lo Shuttle). Nel resto della stazione la tensione fornita dai pannelli solari fornisce tensioni comprese tra 130 e 180 volt. La tensione è stabilizzata e poi portata a 160 volt DC per essere immessa nella stazione e poi convertita a 124 volt per le esigenze degli utilizzatori. La potenza viene convertita e suddivisa tra i due segmenti della stazione, questo si è reso fondamentale dopo la cancellazione del modulo Russo Science Power Platform. I segmenti Russi, pertanto, dipendono dai pannelli solari montati sui moduli statunitensi per l'alimentazione.

Sistema di supporto vitale

L'ambiente della stazione e il supporto vitale è gestito dal Life Support System che provvede a controllare le condizioni atmosferiche, la pressione, il livello di ossigeno, l'acqua e la presenza di eventuali fiamme libere. Il sistema Elektron, genera ossigeno a bordo della stazione tramite l'elettrolisi dell'acqua. Il problema principale del supporto vitale è mantenere le condizioni atmosferiche, ma il sistema raccoglie, processa e immagazzina anche gli scoli della stazione. filtri a carbone attivo sono il metodo principale per rimuovere i sottoprodotti del metabolismo umano dall'aria. Il Nodo 3 fornirà i più avanzati sistemi di supporto vitale che siano mai stati portati nello spazio: oltre a riciclare acqua ed aria avrà un miglior generatore d'ossigeno; sarà anche in grado di verificare la presenza di sostanze tossiche nell'atmosfera, e conterrà una nuova toilette per l'equipaggio della stazione.

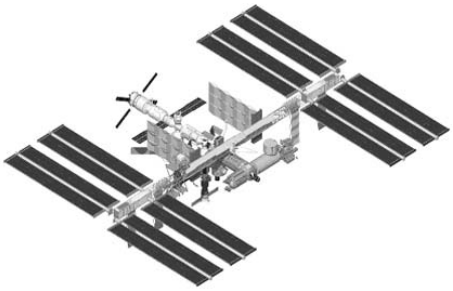


Fig. 13 - La ISS una volta completamente assemblata

Sistema di controllo dell'assetto

Il sistema principale utilizza vari giroscopi, installati nel modulo Z1 (posto al disopra del Nodo 1) per mantenere orientata la stazione sempre allo stesso modo rispetto alla terra. Se tale sistema dovesse cessare di funzionare entrerebbe automaticamente in funzione il sistema di controllo dell'altitudine russo, che utilizza dei propulsori per mantenere l'altitudine della stazione fin quando il sistema principale non viene ripristinato. Per quanto riguarda le variazioni di quota della ISS, necessarie a causa del naturale decadimento dell'orbita, al momento provvedono Space Shuttle e Progress, in futuro anche (e sopratutto) l'ATV europeo.

Il cibo a bordo

Non ci sono frigoriferi destinati al cibo nello spazio, pertanto l'alimentazione spaziale deve essere immagazzinata

correttamente e preparata per evitarne il deterioramento, in particolare nelle missioni di lunga durata come quelle della ISS in cui l'astronauta rimane a bordo per 6 mesi. La preparazione del cibo varia con il tipo dell'alimento. Determinati alimenti possono essere mangiati nella loro forma naturale, quali biscotti e frutta. Altri alimenti vengono disidratati e richiedono pertanto l'aggiunta di acqua calda, quali maccheroni e formaggio o spaghetti. A bordo della ISS è stato installato un forno per riscaldare gli alimenti alla temperatura adeguata. Alcuni condimenti sono disponibili quali ketchup, senape e maionese. Il sale ed il pepe sono disponibili soltanto in una forma liquida.

Ciò è perché gli astronauti non possono spargere il sale ed il pepe sul loro alimento nello spazio. Il sale ed il pepe galleggerebbero semplicemente via e non aderirebbero al cibo. Ci sarebbe il pericolo che potrebbero bloccare i condotti e filtri di ventilazione, contaminare l'apparecchiatura o entrare negli occhi o nel naso dell'astronauta. Gli astronauti



Fig. 14 - Tipico pranzo sulla ISS: Lasagna (nel pacchetto di alluminio), agnello e vegetali (scatola), succo di albicocca, pane e frutta secca

mangiano tre pasti al giorno - prima colazione, pranzo e cena. I dietisti accertano l'alimento che gli alimenti che mangiano forniscono loro un rifornimento equilibrato delle vitamine e dei minerali. I requisiti di calorie differiscono per ogni astronauta. Per esempio, una piccola donna richiederebbe soltanto circa 1.900 calorie un il giorno, mentre un grande uomo richiederebbe circa 3.200 calorie. Ci sono inoltre molti tipi di alimenti che un astronauta può scegliere quali frutta, carne, burro di arachide, pollo, rinforzano, frutti di mare, caramella, biscotti, ecc... Le bevande variano dall'acqua, caffé, tè, dal succo di arancia, succhi di frutta e limonata. Come su terra, l'alimentazione spaziale viene impacchettata e deve essere stipata a bordo. Gli astronauti devono gettare i rifiuti in un compattatore per poi eliminarli inserendoli nei veicoli progress che si distruggono al rientro oppure trasportali a terra attraverso lo shuttle.

La "giornata" sulla ISS

Il ciclo veglia-sonno è artificiale ed è basato sul tempo terrestre ed è sincronizzato sul tempo di Greenwhich. Normalmente si lavora per 12 ore con un periodo di sonno di 8 ore e le restanti quattro ore, due prima e due dopo il periodo di riposo, vengono utilizzate per le attività personali. Tra queste ci sono due ore al giorno di attività fisica richiesta per compensare la degenerazione dei tessuti causata dall'ambiente microgravitazionale. Anche se si ha una giornata simile a quella terrestre, il continuo cambio tra luce e buio crea una sfasa-

tura che finisce per aumentare la stanchezza alla fine della giornata di lavoro.

La funzione della ISS

Con le Stazione Spaziali (MIR e ISS) sono stati fatti i primo tentativo di realizzare in orbita attorno alla Terra infrastrutture permanente per la ricerca scientifica e tecnologica. Le condizioni, del tutto speciali, che si trovano nello spazio - l'assenza di peso, l'assenza di atmosfera - unite alla possibilità di avere a disposizione uomini addestrati, dovrebbero garantire passi avanti importanti nelle discipline scientifiche e tecnologiche più avanzate: dalla medicina alla farmacologia, dalla scienza dei materiali all'astrofisica. Un altro aspetto importante è dato dalla possibilità di avere un punto privilegiato per l'osservazione della Terra. Dalla Stazione Spaziale è possibile monitorare con continuità l'inquinamento ambientale e le risorse del nostro pianeta.

Il ruolo dell'Italia nella realizzazione della ISS

L'Italia, attraverso l'ASI e le industrie nazionali, ha svolto e svolge un ruolo di primo piano nella realizzazione della Stazione Spaziale Internazionale. Da un lato, come membro dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), ha partecipato alla realizzazione del modulo Columbus - uno dei laboratori orbitanti che faranno parte della Stazione - e alla rea-

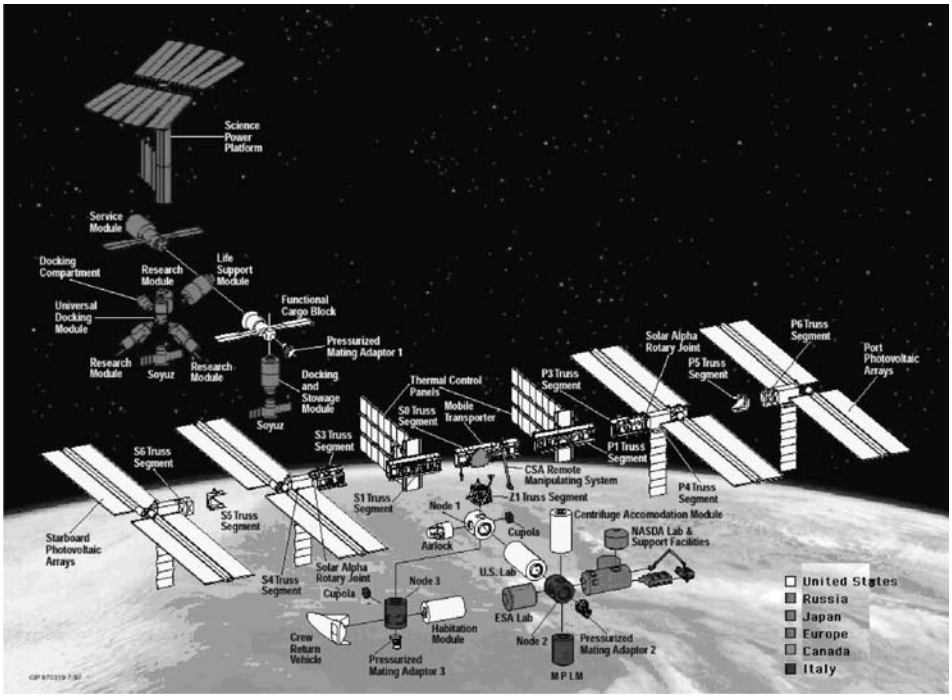


Fig. 15 - Gli elementi che compongono la Stazione Spaziale Internazionale

lizzazione di due dei tre Nodi (nodi 2 e 3) richiesti per collegare fra loro i vari moduli. Dall'altro, come partner della NASA, l'ASI (Agenzia Spaziale Italiana, n.d.r.) ha costruito tre moduli logistici (MPLM) che svolgono la funzione di container ad alta tecnologia che trasportati nelle stiva dello Shuttle gantiscono il supporto logistico alla ISS. Il successo conseguito con le ultime missioni Italiane dell'anno scorso è stato un'altra dimostrazione della qualità della tecnologia "Made in Italy" e ha consacrato l'Italia come uno dei partner più affidabili della NASA. Questo impegno del nostro Paese significa anche più esperimenti italiani che voleranno a bordo della Stazione ed altri astronauti italiani che saranno chiamati a far parte degli equipaggi che abiteranno permanentemente la prima base internazionale nello spazio.

Conclusioni

Per quanto riguarda il futuro, resta radicato il dibattito sulla prossima generazione di stazioni spaziali dopo la ISS se sarà una stazione spaziale più grande, magari dotata di gravità artificiale indotta attraverso la rotazione sull'asse principale (stile "2001"). Considerando che la vita operativa della ISS si concluderà (salvo imprevisti) ben dentro il 21° secolo, è difficile fare una previsione, sarà determinante l'accesso allo Spazio (ed alle sue risorse) da parte di attori diversi da quelli attualmente presenti: i privati e le potenze "minori" (come Cina ed India), nonché mezzi diversi di accesso all'orbita bassa (a tuttoggi eccessivamente costoso).

È inutile dire che, al momento, gli habitat spaziali sono aldifuori sia delle attuali capacità tecnologiche sia di quelle economiche. Un habitat spaziale non può essere assemblato in orbita a partire da pezzi costruiti a terra, ma costruito direttamente sul posto (presumibilmente i punti lagrangiani tra la Terra e la Luna, che offrono particolari condizioni di stabilità orbitale), il che significa impiantare delle vere e proprie industrie nello Spazio, attingendo risorse dalla Luna o dagli asteroidi. Quindi per poter realizzare questo tipo di strutture (logica evoluzione delle stazioni spaziali) è necessario che l'Umanità sia ben radicata almeno nel sistema Terra-Luna per poter attingere alle risorse necessarie per questo tipo di imprese, risorse che è assolutamente impossibile portare dalla Terra.

Ennio Cascetta, Francesca Pagliara

L'ingegneria dei trasporti: da ingegneria ferroviaria a ingegneria dei sistemi

Dalla locomotiva a vapore al sistema veicolo-guidatore-strada

Era la vigilia di Natale del 1801 quando Richard Trevithick compì la prima prova della sua locomotiva stradale a vapore. É lui infatti a ottenere nel 1802 il primo brevetto di una locomotiva a vapore e l'anno dopo una sua locomotiva percorse il tratto Crambourne - Plymouth a pieno carico: otto persone.

Nel 1829 Stephenson presentò al concorso mondiale per l'esercizio della linea Liverpool-Manchester la sua locomotiva The Rockect, "avente tali caratteri di praticità da essere conservati nelle loro linee essenziali, pur tra numerosi perfezionamenti, sino all'inizio del XX secolo" (Corini, 1950).

Alla fine dell'Ottocento, dunque, i bassi costi e l'elevata velocità del trasporto ferroviario diedero per la prima volta un ruolo del tutto strategico ai trasporti terrestri, soprattutto di merci. Lo sviluppo delle ferrovie si sostituì quasi ovunque a quello dei canali navigabili e divenne sinonimo di sviluppo industriale per tutto il XIX secolo, incorporando un rilevante e continuo progresso tecnico in termini di potenza, velocità e sicurezza. La risoluzione del problema dell'attrito nel trasporto su ferro non eliminò tuttavia l'esigenza di mantenere limitate le pendenze dei tracciati ferroviari e ciò indusse l'ingegnere civile a sviluppare infrastrutture di grande estensione ed arditezza (Beria e Ponti, 2007). Il *sistema ferroviario* si presentava per le relazioni maggiori come sistema capital-intensive, data la possibilità di movimentare grande quantità di traffico con un' unica unità motrice grazie alla via guidata che garantisce stabilità anche a convogli lunghi. Anche in Italia le iniziative sorsero, spesso con l'intervento di capitali stranieri. La prima ferrovia, aperta all'esercizio nel 1839, fu quella che univa Napoli a Portici.

Ma sono del 1886 i due brevetti realmente fondamentali per la storia dell'automobile. Sono quelli di Gottlieb Daimler da Schonberg, che brevettò e sperimentò una vettura automobile a quattro ruote, con motore monocilindrico verticale a benzina; e di Karl Benz, da Mannheim, che brevettò e costruì un veicolo con motore orizzontale di 3 HP. A raccontare le cronache del glorioso cammino dell'automobile contribuì anche la carta stampata. A Parigi infatti nacque nel 1894 la rivista "La Locomotion Automobile", primo giornale specializzato nel settore automobilistico. Uno dei primi avvenimenti ad essere immortalati dalle cronache fu la gara svoltasi nel 1895, da Parigi a Bordeaux, per un tragitto di circa 1200 km.

Dal punto di vista accademico l'ingegneria dei trasporti nasce con la scuo-

la di ingegneria stessa. La Ecole National et d'Application des Ponts et Chaussees fondata a Parigi nel 1747 e la prima scuola italiana di Ponti e Strade fondata a Napoli nel 1811 si proponevano di formare ingegneri per la progettazione, costruzione e manutenzione di infrastrutture civili ed in primis ponti, strade e porti. Successivamente alla radice civile della progettazione delle vie di trasporto, con lo sviluppo della ferrovia prima e dell'automobile dopo, si è affiancato un filone di derivazione più tecnologico finalizzato all'analisi delle componenti del veicolo (Università di Napoli- Facoltà di Ingegneria, 2006).

Si può dire che da lì lo studio della *meccanica della locomozione* ebbe inizio (Maggi, 2005). Ovvero si posero le basi della *Ingegneria dei Sistemi Tecnologici di Trasporto*, del sistema *veicolo-guidatore-strada*, con l'obiettivo di studiare le caratteristiche funzionali che possono essere considerate indipendenti dalle scelte di mobilità degli utenti, assunte esogene, con riferimento a due tematiche principali. La prima, la *Tecnica dei Trasporti* che studia le interazioni tra veicolo e via; la definizione-progettazione di requisiti funzionali per veicoli e vie utili per la progettazione delle infrastrutture (pendenze massime superabili; raggi minimi di curvatura; ecc.) o per la regolazione del deflusso (distanza tra due veicoli; diagrammi del moto; ecc.) (Cantarella, 2006). La consapevolezza di essere di fronte ad un sistema più complesso si è cominciata ad avvertire quando nel secondo dopoguerra con la diffusione della motorizzazione di massa si è cercato di superare il trinomio veicolo-guidatore-strada per analizzare il comportamento di un insieme di veicoli. Infatti la seconda tematica riguarda la *Tecnica della Circolazione*, che studia le interazioni tra più veicoli che utilizzano la stessa via o terminale (applicando la teoria del deflusso, sviluppata dalla meccanica dei fluidi) e si prefigge la definizione-progettazione di prestazioni in termini di livello di servizio offerto (tempi di spostamento e di attesa e capacità di smaltimento) e di requisiti funzionali sul sistema di controllo (parametri di regolazione semaforica). Elementi di controllo non ancora resi automatici nel caso stradale, per cui nasce la necessità di studiare e modellizzare tali aspetti. L'analisi dei tempi di azione/reazione e la *teoria dell'inseguitore* rappresentano alcuni esempi.

I sistemi di trasporto e il paradigma topologico-comportamentale

Ma é alla teoria di Beckman (Beckman et. al., 1968) che può farsi risalire la formulazione di base della *Teoria dei Sistemi di Trasporto*, anche se l'approccio riguarda solo il settore stradale. La teorizzazione di Beckman è ancora di natura meccanicistica e non affronta il tema delle relazioni tra sistema e ambiente: la domanda è una variabile esogena, un dato del problema; al pari della sollecitazione su una struttura è indipendente dal comportamento del sistema. Si introducono tuttavia il concetto di rete come modello di riferimento per studiare l'offerta di collega-

mento su un certo territorio e il principio di interazione (equilibrio) domanda/offerta, anche se l'unica dimensione della domanda presa in conto è quella della scelta del percorso.

In quegli anni c'è anche un vivace interesse per gli studi sulla domanda di trasporto, e sulle relazioni domanda-sistema di trasporti-attività economiche. Si comincia inoltre a parlare di sistemi più ampi: da un lato si cerca di estendere la teoria di Beckman anche ad altre componenti del sistema stradale e solo dopo ai sistemi multimodali; dall'altro si teorizza l'estensione del sistema di analisi anche ai sistemi territoriali, soprattutto in parallelo ad un vasto movimento "funzionalista" nel campo della pianificazione territoriale. La bibliografia in materia è ampia ma forse si può fare risalire a Blunden (1971) una prima trattazione organica del problema. Una forte spinta alla formulazione di una teoria generale dei sistemi di trasporto è comunque data dall'attività dei docenti e dei ricercatori del Dipartimento di Ingegneria Civile del MIT, che dalla fine degli anni settanta hanno fortemente innovato l'impostazione degli studi di Ingegneria Civile basandosi sulle concezioni della Teoria dei Sistemi (De Neufville, 1974).

Alla fine degli anni settanta Manheim (Manheim, 1979) raccoglie le esperienze di questa attività nel volume *Fundamentals of Transportation System Analysis* in cui si affermano i seguenti principi:

- il sistema di trasporto va analizzato in tutte le componenti modali (sistema multimodale);

- il sistema dei trasporti è un sistema di tipo olistico aperto, in stretta relazione funzionale con il sistema territoriale

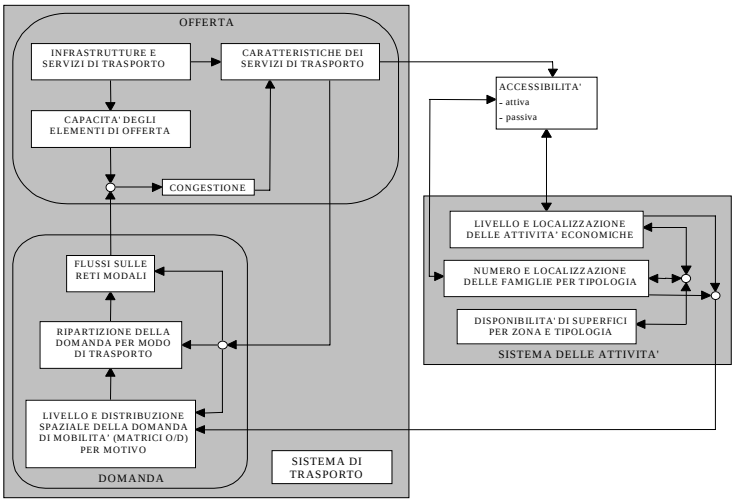


Fig. 1 – Le componenti del sistema dei trasporti e le relazioni con il sistema delle attività

e delle attività socioeconomiche, che si evolve per cicli di lavoro stazionari;

- gli impatti prodotti dal sistema sono multisettoriali nel senso che le finalità del sistema possono essere valutate da diversi punti di vista (pubblico, imprenditoriale, dell'utenza).

Contemporaneamente dalle discipline economiche si ebbe un contributo che modificò radicalmente l'approccio allo studio dei trasporti. Daniel McFadden (McFadden, 1979), che circa trenta anni dopo diventò premio Nobel, con la sua *teoria dell'utilità aleatoria*, ha posto le basi dell'analisi formalizzata e della costruzione di modelli matematici della domanda di trasporto. Il fondamento della teoria dei Sistemi di Trasporto è costituito dal *paradigma topologico/comportamentale*, ovvero da un insieme di ipotesi e un limitato numero di relazioni funzionali che rappresentano in modo astratto e generale l'offerta di servizi di trasporto di una certa area (modello di offerta), la domanda ed i comportamenti di viaggio degli utenti del sistema (modello di domanda) e le relative interazioni, ovvero il modo in cui offerta e domanda si influenzano reciprocamente (modello di interazione domanda/offerta) (v. Fig. 1) (Cascetta, 2007).

L'insieme di queste ipotesi e relazioni negli anni è stata estesa e formalizzata, ne sono state studiate le proprietà matematiche generali fino a pervenire ad un sistema ampio e internamente coerente di risultati applicabili a modelli anche molto diversi per formulazione matematica e ipotesi alla base. Ciò non esclude nuovi e significativi sviluppi teorici e metodologici, anzi questa è probabilmente una delle aree nelle quali è più attiva la ricerca; si può tuttavia affermare che si è formato un insieme di strumenti concettuali e applicativi che è in grado di generare al suo interno estensioni e generalizzazioni, di ampliare e sostituire le ipotesi sulle quali si fonda. La costruzione di una teoria dei sistemi di trasporto sarebbe tuttavia poco utile per la soluzione dei problemi applicativi se questa non fosse resa operativa da un'insieme di metodologie che consentono di costruire sistemi di modelli matematici coerenti con la teoria, ed in grado di simulare gli elementi rilevanti dei diversi sistemi di trasporto reali (Ben-Akiva e Lerman, 1985; Train, 2003). Queste metodologie, che vanno dalle regole per definire un modello di rete per l'offerta, alle tecniche di indagine e di stima della domanda di trasporto, fino agli algoritmi che consentono di risolvere con le potenze di calcolo ormai ampiamente disponibili problemi di notevoli dimensioni, fanno a loro volta uso dei risultati di numerose aree disciplinari e costituiscono nel loro insieme il bagaglio tecnico dell'ingegnere dei sistemi di trasporto.

L'ingegneria dei sistemi di trasporto

L'*Ingegneria dei Sistemi di Trasporto* ha l'obiettivo di definire in modo coerente le caratteristiche funzionali e le prestazioni di un insieme di elementi - infrastrutture, mezzi, servizi, prezzi, sistemi di controllo - che nel loro complesso concorrono a fornire opportunità

di trasporto per soddisfare la domanda di spostamento di persone e cose. Le caratteristiche e le prestazioni sono individuate in modo da costituire delle soluzioni tecnicamente fattibili e funzionali agli obiettivi dell'intervento, basate sulla valutazione quantitativa dei principali effetti che da esse possono derivare (Cascetta, 2001; 2006).

L'obiettivo non è più la progettazione delle singole componenti dell'offerta (veicoli, vie, sistemi di controllo, ecc.), bensì le relazioni fra esse, input per progettazioni specifiche o per l'organizzazione dei servizi di trasporto. La difficoltà, e il fascino, di questa pratica professionale deriva dalla intrinseca complessità dei sistemi di trasporto. Questi infatti sono sistemi internamente complessi, ovvero composti da numerosi elementi che si influenzano in modo diretto ed indiretto, spesso non lineare, con numerosi cicli di retroazione ed effetti di segno diverso. Inoltre gli elementi che compongono il sistema sono solo in parte tecnici, e quindi governati dalle leggi della fisica e in quanto tali tradizionalmente studiati dall'ingegnere.

Il funzionamento e le prestazioni di un sistema di trasporto dipendono infatti in modo imprescindibile dalla domanda di mobilità e dai comportamenti degli utenti; l'analisi della domanda di mobilità è quindi essenziale per la progettazione e richiede un approccio diverso che faccia riferimento ad altre regole, tradizionalmente studiate dalle discipline economiche.

La Teoria dei Sistemi di Trasporto e l'Ingegneria dei Sistemi di Trasporto seguono un approccio sistemico, ovvero studiano le relazioni che intercorrono fra i diversi elementi e le relative prestazioni basandosi su un nucleo teorico autonomo e su metodologie di analisi e di calcolo derivate dalla sintesi dei contributi di numerose aree disciplinari ed in particolare quelle dell'economia, dell'econometria e della ricerca operativa oltre a quelle, tradizionalmente più vicine, dell'ingegneria del traffico, delle infrastrutture di trasporto e della meccanica del moto.

Le interazioni dei sistemi di trasporto con altri sistemi

Oltre alla complessità interna, i sistemi di trasporto sono strettamente interrelati ad altri sistemi che, nell'ottica adottata, possiamo definire esterni; interventi e scelte sui trasporti possono avere implicazioni sull'economia, l'assetto del territorio, l'ambiente fisico, la qualità della vita delle persone. In una parola toccano interessi diversi e molto spesso contrastanti, come si evince facilmente dagli accesi dibattiti che accompagnano quasi tutte le decisioni in materia di trasporti. L'intensità e la sensibilità a questi impatti è cresciuta notevolmente negli ultimi decenni a causa dello sviluppo economico e sociale della nostra civiltà e di essi non si può non tener conto nella progettazione e nella valutazione degli interventi sui trasporti (Hunt et al. 2005). Basti pensare ai problemi collegati all'inquinamento e al consumo di risorse del territorio e naturali.

Storicamente la prima fase di studio degli impatti è servita per la valutazio-

ne/progettazione degli interventi infrastrutturali. Anche in quest'ambito è cresciuta l'ampiezza degli impatti e l'utilizzo nelle fasi di progettazione/valutazione.

Nella prima generazione di esercizi di valutazione quantitativa, nata in relazione agli investimenti autostradali e successivamente estesasi ai piani di trasporto in senso lato, venivano considerati prevalentemente gli effetti (benefici e costi) monetari o monetizzabili per gli utenti della sola infrastruttura progettata e per il gestore della stessa. Fra i primi sono comprese le variazioni degli attributi di livello di servizio quali tempo di viaggio, costo monetario del pedaggio e di uso del veicolo, la probabilità di incidenti di diversa gravità. Gli effetti monetari per il gestore del servizio e/o delle infrastrutture comprendevano il costo di costruzione, comprensivo della acquisizione dei terreni e dei costi di esproprio, i costi di investimento in mezzi e tecnologie, le variazioni dei costi di manutenzione e di esercizio nonché le variazioni di introiti dati dalla vendita del servizio; talvolta fra gli effetti per il gestore erano incluse le variazioni di trasferimenti di capitale con altri organi pubblici di livello superiore (ad esempio rimborsi per obblighi di servizio, contributi a fondo perduto, imposte e tasse sulla benzina e sulle proprietà immobiliari, ecc.) (Cascetta, 2007).

Un ulteriore ampliamento dello spettro degli effetti considerati nella valutazione di un piano di trasporto è costituito dalle *esternalità* dell'intervento ovvero dagli effetti di diversa natura sui membri della collettività non direttamente interessati dal servizio di trasporto, di solito indicati come non utenti. Se si considera la interdipendenza reciproca fra il sistema di attività e quello di trasporto, più volte richiamata in precedenza, ci si rende immediatamente conto che questi effetti possono essere della più varia natura.

Più che la elencazione degli impatti per i non utenti considerati, o considerabili, nelle diverse applicazioni, nel seguito si forniranno alcuni esempi di tali esternalità suddividendole, per comodità di esposizione, in economiche, territoriali sociali ed ambientali.

Gli *impatti economici* possono essere definiti come le variazioni di stato del sistema economico introdotte dall'intervento in esame. Fra questi si possono citare le variazioni di valore degli immobili o le variazioni di produzione delle attività economiche a seguito di aumenti/diminuzioni di accessibilità relativa; le variazioni degli impatti economici della incidentalità dovuta ad interventi diretti ed indiretti previsti nel piano. Una caratteristica delle esternalità economiche è che esse sono direttamente misurabili in termini monetari, o a questi possono essere facilmente ricondotte.

Molti degli impatti economici descritti sono collegati agli *impatti territoriali*, ovvero impatti sull'uso del territorio. Esempi di impatti territoriali sono le variazioni di uso degli immobili (ad es. da residenziali a commerciali) o più in generale la rilocalizzazione di residenze e attività economiche indotte dalle varia-

zioni dei differenziali di accessibilità delle diverse zone dell'area di studio.

Gli *impatti sociali* possono essere definiti come le variazioni delle relazioni fra le persone e le istituzioni sociali quali la famiglia, comunità locali, scuole, enti di governo, ecc., introdotte dagli interventi sul sistema di trasporto. Anche in questo caso possono individuarsi numerosi tipi di effetti: gli effetti sociali della incidentalità, le variazioni di accessibilità alle attività sociali (scuole, uffici pubblici, parchi, ecc.), la modifica delle caratteristiche di coesione e stabilità di alcune collettività locali.

Infine, gli *impatti ambientali* possono essere definiti come gli effetti dell'intervento sull'ambiente fisico; questi possono essere a loro volta distinti in effetti sull'eco-sistema, sull'inquinamento acustico, atmosferico e visivo. La realizzazione di interventi sul sistema di trasporto, specialmente nel caso di nuove infrastrutture in aree non insediate, può modificare l'equilibrio ecologico di piante ed animali. Inoltre un sistema di trasporto produce inquinamento acustico ed atmosferico. Interventi sul sistema possono significativamente modificare la intensità e la distribuzione dell'inquinamento; la riduzione del traffico veicolare e della congestione, il tracciato e gli standard geometrici delle infrastrutture, l'adozione di pannelli fono-assorbenti e di fasce di rispetto, la normativa sui carburanti e sui veicoli hanno una influenza diretta sugli inquinanti considerati. L'intrusione visiva è, infine, un effetto proprio delle infrastrutture e dei veicoli, essa dipende dalla "visibilità" della infrastruttura e/o dei veicoli che la utilizzano e dal "contrasto" di questa con l'ambiente circostante.

L'ultima fase attualmente in forte sviluppo riguarda non più la simulazione degli impatti per la valutazione/progettazione dei sistemi di trasporto, ma addirittura la *progettazione congiunta dei sistemi di trasporto e del territorio da esso servito*.

La dispersione territoriale delle attività e delle residenze rappresenta un fenomeno diffuso in numerose realtà urbane (de Luca et al., 2007). La crescita della domanda di mobilità e l'uso intensivo del trasporto privato sono strettamente correlati ad un modello territoriale fortemente basato sulla dipendenza delle aree suburbane da quelle centrali. Gli impatti negativi di tale modello sono evidenziati dall'accentuarsi dei fenomeni di congestione sulle direttrici di accesso alle aree centrali e dal conseguente incremento dell'inquinamento atmosferico. Al fine di ridurre gli impatti negativi generati dai fenomeni di dispersione territoriale delle localizzazioni, la proposta delle municipalità locali è stata di incrementare l'offerta di servizi di trasporto pubblico in sede propria (treni e metropolitane). Aumentare il livello di accessibilità gioca a favore di ulteriori spinte centrifughe e di delocalizzazione dai centri delle città verso le aree periferiche. Governare tale processo richiede politiche e strumenti più articolati in grado di rappresentare le interazioni tra la struttura territoriale e quella dei trasporti (Pagliara e Papa, 2006). Il riconoscimento che la pianificazione terri-

toriale e quella dei trasporti debbano essere coordinate ha portato alla definizione del cosiddetto "feedback trasporti-territorio" (Wegener e Furst, 1999).

Campi ed esperienze di applicazione dell'ingegneria dei sistemi di trasporto

Le premesse teoriche e le tecniche descritte possono essere utilizzate per verificare/progettare/controllare sistemi molto diversi per modalità di trasporto, impegno e risorse per la realizzazione.

Alcuni esempi dei possibili campi di applicazione dell'ingegneria dei sistemi di trasporto sono riportati di seguito.

Si parla di *pianificazione strategica* o piano di investimenti (de Luca, 2000) quando le decisioni riguardano consistenti investimenti di capitale per la realizzazione di nuove infrastrutture (strade, tronchi ferroviari, porti ecc.) e/o l'acquisizione di veicoli e sistemi tecnologici (ad esempio materiale rotabile e sistemi di controllo) che hanno tempi globali di attuazione lunghi, così come è di solito lungo il periodo di fruibilità, o vita tecnica, dell'investimento (10-20 anni e oltre). In questo caso, di solito gli interventi previsti nel progetto comprendono nuove infrastrutture, la struttura dei servizi di trasporto, le politiche tariffarie e, in alcuni casi, interventi di regolazione/gestione della domanda di mobilità (ad es. limitazioni di accesso o di sosta). Se la pianificazione è effettuata nell'ottica della collettività il risultato è la redazione di un Piano di Trasporto Urbano, Regionale, Nazionale o Trans-Nazionale, a secondo dell'ambito spaziale; se si opera in un'ottica aziendale si tratta di un piano strategico di sviluppo aziendale.

Per la pianificazione strategica, di solito si considera come sistema di studio l'intero sistema di trasporto dell'area in quanto modifiche sostanziali dell'offerta di trasporto, anche in un solo sottosistema modale, possono influenzare notevolmente l'assetto dell'insieme.

Gli *studi di fattibilità tecnico-economica* si inseriscono nel contesto della "programmazione per progetti", che si basa sulla elaborazione di un quadro di riferimento (piano direttore), che individui le esigenze di collegamento utili nell'ottica del sistema e sulla successiva valutazione dei singoli progetti che possono soddisfare le esigenze di collegamento individuate. Questi ultimi definiscono compiutamente convenienza, priorità e modalità di realizzazione degli interventi stessi.

Uno studio di fattibilità tecnico-economica di un progetto di trasporto (stradale, ferroviario ecc.) di solito prevede la formulazione di ipotesi alternative; tali ipotesi a loro volta si articolano nella definizione delle caratteristiche funzionali e prestazionali degli interventi (quali tracciato, connessioni, capacità e prestazioni di esercizio, tipologia e caratteristiche delle eventuali tecnologie, tariffe). Le diverse alternative, compresa quella di non-intervento, vengono poi valutate dal punto di vista funzionale, economico e finanziario nel contesto di scenari ipotizzati per il sistema territoriale e di trasporto nel quale l'intervento si inserisce. Anche in questo caso l'orizzonte temporale è di solito il lungo periodo; la scala territoriale varia dall'am-

bito metropolitano o regionale a quello nazionale in funzione del tipo di opera da verificare.

La *pianificazione tattica*, di breve/medio periodo, di un sistema di trasporto riguarda le decisioni relative ad interventi che impegnano risorse limitate, di solito assumendo una dotazione di infrastrutture pari a quella attuale. Il Piano Generale del Traffico Urbano (PGTU) o un Piano Comprensoriale del trasporto collettivo sono esempi di pianificazione tattica nell'ottica della collettività. Piani di ristrutturazione dei servizi e/o di definizione delle politiche commerciali e tariffarie sono esempi di piani tattici in un'ottica aziendale. In questo contesto risultano di interesse prevalente la valutazione degli effetti tecnico-funzionali dell'intervento e l'analisi finanziaria, in termini di costi di esercizio e di ricavi da traffico, per i diversi operatori coinvolti.

Queste analisi possono essere accompagnate da una analisi economica, anche semplificata. Di solito per questo tipo di applicazione si studia il sistema complessivo di trasporto a scenario socio-economico dato; nella prassi, inoltre, spesso si assume che il livello e la distribuzione spaziale della domanda di mobilità (ovvero le matrici O-D globali) rimangono invariate mentre si simulano esplicitamente le variazioni di ripartizione modale e l'assegnazione alle reti rappresentative dei servizi di trasporto interessati. In alcuni casi si esamina una sola modalità di trasporto nell'ambito del sistema complessivo, considerando quindi gli effetti di concorrenza tra i modi solo attraverso il livello della domanda del modo considerato (analisi di elasticità), senza una rappresentazione esplicita della offerta delle altre modalità.

La *gestione operativa*, di breve periodo, consiste nella definizione di aspetti particolari dell'esercizio dei singoli modi di trasporto, ottimizzando l'impiego delle risorse esistenti in un'ottica di solito aziendale. I piani di regolazione semaforica, il progetto delle linee di trasporto collettivo in ambito urbano o extraurbano ed i relativi orari, l'organizzazione dei fattori necessari alla produzione di servizi di trasporto (ad esempio l'attribuzione dei veicoli alle linee e del personale viaggiante ai turni lavorativi) sono esempi di programmi di gestione operativa. In questo caso il sistema di studio è di solito limitato al solo modo oggetto della progettazione, assumendo la domanda modale fissa. Ad esempio nella definizione di un progetto di regolazione semaforica si considera solo il sotto-sistema stradale (rete e domanda) o nella progettazione operativa della rete di linee di trasporto collettivo solo tale sotto-sistema. Se necessario, i modelli di rete e di assegnazione descritti nei capitoli precedenti possono essere integrati da modelli di simulazione di dettaglio, ad esempio del deflusso dei singoli veicoli o di loro plotoni.

Bibliografia

M. BECKMAN, M. C.GUIRE e C. B. WINSTEN, Studies in the economics of transportation, Yale University Press, New Haven CT, 1968.

M. BEN-AKIVA e S. LERMAN, Discrete Choice Analysis: Theory and

Application to Travel Demand, MIT Press, Cambridge, Mass, 1985.

P. BERIA e M. PONTI, Introduzione ai sistemi di trasporto, Pitagora editrice, Bologna, 2007.

W. R. BLUNDEN, The land use-transport system, Pergamon Press, New York, 1971.

R. DE NEUFVILLE, Systems planning and design, Prentice Hall, 1974.

M. MANHEIM, Fundamentals of transportation system analysis, MIT Press Cambridge Mass, 1979.

G. E. CANTARELLA, L'insegnamento delle discipline trasportatistiche nelle facoltà di ingegneria italiane: contenuti e prospettive. In Didattica e ricerca nell'ingegneria dei trasporti, a cura di P. Ferrari ed E. M. Cepolina, Franco Angeli, cit., pp. 66-72, 2006.

E. CASCETTA, Transportation Systems Engineering: Theory and Methods, Kluwer Academic Publisher, Boston, 2001.

E. CASCETTA, Modelli per i Sistemi di Trasporto: Teoria e Applicazioni, UTET, Novara, 2006.

E. CASCETTA, Transportation Systems Analysis: Models and Applications, Springer, 2007, in corso di pubblicazione.

F. CORINI, Meccanica della locomozione, UTET, Torino, 1950.

M. dE LUCA, Manuale di pianificazione dei trasporti, Franco Angeli editore, Milano, 2000.

M. dE LUCA, F. PAGLIARA e L. CRISCI, Aree metropolitane in Italia e prospettive per il trasporto ferroviario. In La ferrovia nelle aree metropolitane italiane, a cura di Marino de Luca e Francesca Pagliara, Aracne editrice, cit., pp. 39-65, 2007.

J. D. HUNT, D. S. KRIGER e E. J. MILLER, Current Operational Urban Land-use-Transport Modelling Frameworks: A Review, Transportation Reviews, 3, pp. 329-376, 2005.

S. MAGGI, Storia dei trasporti in Italia, Il Mulino, 2005.

D. McFADDEN, Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behaviour. In Zarembka P., Frontiers of Econometrics, Academic Press, New York, cit., pp. 105-142, 1979.

F. PAGLIARA e E. PAPA, Impatti territoriali ed economici dei sistemi di trasporto pubblico locale: un'applicazione alla metropolitana di Napoli. In Didattica e ricerca nell'ingegneria dei trasporti, a cura di P. FERRARI ed E. M. CEPOLINA, Franco Angeli, cit., pp. 230-237, 2006.

K. TRAIN, Discrete Choice Methods with Simulation, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

UNIVERSITA' DI NAPOLI-FACOLTA' DI INGEGNERIA, La istituzione della scuola d'applicazione de' ponti e strade in Napoli nel 1811, Cuzzolin editore, 2006.

M. WEGENER M. e F. FURST, Land-Use Transport Interaction: State of the Art, Transland Integration of Transport and Land Use Planning. Work Package 2, Deliverable D2a. Institute of Spatial Planning, University of Dortmund, Dortmund, 1999.

SALVATORE D'AGOSTINO

Ingegneria e beni culturali: una storia difficile

Premessa

L'Ingegneria,in quanto applicazione dell'"ingegno", nasce con le prime realizzazioni razionali dell'umanità e per lungo tempo progredisce con un lento sviluppo tecnologico che spesso si dipana su strade parallele nelle diverse civiltà.

Questo lungo processo, anche se noto nelle linee generali, presenta ancora molti aspetti problematici che riguardano, ad esempio, le grandi costruzioni antiche così come l'evolversi della meccanica applicata.

In tutto l'evo antico l'ingegneria aveva operato guardando alla natura ed alla sua interpretazione geometrica in una continua sperimentazione che era alla base delle "regole dell'arte". Con l'avvento dell'evo moderno l'ingegneria ha aderito profondamente al nuovo verbo scientifico, assumendo una visione della natura fondata sulla fisica matematica ed interpretabile mediante modelli analitici.

Questa nuova visione ha consentito lo straripante sviluppo tecnologico degli ultimi due secoli che ha completamente ridisegnato la vita dell'umanità. Si è così creata una dicotomia profonda tra l'ingegnere scienziato e l'empiria del vecchio mondo, che comunque aveva contribuito a realizzare tante meravigliose testimonianze del genio umano. Questa discrasia si è presentata con particolare incidenza nell'ambito della cultura materiale, dando luogo ad una storia sofferta che, già da tempo, ha compromesso l'integrità dei monumenti antichi e che in un breve arco di tempo potrebbe compromettere la sopravvivenza culturale dei centri storici, con una irreparabile perdita di identità.

L'ingegneria nel mondo antico

Il lento evolversi dell'uomo e l'affermazione del suo dominio sulla natura sono segnati dal progredire dell'ingegno e dai prodotti che esso genera; un lungo processo che, ancora in buona parte ignoto, era avvenuto già nella preistoria. Il comune senso della storia però si rivolge ad alcuni millenni, a quando l'uomo cominciò ad esprimere un processo collettivo di organizzazione antropologica della natura; già in questi albori della storia umana è possibile individuare il nascere di una ingegneria diffusa che caratterizza con i suoi prodotti le diverse fasi della civiltà.

La ricerca e la conoscenza di questo complesso percorso sono tradizionalmente dominio della archeologia che, tramite l'analisi della storia materiale, tende ad individuare e ricostruire gli infiniti percorsi dell'umanità. Quella dell'archeologia è una grande cultura fondata sulla storia materiale che però prescinde dall'atteggiamento metodo-logico proprio delle scienze applicate. L'archeologia tende più ad individuare e

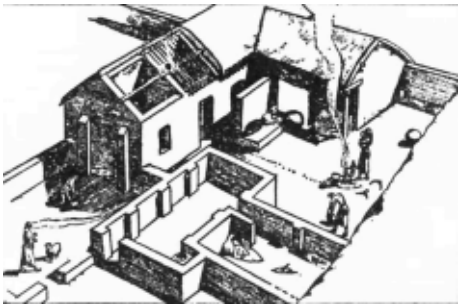


Fig. 1 – Ricostruzione di una "fattoria"; Hassuna in Mesopotamia. Probabilmente V millennio a.c.

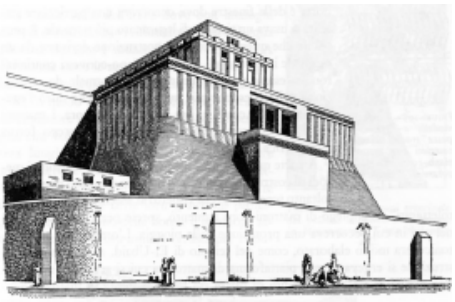


Fig. 2 – Ricostruzione di un tempio a Eridu in Mesopotamia. IV millennio a.c.

descrivere i diversi manufatti che a ricercare i processi di elaborazione che ne hanno consentito la realizzazione, e con analoga metodologia, ripercorre la storia della tecnologia antica che ha messo in luce i sorprendenti risultati di una ingegneria diffusa e articolata in processi regionali di ampio respiro che hanno caratterizzato le diverse civiltà [1].

Peraltro è sorprendente constatare come le logiche fondamentali che ancora oggi caratterizzano il rapporto uomo-natura, nonché la stessa organizzazione dell'umano operare, si presentino già elaborate all'alba dei primi insediamenti, strutturati in forme urbane. Ad esempio, già nel quinto millennio a.C. si riscontra una organizzazione della vita quotidiana, ancora oggi presente per molti aspetti, con edifici di forma rettangolare, probabilmente con tetti spioventi, con parecchie stanze e accessori raggruppati intorno ad un cortile aperto (fig. 1).

La ricostruzione di un tempio costruito a Eridu in Mesopotamia nel quarto millennio a.C. ha suggerito una concezione costruttiva assai complessa e di grande imponenza con l'uso di calcare, marmi, colonne e mosaici (fig. 2).

È evidente che già in epoche molto remote i canoni fondamentali dell'arte del costruire avevano compiuto progressi sorprendenti ed erano state elaborate le forme fondamentali dell'architettura antica: grandi strutture murarie, colonne e architravi, scale e coperture sia piane sia a volta (fig. 3). Non vi è dubbio che tali risultati erano stati realizzati attraverso l'osservazione delle forme naturali e la loro razionalizzazione geometrica.

Ma tutto ciò chiama in campo un'elaborazione del fare che suggerisce lo sviluppo di culture tecniche che interessano i primordi di tutte le più diverse specializzazioni dell'ingegneria moderna, dalla geotecnica all'idraulica, dalla meccanica alla chimica, dall'ingegneria dei materiali a quella dei trasporti, e che hanno a lungo influenzato la storia dell'umanità; si pensi che, ancora negli anni '50 del secolo scorso, i corsi di Costruzioni Stradali si aprivano con un capitolo dedicato alla trazione animale. Questo sviluppo, diversamente articolato in

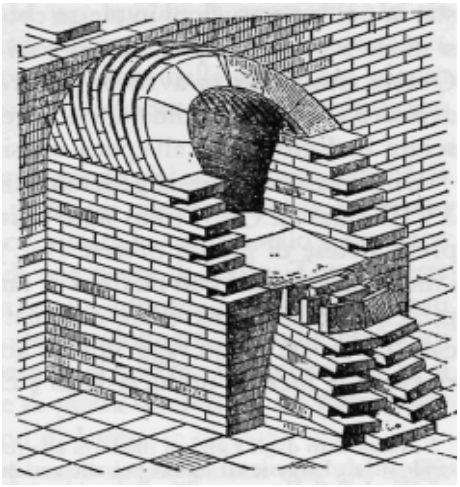


Fig. 3 – Passaggio coperto a volta di mattoni a Khorsabad in Mesopotamia

vari paesi, si è dipanato per millenni con una storia che, sul piano della sua rilettura scientifica, è ancora in gran parte da ricostruire.

Una storia certamente non lineare, come è stato recentemente dimostrato [2], che ha generato in tempi molto vicini a noi confusione ed ignoranza, fino ad assumere "che la scienza fosse nata in età moderna, grazie a scienziati come Copernico, Galileo e Newton, la cui grandezza non è in discussione, ma che sapevano bene di aver avuto nell'antichità maestri la cui guida era ancora essenziale" [3]. Eppure, per millenni gli antichi avevano realizzato opere d'ingegneria di altissimo impegno. Questo mancato riconoscimento è certamente dovuto alla perdita delle più rilevanti fonti scritte, nonché di gran parte dell'antica tecnologia, ma anche ad un approccio metodologico profondamente diverso tra l'antica elaborazione tecnologica ed il pensiero scientifico moderno.

Un'esemplificazione la si può ritrovare proprio osservando che, mentre nell'antica matematica erano sempre presenti l'interesse ed il riferimento a fenomeni concreti e la geometria era legata alla rappresentazione grafica, nella scienza moderna prevale l'astrazione dei concetti che ha dato luogo alla costruzione di una natura razionale sviluppatasi dalla fisica matematica fino alla meccanica razionale.

Nell'antichità, quindi, l'obiettivo principale era il problema da risolvere, l'oggetto da realizzare; in un certo senso, si potrebbe dire che era la tecnologia a guidare il percorso scientifico. Ciò suggerisce che la tecnologia antica si fondava sulle "regole dell'arte", che rappresentano il risultato di una prassi operativa fondata su riflessioni e sperimentazioni, certo non prive di fallimenti e ripensamenti. Ancora oggi, osservando il meccanismo di Anticitera, viene fatto di pensare ad "un oggetto talmente raffinato e complesso che non può essere unico, né la creazione di un singolo. Dietro quei complicati ingranaggi si cela un universo di sapienti meccanismi, di tornitori, di arti, di tecniche, di matematici ed astronomi che lavorano gomito a gomito. Dove avveniva tutto ciò? In un solo Paese? Competevano gli uni con gli altri?...." [4] (fig. 4).

Una volta acquisita una regola dell'arte, essa diveniva uno strumento seriale per la realizzazione di manufatti ed espressione di cultura materiale che poteva permanere per secoli, spesso in ambiti territoriali definiti. Ad esempio, in Egitto, i metodi costruttivi rimasero

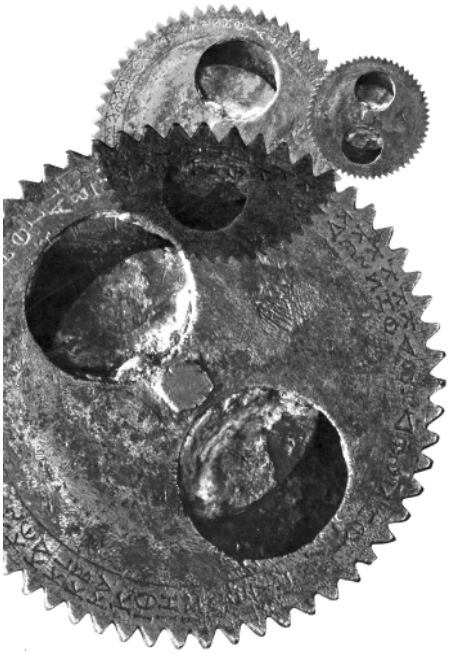


Fig. 4 – Meccanismo di Anticitera

sostanzialmente invariati per circa 3000 anni, con regole dell'arte molto precise che il pensiero scientifico moderno non è stato ancora in grado di ricostruire.

Questa concezione scientifico-tecnologica, che è poi ingegneria, permane per millenni, pur modificandosi nella prassi delle diverse civiltà, e subisce un radicale cambiamento solo a partire dal XVI secolo, sul piano teorico, e ben più tardi nella prassi operativa dell'ingegneria civile che, tra tutte le ingegnerie, conserva il più forte legame di continuità con l'antico operare. Un esempio per tutti: le tecniche romane per la costruzione delle terme, rimaste invariate, vengono ancora applicate da Luigi Vanvitelli nel bagno della Regina, nella residenza di San Leucio.

L'ingegneria nel mondo moderno

È ben noto ed evidente che in ogni epoca storica, fin dalla più remota antichità, sono state sviluppate analisi, riflessioni, deduzioni e regole dell'arte che esprimono il lungo progredire della storia della scienza e delle sue applicazioni tecnologiche, ma è altresì acquisito che solo con l'avvento della concezione galileiana matura quella grande rivoluzione scientifica alla base di un radicale cambiamento di metodo che ha consentito alla scienza ed all'ingegneria moderna di produrre, nell'arco di qualche secolo, un mutamento globale della civiltà umana. In effetti, anche gli studi e le opere dei grandi protagonisti del Rinascimento, da Leon Battista Alberti, a Palladio, a Leonardo da Vinci sono espressioni, sia pure altissime, dell'antica scienza; in particolare Leonardo, che pur eccelle sui suoi contemporanei scrivendo di prospettiva, di idraulica, del moto e delle forze, resta al di qua di quel fossato che divide la speculazione antica dalla nuova scienza. Semmai la cultura moderna resta attonita rispetto ai risultati conseguiti nel Rinascimento, dalla gru girevole di Brunelleschi, (fig.5) all'arcata di oltre duecento metri progettata da Leonardo sul Bosforo e perfettamente eseguibile [5] (fig.6).

Anzi, come è stato recentemente messo in luce [6], l'interesse per la scienza del Rinascimento, in generale, e per quella vinciana in particolare, sono da sempre particolarmente vivi nella cultura italiana più attenta, aperta e pronta a recepire il fascino della scienza antica. Ne è ancora una testimonianza il volu-

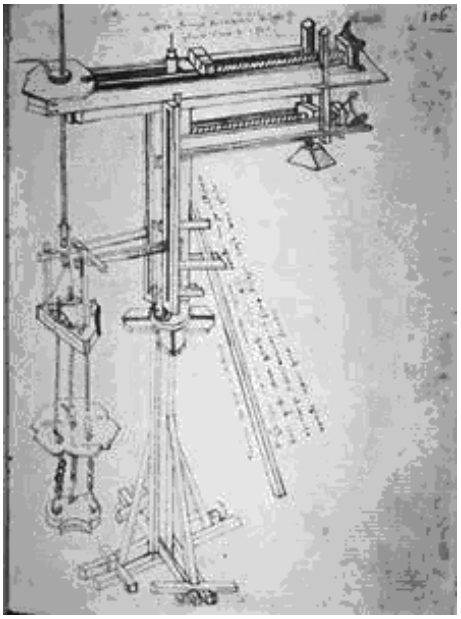


Fig. 5 – Gru girevole di Brunelleschi

me dedicato nel 1950 agli studi vinciani da Roberto Marcolongo [7], e d'altro canto più si approfondisce lo studio dell'antichità nel suo complesso e più se ne scoprono ricchezze culturali e scientifiche insospettate.

In effetti, la rivoluzione scientifica moderna, tradizionalmente ed emblematicamente individuata nell'opera di Galilei, determina un cambiamento epistemologico, filosofico e culturale che produce un nuovo approccio concettuale; la scienza si pone come metodo assoluto di conoscenza dell'universo, e le sue indagini tendono alla formulazione di leggi generali esprimibili in concetti ed equazioni matematiche. La natura viene rivisitata in tutti i suoi aspetti e la nuova scienza induce una rivoluzione tecnologica che diventa rivoluzione industriale. Nasce la moderna ingegneria

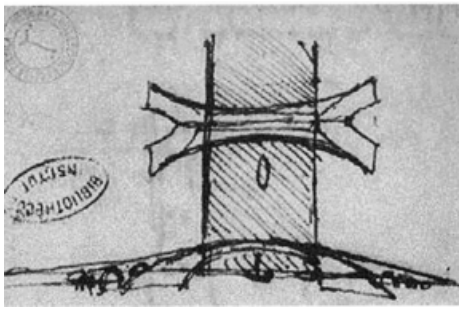


Fig. 6 – Progetto di ponte sul Bosforo di Leonardo da Vinci

che, sulla base della nuova metodologia scientifica, produce modelli matematici che diventano i motori di un inarrestabile sviluppo tecnologico che ha cambiato totalmente la vita dell'umanità: dalle opere pubbliche alle ferrovie, dall'ingegneria navale alle automobili e alle reti autostradali, dall'elettricità all'elettrificazione, dall'ingegneria chimica a quella dei materiali, dall'avvento delle materie plastiche ai biomateriali, dall'aeronautica alla conquista dello spazio, fino alla elettronica, alla robotica, alla rivoluzione informatica.

Tutto ciò è stato possibile per l'elaborazione e la diffusione di una logica e di un linguaggio che hanno pervaso la civiltà contemporanea la quale, per analogia, discetta di ingegneria aziendale, economica, politica e così via.

I modelli dell'ingegneria scaturiti dalla matematica applicata hanno dato origine ad una visione fisico-matematica della natura e, nella necessità di una formulazione analitica, hanno indotto una visione razionale trascurando, ove opportuno, anche evidenti realtà fisiche: si pensi, ad esempio, nell'ambito della meccanica razionale, alla assunzione del

corpo rigido ed alla assenza di attrito. Ma la forza dell'ingegneria risiede proprio nella sperimentazione dei modelli analitici, nella valutazione dei risultati e quindi nella loro applicabilità allo sviluppo tecnologico. Da qui nasce "un'acribia dell'ingegnere" che opera con irremovibili certezze, determinando un'evoluzione tecnologica che spesso incide sui modelli di vita, influenzando così i comportamenti sociali. In questo incessante sviluppo non vi è spazio per riflessioni critiche scaturenti dal confronto con altri atteggiamenti culturali che attingono le proprie radici nella cultura storica. Così il progredire della tecnologia e l'avvento dell'informatica hanno certamente destrutturato, se non distrutto la concezione industriale del secolo scorso e hanno favorito l'incessante sviluppo del settore terziario, modificando l'antico concetto di lavoro materiale e innescando profondi cambiamenti economici e sociali. Così una acritica gestione della tecnologia ha indotto gravi problemi ambientali, come ad esempio è avvenuto nella conservazione del patrimonio storico e monumentale.

In definitiva, l'ingegneria moderna, dopo circa tre secoli di incessante espansione, si presenta come un settore maturo che in molti campi richiede una presa di coscienza critica, anche mediante la conoscenza storica dei processi tecnologici, finanziari, amministrativi ed in definitiva sociali e politici che hanno caratterizzato e caratterizzano le diverse civiltà. Da qui scaturisce l'esigenza di ricercare la propria millenaria identità attraverso una rilettura storico-scientifica dell'umano sviluppo. In ciò deve essere coinvolta l'Ingegneria tutta, con le tante articolate ramificazioni, auspicando che questo processo possa sviluppare nuove prospettive di espansione, in consonanza con le aspettative più vivaci della cultura contemporanea. Se, al contrario, l'ingegneria tenderà ad appiattirsi, svolgendo la funzione di tecnologia di supporto di processi scientifici maturati in altri settori di ricerca, rinunciando ad una propria autonomia culturale, il ruolo dell'ingegnere decadrà a quello di tecnico esecutivo, rinnegando la preziosa tradizione scientifica che ne ha caratterizzato l'evoluzione negli ultimi secoli.

Ingegneria e beni culturali

È indubbio che l'universo dei Beni Culturali trovi fondamento in un serrato dialogo con la storia e con la visione che di essa hanno le diverse epoche e civiltà. In antico si tendeva a reinterpretare i beni culturali alla luce della visione religiosa e socio-politica di ciascuna fase storica.

È solo con la concezione moderna della Storia come scienza dell'uomo che i beni culturali assumono l'esemplare valenza di monumenti-documenti dell'umano cammino. Essi, di fatto, si manifestano come il più grande archivio di storia materiale dell'umanità, e pertanto come un patrimonio di conoscenze e di identità da conservare e tramandare al futuro.

La visione moderna è conseguente a quella rivoluzione scientifica e tecnologica che in circa due secoli ha creato

una frattura incolmabile tra la concezione storico-scientifica della antichità e quella moderna ed è proprio su questa visione che si fonda quella teoria della conservazione i cui fondamenti sono una conoscenza storica e una ricerca scientifica che mutuamente si integrano e unitariamente si sviluppano. Tale teoria, implicitamente assunta nella cultura archeologica e archeometrica, stenta a svilupparsi nella cultura dell'ingegneria, naturalmente dedita allo sviluppo tecnologico e ben più distante dalla riflessione storica.

A ciò si aggiunga, proprio con riferimento al patrimonio costruito, che la tradizione italiana della storia dell'architettura si fonda ancora su una visione purovisibilista del monumento, trascurando di fatto le grandi valenze della storia materiale, proprio sul piano storico scientifico. D'altro canto l'atteggiamento culturale dell'ingegneria è certamente intrinseco al prorompente sviluppo tecnologico che ne ha caratterizzato il procedere negli ultimi due secoli.

In particolare, nel campo dell'architettura tra fine '800 e inizi '900 si è consumata la più grande rivoluzione mai verificatasi nella concezione costruttiva, nei materiali, nelle tecniche. Infatti mentre fino alla metà del secolo scorso, con riferimento al costruito storico, si era conservata una continuità di materiali, tecniche e regole dell'arte, questo enorme patrimonio di storia materiale è stato abbandonato a favore di una visione scientifica sviluppatasi con la scienza delle costruzioni, che ha prodotto e produce modelli di calcolo matematico sui quali è basata la concezione strutturale moderna, che ha trasformato il vecchio concetto unitario di costruzione nella progettazione di un organismo strutturale autonomo, cui si sovrappongono i diversi componenti di una edilizia ormai industrializzata.

Questo processo, che peraltro conserva comunque legami metodologici e materiali con l'antico costruire, si manifesta con assoluta discontinuità nel campo delle ingegnerie non tradizionali, ormai anch'esse chiamate ad interagire con il pianeta beni culturali, vuoi nella conservazione vuoi nella valorizzazione. Basti pensare, ad esempio, all'impatto che può essere determinato dagli impianti elettrici e meccanici, dai prodotti per l'edilizia e dai nuovi materiali, dalle resine alle fibre di carbonio. A ciò si aggiunga l'incombente pericolo di una involuzione culturale del nuovo ingegnere, che tende a soggiacere vuoi all'asservimento informatico, vuoi alle normative cogenti.

Si è così determinata, a partire dalla metà del secolo scorso, una discrasia tra le aspettative storico critiche della conservazione dei beni culturali e l'approccio deterministico della ingegneria che comunque resta l'unico interlocutore possibile su molti aspetti della conservazione, a partire da tutti i complessi temi della sicurezza vuoi statica, vuoi impiantistica, nonché sul degrado dei materiali. Tutto ciò ha indotto e induce ancora gravi danni non solo al patrimonio monumentale ma anche a quella edilizia diffusa che costituisce l'elemento caratterizzante dei Centri storici.

L'approccio tradizionale

Nella prima metà del secolo scorso la prassi dell'ingegneria civile era ancora dominata dalla cultura costruttiva tradizionale; nelle Facoltà di Ingegneria non si insegnava ancora la tecnica del calcestruzzo armato e materiali e tecniche tradizionali trovavano diffuse applicazioni. Ciò avveniva, in una continuità materiale col passato, anche nel settore dei Beni Culturali: l'archeologo Maiuri, forte di una pratica del costruire acquisita sul campo, prescindeva, nel suo enorme lavoro di conservazione del tessuto archeologico campano, dall'apporto specialistico degli ingegneri, e l'ingegnere De Angelis d'Ossat, che sarebbe assurto al vertice della Direzione generale per le Belle Arti del Ministero della Pubblica Istruzione, nel 1937 eseguiva un restauro del cosiddetto tempio di Diana a Baia in piena armonia con la concezione costruttiva, i materiali e le tecniche della grande architettura romana. Ancora, in pieni anni '30, si realizzava una complessa opera di sottofondazione del Duomo di Pienza mediante colossali pozzi in mattoni che raggiungono i trenta metri di profondità.

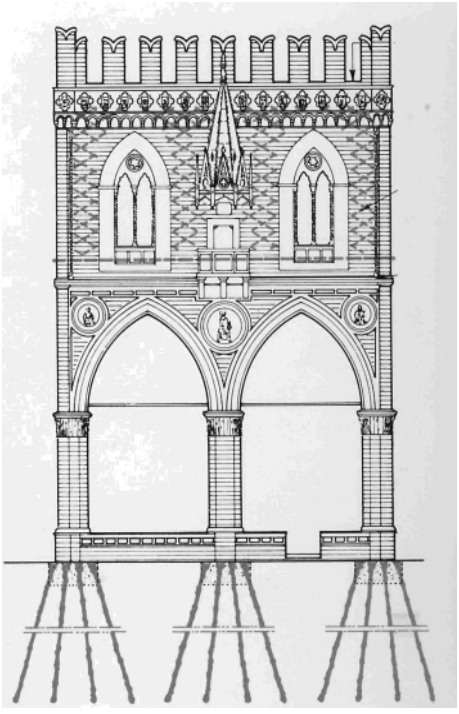


Fig. 7 – Palazzo della Mercanzia a Bologna

In effetti la vera svolta si verificò nei primi anni del secondo dopoguerra quando il calcolo strutturale e la tecnica del cemento armato, ormai normalizzata e diffusa, si svilupparono prima nella ricostruzione post-bellica e poi nel boom edilizio degli anni '60 che hanno cambiato il paesaggio urbano europeo.

La cultura scientifica e tecnologica dei nuovi ingegneri cominciò ad essere in perfetta antitesi concettuale con l'antica concezione costruttiva e l'assenza di una visione storico critica annullò ogni rapporto con il passato. In tal modo, ben presto, l'antico tessuto costruttivo apparve alla nuova ingegneria come un costruito archeologico, per il quale si introdussero tecniche cosiddette di consolidamento che, al di là di ogni fondamento scientifico e di qualsiasi calcolo strutturale, tendono a cementificare quel costruito storico che per secoli aveva resistito al trascorrere del tempo, così come ai ricorrenti eventi sismici.

La svolta tecnologica avvenne agli inizi degli anni '50 del secolo scorso, quando proprio a Napoli venne brevettata l'invenzione dei pali radice che, unitamente alle iniezioni di malta cemen-

tizia, dà luogo al cosiddetto "reticolo armato". Da quel momento, mentre l'ingegneria strutturale elaborava, per le costruzioni in acciaio e in calcestruzzo armato modelli di calcolo sempre più raffinati, le tecniche di consolidamento, di cui si impadronirono rapidamente grandi e piccole imprese, procedettero alla diffusa cementificazione del patrimonio monumentale europeo [8], (fig. 7, 8 e 9).

Già il Convegno A.I.T.E.C. "Restauro e cemento" del 1982 registrava la cementificazione di centinaia di monumenti [9].

Dopo il sisma del Friuli e successivamente con le tante crisi sismiche che hanno investito molte regioni italiane, dalla Campania alla Sicilia, dalle Marche all'Umbria, la cementificazione si è estesa a tutto il patrimonio costruito storico.

Negli ultimi venti anni l'ingegneria strutturale ha svolto con impegno numerosi studi sulle strutture in muratura, tutti però condotti nello spirito della nuova concezione costruttiva con particolare riguardo alle strutture intelaiate, rifiutando ancora una volta di riappropriarsi scientificamente della concezione spaziale delle antiche costruzioni, non rinnegando le moderne tecniche di consolidamento, ma anzi, cercando nella millenaria storia del costruito storico, impropri avalli al recente operare [10].

In definitiva, l'ingegneria strutturale ha assolto ad un compito importante nell'assicurare comunque la sicurezza statica del costruito storico, ma lo ha fatto, per carenza di visione storico critica, con interventi impropri che ne hanno compromesso, se non distrutto, le valenze di documenti dell'archivio di storia materiale dell'antichità.

C'è da dire che comunque questo approccio fondamentalmente tecnicistico è stato purtroppo proprio della ingegneria nel suo complesso, dalla geotecnica al complesso mondo degli impianti con le loro molteplici articolazioni.

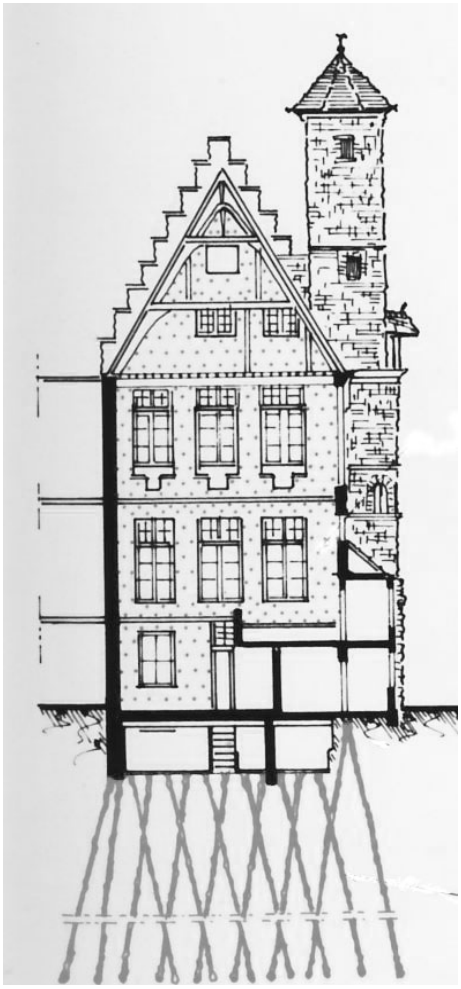


Fig. 8 – Edificio "Het-Toreken" Gent (Belgio)

L'approccio storico critico

Nell'ultimo quarto di secolo si sono manifestati i primi segni importanti di una "coscienza critica", che ha richiesto anche una rinnovata consapevolezza storica dei processi scientifici e tecnologici. Riferimenti fondamentali restano l'opera di Benvenuto [11,12], gli studi di Di Pasquale [13] e le riflessioni e i progetti di Giuffrè [14,15,16], che già nel citato Convegno A.I.T.E.C. chiedeva "Pietà per i monumenti". Queste riflessioni, tutte italiane, si vanno continuamente arricchendo di studi recenti [17, 18,19], contribuendo alla storia del costruire che si sta sviluppando negli ultimi anni sul piano internazionale [20, 21,22], anche con riferimento ad una rilettura scientifica della storia materiale.

Certo, gli studi citati si sviluppano in prevalenza sul piano teorico, trascurando in generale un'analisi della concezione costruttiva dell'architettura antica, ma essi costituiscono un punto di riferimento fondamentale, innanzitutto per la loro visione storico scientifica, che riuscì ad incidere, negli anni '80, anche sull'allora Ministero dei Beni Culturali che, unitamente alla Protezione Civile, si mostrò sensibile al rischio di cementificazione postsismica, emanando dapprima Raccomandazioni e Direttive e successivamente finanziando numerose ricerche a sostegno di una conservazione storicamente consapevole del patrimonio monumentale [23¸26].

Purtroppo una serie di funesti eventi, il mutato assetto ministeriale ed una crescente, strumentale preoccupazione per la vulnerabilità sismica del patrimonio costruito storico hanno compromesso un consapevole approccio storico scientifico a favore di un atteggiamento puramente tecnicistico di cui sono emblematico esempio alcune recenti normative, nelle quali appare prevalente la concezione burocratica della protezione civile.

Nel contempo, però l'impegno di ricercatori [27¸36], di molti Enti di tutela e di associazioni tecnico scientifiche hanno non solo consentito l'elaborazione di una teoria della conservazione fondata su basi storico-scientifiche, ma hanno sviluppato ricerche sul campo e documentato con grande impegno molti interventi sul costruito storico [37,43]. Ovviamente questo approccio trova più attenta la cultura archeologica, mentre quella architettonica, meno sensibile alla storia materiale, resta più condizionata dal mondo professionale ed imprenditoriale.

Questa nuova visione culturale ha già peraltro inciso in modo determinante sugli interventi di conservazione di numerosi monumenti, dalla Torre di Pisa ai templi di Paestum. dalla Villa dei Quintili sull'Appia antica ad alcuni complessi della Reggia della Venaria. Purtroppo però è ancora carente l'interesse della ricerca sulla rilettura scientifica dell'antica ingegneria, mentre altre discipline, dalla fisica alla geologia, dalla chimica alla biologia, hanno già sviluppato una poderosa ricerca archeometrica che arricchisce la conoscenza scientifica del mondo antico e collabora in maniera determinante alla conservazione dei manufatti storico-artistici [44¸48]. Proprio

in consonanza con l'Archeometria è nata e si va lentamente sviluppando una ingegneria per i Beni Culturali che, vuoi per una limitata visione culturale, vuoi per la complessità burocratica in cui si dibatte il mondo accademico, vuoi per l'attuale fase dell'imprenditoria edilizia, incontra non poche difficoltà ad affermarsi, tenendo anche conto della necessità di affrontare temi fortemente interdisciplinari e progetti di conservazione che privilegiano la manutenzione ordinaria agli interventi straordinari.

I principi fondamentali della teoria storico scientifica della conservazione del patrimonio costruito storico possono essere sintetizzati nei seguenti punti [49]:

A. conoscere sul piano scientifico e rispettare sul piano progettuale l'antica concezione costruttiva del monumento.

B. progettare interventi con materiali e tecniche omogenei all'antico tessuto costruttivo e di cui sia accertata la durabilità.

C. progettare nello spirito del minimo intervento, seguendo i criteri del miglioramento e della maggiore reversibilità possibile.

D. progettare i cicli di manutenzione programmata, prevedendone la fattibilità.

Ovviamente questi principi che possono essere genericamente condivisi vanno di volta in volta applicati sul campo e verificati dagli Enti di tutela, sia nella fase di progettazione sia in quella, ancora più delicata, della esecuzione.

Peraltro i principi enunciati, che trovano ben scarso riscontro nell'attuale pratica progettuale degli interventi di

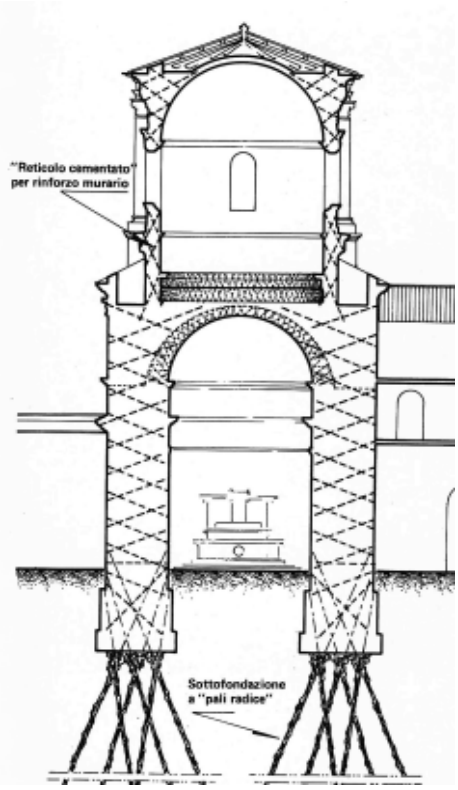


Fig. 9 – Chiesa di S. Andrea delle Fratte a Roma

conservazione e restauro, non sono certo limitati all'ambito costruttivo: la loro valenza è di tale ampiezza che investono per intero il vasto campo dell'ingegneria per i beni culturali.

Conclusioni e prospettive

Dalle note precedenti emerge con chiarezza la necessità di una riflessione storico-critica di tutto il complesso mondo dell'ingegneria, riflessione che dovrebbe impegnare anche la rivisitazione e la rilettura scientifica dell'ingegneria antica.

Questo percorso culturalmente innovativo, che stimola ad un proficuo di-

battito con le Facoltà di Lettere e di Architettura, ha altresì notevoli possibilità di innovazione sia sul piano della formazione, sia sul piano di uno sviluppo scientifico della diagnostica per i Beni culturali, sia nel confronto con il mondo industriale sempre pronto a cogliere i segni di una innovazione produttiva. Ne è palese esempio la produzione, nell'ultimo decennio, di malte specifiche per gli interventi di conservazione che hanno ormai sostituito le antiche malte di cemento.

È bene infine sottolineare che anche il processo di integrazione europea potrà collaborare ad una profonda revisione culturale nel campo dell'ingegneria, eliminando il valore legale della laurea, rendendo non cogenti le attuali normative e riportando l'ingegnere ad una più piena responsabilità individuale che richiederà non solo una formazione permanente ma anche una più approfondita visione culturale.

Bibliografia

[1] CH. SINGER E ALTRI: "*Storia della tecnologia*", tomi 16, Bollati Boringhieri, Torino 1992.

[2] L. RUSSO: "*La rivoluzione dimenticata,*" Feltrinelli, 2003.

[3] L. RUSSO: in Eureka, "*Il genio degli antichi*", pp. 21-37, Electa, Napoli 2005.

[4] E. LO SARDO, in Eureka, "*Il genio degli antichi*", pp. 12-15, Electa, Napoli 2005.

[5] S. D'AGOSTINO "*La storia del costruire e la meccanica razionale*", in corso di stampa.

[6] A. BUCCARO: "*Ingegneria tra scienza e arte: il* Codice Corazza *e la permanenza del modello vinciano a Napoli tra Sette e Novecento*", in questo volume.

[7] R. MARCOLONGO: "*Leonardo artista-scienziato"*, Hoepli, Milano 1950.

[8] F. LIZZI: "Restauro statico dei monumenti", Sagep Ed., Genova 1981.

[9] G. Carbonara (a cura di): "*Restauro e cemento in architettura"*. Convegno A.I.T.E.C, Roma 1981.

[10] P. ROCCHI (a cura di): *Trattato sul Consolidamento,* Mancosu, Roma 2004.

[11] E. BENVENUTO: "*La scienza delle Costruzioni e il suo sviluppo storico*", Sansoni, Firenze 1981.

[12] E. BENVENUTO: "*An Introduction to the History of Structural Mechanics"*, Springer, New York 1991.

[13] S. DI PASQUALE: "*L'arte del costruire, tra conoscenza e scienza"*, Marsilio, Venezia 1996.

[14] A.GIUFFRE': "*Letture sulla meccanica delle murature storiche*", Ed. Kappa, Roma 1990.

[15] A. GIUFFRE': "*Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*", Ed. Laterza, Bari 1993.

[16] A. GIUFFRE', C. CARROCCI: "*Codice di pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo"*, Laterza Ed., Bari 1999.

[17] A. BECCHI, F. FOCE: "*Degli archi e delle volte. Arte del costruire*

tra meccanica e stereometria", Marsilio, Venezia 2002.

[18] A.BECCHI M. CORRADI, F. FOCE, O. PEDEMONTE: "*Towards a History of Construction"*, Birkhauser Verlag, Berlin 2002.

[19] A.BECCHI M. CORRADI, F. FOCE, O. PEDEMONTE: "*Construction History. Research Perspectives in Europe"*, KWB, Firenze 2004.

[20] Proc. First Int. Congress "*Construction History*", vol. 3, Ist. Juan de Herrera, Madrid 2003.

[21] *Teoria e pratica del costruire*, Seminario Int., Ed. Moderna, Ravenna 2005.

[22] Proc. Sec. Int. Congr. "*Construction Hystory"*, vol. 3 Queens College, Cambridge, Univ. Press 2006.

[23] Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal rischio sismico istituito dal Ministero dei Beni Culturali e dal Dipartimento della Protezione Civile: "*Interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche: raccomandazioni*" 18.07. 1986, n. 1032; *Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di "miglioramento" anti-sismico e "manutenzione" nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica;* Decreto Legislativo 29/10/1989 n. 8 – *Testo Unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali ed ambientali D.L. 29/10/96 n. 490.*

[24] Atti I *Seminario di Studi del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale e la Questione Sismica*, Venezia, 1987

[25] Atti II *Seminario Nazionale di Studio del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale. La Questione Sismica, Contributi preliminari*, Gangemi, Roma, 1997.

[26] Atti II *Seminario Nazionale di Studio del Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale. La Questione Sismica*, Gangemi, Roma 1997.

[27] S. D'AGOSTINO, M. BELLOMO: *"Excavation, restoration and conservation of archaeological sites. The Villa dei Quintili on the Appia Antica in Rome"*, STREMAH 99, Historical Buildings, Wit Press 1999, vol. VI, pp. 451-460.

[28] S. D'AGOSTINO, M. BELLOMO: *"The mausoleum of Cecilia Metella on the Appia Antica a Structural Contribution to its Restoration and Adaptation for Use"*, STREMAH 2003, Halkidiki, Grecia, Brebbia Ed., Wit Press, pp. 461-468.

[29] M.L. CONFORTO, S. D'AGOSTINO*: "Extraordinary Maintenance Work Carried out on the Arch of Titus in Rome"*, STREMAH 2003, Halkidiki, Grecia, Brebbia Ed., Wit Press, pp. 439-445.

[30] M. CIPRIANI, G. AVAGLIANO (a cura di): Conv. Int. "Il restauro dei templi di Poseidonia", giugno 2004. Maioli Ed., Paestum 2007.

[31] Comitato Internazionale per la Salvaguardia della Torre di Pisa, Bollettino d'Arte, Ministero per i Beni e le Attività Culturali: *"La Torre restituita"*, Libreria dello Stato, Roma volume speciale 2005.

[32] F. ESPOSITO, A. MICHETTI: *"I criteri di dimensionamento degli organismi a cupola presso i romani" Materiali e Strutture. Problemi di Conservazione"* anno V, n. 2, pp 75-82, 3, pp.95-112, L'Erma di Bretschneider, Roma 1995; anno VI, n. 2, pp. 61-83, L'Erma di Bretschneider, Roma 1996.

[33] M.G. FILETICI: *"Il ripristino della copertura del Tempio di Ercole Olivario. Testimonianza di un grande Maestro: Nino Giuffrè"*, Restauro e Terremoto, n. 65, 1998, pp.61-66.

[34] M.G. FILETICI: *"Il tempio rotondo al Foro Boario e il Partenone nell'Acropoli di Atene: due esperienze a confronto nel consolidamento dei rocchi in marmo"*, Quaderni ARCo, *"I restauri sull'Acropoli di Atene"* (1975/2003), Roma 2002, pp. 231-241.

[35] B. ALBERTI, M.G. FILETICI, R. PARIS, V. SANTORO: *"La tutela e il restauro del patrimonio archeologico nel parco dell'Appia Antica"*, V Conv. Naz. ARCo *"Conservazione e normativa: esperienze recenti"*, Castello di Baia, Roma 2004, pp.173-182.

[36] S. D'AGOSTINO, M. MIGLIORE: *"Il restauro costruttivo del complesso Citroniera-Scuderia a Venaria Reale: gli aspetti strutturali"*, VI Conv. Naz. ARCo, Mantova 2006, in corso di stampa.

[37] Atti 1° Convegno Nazionale ARCo, Gangemi Ed. , Roma 1993

[38] Atti 2° Convegno Nazionale ARCo, Gangemi Ed., Roma 1995.

[39] Atti Seminario di Studi *"La Reintegrazione nel Restauro dell'antico"*, Gangemi Ed., Paestum 1997.

[40] Atti 3° Convegno Nazionale ARCo, Gangemi Ed., Roma 1999.

[41] Atti 4° Convegno Nazionale ARCo, Gangemi Ed., Roma 2001.

[42] Atti 5° Convegno Nazionale ARCo, Gangemi Ed., Baia 2004.

[43] Atti 6° Convegno Nazionale ARCo, Mantova 2006, in corso di stampa.

[44] Atti Congresso Nazionale Archeometria, 1° Verona 1999, Patron Ed., Bologna 2000.

[45] Atti Congresso Nazionale Archeometria, 2° Bologna 2002, Patron Ed. Bologna 2002.

[46] Atti Congresso Nazionale Archeometria, 3° Bressanone 2004, Patron Ed. Bologna 2005.

[47] Atti Congresso Nazionale Archeometria, 4° Pisa 2006, Patron Ed. Bologna 2007.

[48] Atti Convegno "*Innovazioni Tecnologiche per i Beni Culturali in Italia"*, 2005, Patron Ed. Bologna 2006.

[49] F. CAIROLI GIULIANI, M.L. CONFORTO, S. D'AGOSTINO, M.G. FILETICI, E. GUIDOBONI, R. PARENTI, P. VERDUCHI: "*The conception of building ancient architecture and the "rules of art""*, STREMAH 2007, Wit press Praga 2007.

GIUSEPPE BRUNO, GENNARO IMPROTA, LINA MALLOZZI, ANTONINO SGALAMBRO

Gli sviluppi della Teoria dei Giochi e le sue applicazioni nel campo dell'ingegneria

La *Teoria dei Giochi* studia situazioni di competizione e di cooperazione tra due o più soggetti (*giocatori, decisori*) razionali ed intelligenti[1]. In forma schematica, ogni giocatore dispone di un insieme di possibili decisioni e ciascuna di esse, combinata a quelle degli *avversari*, determina un certo *risultato* per il gioco, che viene valutato in maniera diversa dai diversi giocatori, in base ai rispettivi valori di utilità, o *payoff*. I decisori hanno dunque un controllo parziale sull'esito finale delle interazioni, valutazioni diverse sui possibili esiti delle stesse, e le loro scelte possono influenzare gli esiti degli altri. Già da questa definizione, si comprende come i risultati della Teoria dei Giochi possano essere, in linea di principio, applicati a moltissime situazioni della vita individuale e collettiva che siano classificabili come di *decisione interattiva*, e, dunque, nelle quali due o più entità[2] razionali ed intelligenti interagiscano tra loro, e le scelte (*strategie, azioni)* di ciascuna di esse siano condizionate da quelle delle altre ed, a loro volta, le condizionino[3].

Si è soliti far risalire la nascita della Teoria dei Giochi al 1944, facendola coincidere con l'anno di pubblicazione del celebre testo *Theory of Games and Economic Behavior*[4] di John von Neumann[5] e Oskar Morgenstern[6]. In esso i due autori, partendo da un'analisi dei cosiddetti *giochi da tavolo,* giungono a formalizzare, attraverso la Teoria dei Giochi, *situazioni di mercato* nelle quali identificano come giocatori i produttori ed i consumatori di beni. A von Neumann e Morgestern si devono la definizione di *gioco in forma estesa*[7] e di *strategia min-max* per *giochi a due giocatori a somma nulla*, giochi cui partecipano due soli giocatori con interessi contrapposti, nei quali la vincita di un giocatore è uguale e contraria alla perdita dell'altro giocatore. Anche se la pubblicazione di *Theory of Games and Economic Behavior* costituisce, indiscutibilmente, la pietra miliare più evidente e nota nello sviluppo della Teoria dei Giochi, una analisi, anche superficiale, della letteratura sull'argomento, mostra, tuttavia, che primi significativi contributi alla teoria si ritrovano, nella letteratura economica, già nei lavori di Cournot[8] (1838), Bertrand[9] (1883), Edgeworth[10] (1925), nel contesto della competizione nei prezzi e nella produzione in mercati oligopolistici. Vanno, inoltre, ricordati, per segnare lo sviluppo storico della Teoria dei Giochi, almeno tre lavori di *connotazione* matematica nei quali sono chiaramente presenti suoi concetti base: Zermelo[11] (1913), Borel[12] (1924), von Neumann[13] (1928).

Un semplice esempio di gioco non cooperativo[14] *con due giocatori a somma costante*[15]*: la localizzazione di due stazioni di servizio*[16]. Due stazioni di servizio concorrenti hanno l'opportunità di localizzarsi lungo la strada principale di una cittadina (la strada non è utilizzata per spostamenti esterno-esterno ed il servizio è, dunque, destinato esclusivamente agli abitanti della cittadina). Sono possibili 5 ipotesi di localizzazione alle ascisse: {0, ¼, ½, ¾, 1}, ed i futuri gestori delle due stazioni possono decidere, a loro piacimento, di localizzarle ad una qualsiasi di queste ascisse (eventualmente anche entrambe alla medesima). Si suppone: (i) che la domanda sia uniformemente distribuita lungo la strada, (ii) che i clienti si riforniranno alla stazione più vicina e che (iii) quelli che si trovano ad eguale distanza dalle due stazioni si divideranno al 50% tra esse. La situazione può essere descritta attraverso un gioco a due giocatori (la stazione A e la stazione B) a somma costante (la somma dei clienti delle due stazioni sarà sempre pari alla domanda complessiva). La suddivisione della domanda tra le due stazioni in funzione delle scelte localizzative può essere espressa, nelle ipotesi poste, attraverso la Tabella 1, di evidente costruzione.

		Loc B				
Loc A	0	1/4	1/2	3/4	1	Min riga
0	1/2	1/8	1/4	3/8	1/2	1/8
¼	7/8	1/2	3/8	1/2	5/8	3/8
½	3/4	5/8	1/2	5/8	3/4	1/2
¾	5/8	1/2	3/8	1/2	7/8	3/8
1	1/2	3/8	1/4	1/8	1/2	1/8
Max col	7/8	5/8	1/2	5/8	7/8	

Tab. 1 - Tabella dei Payoff per il problema di localizzazione delle stazioni di servizio (stazione A)

È evidente che, se le stazioni si localizzassero alla medesima ascissa, si dividerebbero il mercato e, dunque, tutti gli elementi delle due diagonali della matrice dei payoff sono pari ad 1/2. Se si esamina la *Tabella 1* si nota, innanzi tutto, che la prima e la quinta riga (localizzazione di A alle ascisse 0 ed 1) presentano, elemento per elemento, un payoff inferiore a quelli relativi alle righe 2, 3, 4.È dunque evidente che non potrà essere mai conveniente per la stazione A localizzarsi alle ascisse 0 ed 1[17]. Come si assume, in generale, nella Teoria dei Giochi, si indichi la stazione A come *il giocatore che massimizza*, nel senso che ha come obiettivo quello di massimizzare, a fronte di quella che sia la strategia adottata dalla stazione B, la quota di mercato acquisita (il che è del tutto equivalente ad avere come obiettivo, essendo il mercato complessivo fissato, quello di minimizzare la quota di mercato acquisita dalla stazione B). Corrispondentemente, la stazione B sarà individuata come *il giocatore che minimizza*, nel senso che ha come obiettivo quello di minimizzare, a fronte di quella che sia la strategia adottata dalla stazione A, la quota di mercato acquisita dalla stazione A (il che equivale a massimizzare la propria quota di mercato acquisita). Esaminando le righe 2,

3, 4 (strategie non dominate - localizzazione della stazione A alle ascisse 1/4, 1/2, 3/4) si nota che i minimi corrispondenti sono: 3/8, 1/2, 3/8. Alla stazione A conviene localizzarsi alla ascissa 1/2 (nella peggiore delle ipotesi conquisterà una quota di mercato pari ad ½, massimizzando, in tal modo, la minima domanda acquisibile) anche se la seconda e la quarta strategia presentano, rispettivamente, il primo ed il quinto payoff pari a 7/8. La scelta di localizzarsi alla ascissa 1/2 è giustificata dal ragionamento che se la stazione A scegliesse, ad esempio, la seconda strategia ma la stazione B scegliesse la terza, la stazione A conquisterebbe una quota del mercato pari solo a 3/8 (inferiore ad 1/2). Un ragionamento del tutto analogo può essere sviluppato per il giocatore che minimizza il quale, sulla base di considerazioni duali, avrà tutto l'interesse di assicurarsi una quota di mercato certa minima (corrispondente al minimo delle massime perdite) pari ad 1/2, piuttosto che rischiare con le localizzazioni ad 1/4 ed a 3/4 di averne una inferiore, e si localizzerà all'ascissa 1/2.

Dunque, entrambe le stazioni si localizzeranno a metà della strada, con la certezza di conquistare, indipendentemente dalla localizzazione del concorrente, almeno una metà del mercato dando luogo, però, ad una localizzazione socialmente non ottima. Infatti se le stazioni si localizzassero una ad 1/4 e l'altra a 3/4, la quota di mercato di entrambe sarebbe ancora 1/2 ma le stazioni sarebbero più vicine ai clienti. Ma tale risultato discende dalla ipotesi assunta di non cooperazione. Si noti, in conclusione, che il problema descritto ha soluzione in quanto la matrice dei payoff presenta un punto di sella (minimo dei massimi di riga = al massimo dei minimi di colonna).

Pochi anni dopo la pubblicazione del libro di von Neumann e Morgestern, quattro lavori[18,19,20,21] scritti da John F. Nash[22] determinano una svolta decisiva allo sviluppo della Teoria dei Giochi per il caso dei *giochi non cooperativi* e *a somma non nulla*. Un concetto largamente utilizzato nella soluzione di giochi non cooperativi è proprio quello noto come *equilibrio di Nash*[23], sotteso e giustificato dall'idea che la razionalità individuale preceda quella collettiva. In estrema sintesi, un insieme di strategie adottate dai giocatori (un *profilo di strategie*) costituisce un equilibrio di Nash se nessuno di essi, preso singolarmente (ovvero se gli altri giocatori non mutano strategia), può, cambiando strategia, migliorare il suo payoff.

Dunque, in corrispondenza di un equilibrio di Nash, per ogni giocatore la strategia adottata costituisce la sua migliore risposta alle strategie adottate dagli altri giocatori[24]. L'equilibrio di Nash appare come una naturale generalizzazione degli equilibri studiati in modelli specifici da A. Cournot[25] e da J. Bertrand ed il punto di partenza per gran parte dei problemi di analisi economica: analisi di mercati oligopolistici, problemi di entrata e di uscita in un mercato, modelli di contrattazione, modelli di aste, politica monetaria, localizzazioni, assicurazioni, beni pubblici, etc.

Problemi di localizzazione

Un interessante esempio di applicazioni della ricerca di equilibri di Nash è rappresentato dai *problemi di localizzazione*, in generale estremamente più complessi ed articolati del caso presentato in precedenza con riferimento alle stazioni di servizio. Con riferimento al problema della localizzazione di *facilities* sul territorio, si consideri ad esempio il caso di *n* imprese che vogliano posizionare altrettanti nuovi punti di servizio in una regione nella quale esistano altri *m* centri che erogano il medesimo servizio. Sotto l'ipotesi che il costo di trasporto tra ogni coppia di centri sia funzione della distanza tra essi, si vuol scegliere l'insieme delle nuove localizzazioni, al fine di minizzare i costi di trasporto complessivi, pari alla somma del costo di trasporto tra i nuovi *n* centri e del costo di trasporto tra essi e le *m* localizzazioni già esistenti. Questo problema, già affrontato con tecniche di Programmazione Matematica[26], è stato recentemente rivisitato nell'ottica della Teoria dei Giochi, con risultati interessanti[27]. Se i giocatori sono le imprese e le strategie le possibili localizzazioni, e se ciascun giocatore tende a minimizzare i propri costi di trasporto, le interazioni strategiche tra le imprese per produrre la localizzazione degli *n* nuovi centri danno luogo ad equilibri di Nash. È stato altresì dimostrato che le soluzioni ottime del problema di minimizzazione dei costi complessivi, ottenibili con tecniche di ottimizzazione, fanno parte dell'insieme degli equilibri di Nash del gioco sopra descritto.

Relazione tra equilibrio di Nash ed equilibrio di Wardrop nelle reti di trasporto

John Glen Wardrop enunciò, nei primi anni '50, una ben nota condizione di equilibrio dei flussi di traffico su una rete di trasporto: *In condizioni di equilibrio, i flussi di traffico sugli archi di una rete stradale*[28] *sono tali che nessun utente può ridurre il costo del suo spostamento cambiando il percorso*[29]. Se non vi sono effetti stocastici e, dunque, tutti gli utenti percepiscono il costo allo stesso modo, ciò equivale ad affermare che: *In condizioni di equilibrio, i flussi di traffico su una congested network sono tali che tutti i percorsi utilizzati tra ogni coppia origine-destinazione presentano un eguale costo di percorrenza che risulta il minimo possibile, mentre tutti i percorsi non utilizzati presentano costi di percorrenza eguali ad esso o maggiori.* Questa condizione è nota come *primo principio di Wardrop* o, anche, *equilibrio di Wardrop*. L'equilibrio di Wardrop, in buona sostanza, corrisponde ad uno scenario comportamentale in cui ciascun utente è teso ad *ottimizzare il suo benessere individuale*: dovendo scegliere il proprio itinerario all'interno di una rosa di possibilità, egli opterà sempre per un percorso cui sia associato un costo non superiore a quelli relativi alle altre scelte disponibili (modello *selfish-routing*)[30]. Tra le ipotesi di questo modello di comportamento, è implicita quella di perfetta conoscenza, da parte degli utenti, dei costi di percorso associati ai diversi possibili itinerari origine-destina-

zione tra cui sono chiamati a scegliere, costi che dipendono, a loro volta, dal modo in cui gli utenti si distribuiscono sulla rete e dai livelli di congestione che, di conseguenza, si determinano sui diversi archi. Su queste ipotesi, Wardrop evidenziò le condizioni che devono verificarsi affinchè su una rete di traffico si manifesti una condizione di equilibrio dei flussi, condizioni che, come si è detto, implicano, per ciascuna coppia origine-destinazione, esclusivamente l'utilizzo di percorsi a costo minimo. Solo sotto tale condizione, infatti, nessun utente *razionale*, che abbia conoscenza dei costi sulla rete e punti ad ottimizzare il proprio benessere, può avere interesse a "deviare" dal proprio percorso[31]. Il modello di selfish-routing degli utenti su reti di trasporto può essere reinterpretato sotto la chiave di lettura della Teoria dei Giochi, facendo riferimento ad un *gioco non cooperativo*, definito su una rete di trasporto congestionata. I giocatori corrispondono ad un insieme $I = \{1, \ldots, n\}$ di utenti della rete, ciascuno interessato ad instradare una quantità positiva di flusso d_i dal nodo origine O_i al nodo destinazione D_i, $i \in I$, potendo liberamente suddividere il proprio flusso sui diversi cammini che connettono tali nodi. Lo scopo di ciascun giocatore è quello di minimizzare la propria disutilità, funzione dei costi di percorrenza sugli archi della rete condivisa e soggetta a congestione. Sotto l'ipotesi di convessità delle funzioni di costo, è dimostrata l'esistenza di (almeno) un equilibrio di Nash per tale gioco, corrispondente ad un profilo di strategie che conduce ad una configurazione dei flussi sulla rete dalla quale nessun giocatore avrebbe interesse a deviare singolarmente. Nel caso in cui il numero *n* di giocatori cresca progressivamente, e il contributo di flusso associato a ciascun giocatore divenga trascurabile rispetto al totale, il gioco sopradescritto acquista una proprietà aggiuntiva: la modifica delle scelte di percorso di un singolo giocatore non altera significativamente i costi di percorrenza degli archi della rete, e, quindi, il costo dei percorsi scelti dagli altri utenti. Haurie e Marcotte[32], nel 1985, hanno dimostrato, per un siffatto gioco, la convergenza asintotica delle strategie Nash-Cournot all'equilibrio di Wardrop, al tendere di *n* ad infinito. Lo studio della esistenza ed unicità dell'equilibrio di Nash nei problemi di selfish routing su reti congestionate con un numero finito di utenti, ha attirato notevole interesse[33], in virtù di molteplici applicazioni che ricadono, oltre che nei trasporti, nello studio del traffico di dati su reti informatiche e di telecomunicazioni.

Teoria dei Giochi e Supply Chain Management

Nel corso degli ultimi anni, la Teoria dei Giochi è stata proposta ed utilizzata anche come strumento di analisi nel contesto del *Supply Chain Management* (SCM), in particolare per quelle situazioni nelle quali la presenza di differenti agenti può dare luogo ad obiettivi differenti, potenzialmente in conflitto tra loro. In questo ambito, la modellizzazione attraverso giochi di problemi di SCM ha

interessato, ad esempio, il filone di ricerca sull'*Inventory Management*, trovando ampio spazio in letteratura.

Per comprendere come la Teoria dei Giochi si possa adattare allo studio di problemi di scorte, si può considerare, a titolo di esempio, il problema della determinazione dei lotti di acquisto ottimali in presenza di domanda incerta, attraverso l'esempio didascalico, ben noto in letteratura, del *Newsvendor Problem* (problema del giovane strillone). Un venditore di quotidiani deve decidere, al mattino, il numero di copie di giornali da acquistare, ed in questa decisione deve tentare di bilanciare i costi determinati dalle rimanenze, a fine giornata, di quotidiani invenduti, con le perdite per le mancate vendite che deriverebbero da un approvvigionamento insufficiente.

L'estensione di questo classico problema di ottimizzazione al caso in cui più venditori al dettaglio, che trattino uno stesso articolo, siano posti in una condizione di interdipendenza in virtù della limitata disponibilità di prodotti, dà luogo ad un gioco di interazione strategica tra agenti. E' infatti prevedibile che, qualora un certo venditore dovesse trovarsi sprovvisto di merce, i suoi potenziali acquirenti andrebbero a rivolgersi agli altri venditori. Conseguentemente, il profitto atteso di ciascun venditore non dipende solo dalla caratterizzazione delle sue scelte, ma anche dalle interazioni poste in essere con le strategie degli altri venditori. Un'ampia trattazione dell'applicazione di giochi non cooperativi e cooperativi al problema descritto è disponibile in letteratura[34].

Ulteriori sviluppi e applicazioni. Grazie all'aspetto matematico-formale, la Teoria dei Giochi interviene prepotentemente anche in ambiti di carattere non economico: ad esempio, nel 1970, per comprendere i comportamenti sociali di alcune specie, si adottano in Biologia Evoluzionistica i modelli della Teoria dei Giochi. Successivamente, si registrano numerose applicazioni all'Informatica, all'Ingegneria, alla Fisica, alla Sociologia, etc. La Teoria dei Giochi è dunque una specie di "ombrello", una teoria che sviluppa metodologie che possono essere applicate a tutte le situazioni di interazione strategica, di ogni scienza sociale, comprendendo sia la presenza di giocatori umani, sia la presenza di giocatori non umani, quali ad esempio computers, animali, piante, etc. Nel 1950, alla Rand Corporation, appare una pubblicazione[35] di R. Isaacs dove si definisce il concetto di gioco differenziale, per giochi a due giocatori a somma nulla. Si tratta di giochi che hanno più stadi, e in cui l'evoluzione temporale viene descritta attraverso un'equazione differenziale. La variabile temporale è definita nel continuo, e deve essere definita una decisione su ogni istante dell'intervallo. Le azioni correnti influiscono non solo sulla utilità corrente, ma anche sulle opportunità e sulla utilità nel futuro. Si distingue tra azioni (o controlli) e strategie (o regole di decisione), le ultime essendo una descrizione delle azioni da scegliere, a seconda di quantità non ancora note e non controllate dai giocatori. Il lavoro di R. Isaacs culmina nel 1975 con la pubblicazione[36] del suo libro *Differential*

Games, mentre i giochi differenziali a somma non nulla vengono introdotti nei lavori di A. W. Starr e Y. C. Ho[37],[38] (1969), J. H. Case[39] (1967) e A. Friedman[40] (1971). È bene precisare che il termine *differenziale* sta ad indicare qualche volta anche classi di giochi per i quali il termine *dinamico* sarebbe più appropriato. Precisamente, un gioco dinamico riguarda un processo dinamico di decisione che evolve nel tempo (discreto o continuo), con più decisori, ognuno dei quali, con la propria funzione di utilità, è in grado di accedere a diversa informazione. Sono giochi dinamici i giochi stocastici, i giochi ripetuti, i giochi differenziali. Il ruolo dell'informazione - cosa conosce un giocatore rispetto agli altri - è cruciale nell'esito di questi problemi. Parallelamente al lavoro di R. Isaacs, gli studi sulla *programmazione dinamica* di R. Bellmann[41] (1957) e sul *principio del massimo* di L. S. Pontryagin[42] (1962) destano interesse nel nuovo campo della teoria del Controllo Ottimo, il cui scopo è ottenere soluzioni ottimali (massimizzando o minimizzando) e sviluppare algoritmi numerici per problemi dinamici di decisione per un solo decisore. Questo dà un forte impulso allo sviluppo della Teoria dei Giochi Differenziali, che cominciano ad essere applicati a situazioni concrete, tipicamente ingegneristiche[43]. A seconda del tipo di informazione (open-loop, closed-loop, feedback) si definiscono per i giochi differenziali diversi concetti di ottimalità, tra cui anche equilibri di Nash. I concetti sono stati applicati a problemi di Telecomunicazioni, di Trasporti, di Microeconomia e di Macroeconomia. Di rilievo anche i giochi di inseguimento (pursuit-evasion games), che sono giochi differenziali a due giocatori a somma nulla con istante finale variabile, con applicazioni in ambito civile (es. per evitare collisioni nella navigazione marittima) e militare (es. inseguimento di aerei).

Il riconoscimento ufficiale alla Teoria dei Giochi come potente strumento per lo studio delle interazioni tra decisori avviene nel 1994 con il Premio Nobel per l'Economia ai tre teorici dei giochi John C. Harsany, John F. Nash e Reinhard Selten per i loro notevoli lavori innovativi in questa disciplina. Successivamente, la Teoria dei Giochi registra altri due successi: nel 2005 con il Premio Nobel per l'Economia ai due teorici dei giochi Robert Aumann[44] e Thomas Shelling, e nel 2007 con il Premio Nobel per l'Economia ai tre teorici dei giochi Leonid Hurvicz, Erik Maskin e Roger B. Myerson per i notevoli contributi alla teoria del Mechanism Design.[45]

[1] Si assume che i decisori coinvolti nel *gioco* siano *razionali*, nel senso che ciascuno di essi tenta di determinare l'esito che preferisce, e *intelligenti*, cioè in grado di analizzare il proprio e l'altrui comportamento (F. PATRONE, *Decisori (razionali) interagenti*, Plus University Press, Pisa, 2006).

[2] Viene utilizzato il termine *entità* nel senso più ampio; a seconda dei casi, si tratta di individui, organizzazioni, categorie sociali, utenti, etc.

[3] Non a caso Robert J. Aumann nel 1987 suggerì, senza successo, il nome di *Interactive Decision Theory* per questa disciplina.

[4] J. VON NEUMANN – O. MORGENSTERN, *Theory of games and Economic Behavior*, 1944, Princeton, Princeton University Press. Da questo lavoro deriva la denominazione di *Teoria dei Giochi* assegnato a questa disciplina

[5] John von Neumann (1903-1957) è stato uno dei più grandi matematici del ventesimo secolo (e, forse, degli ultimi secoli), ed al tempo stesso una figura pionieristica nel campo dell'Informatica. Nato a Budapest, rivelò sin dall'infanzia eccezionali doti matematiche. Iscrittosi alla Facoltà di Matematica dell'Università di Budapest, si laureò, per assecondare la volontà del padre, in ingegneria chimica, nel 1925, studiando dapprima all'Università di Berlino e, quindi, allo Swiss Federal Institute di Zurigo. Avendo continuato al contempo gli studi in matematica, nel 1926 conseguì il Ph.D. all'Università di Budapest. Insegnò a Berlino ed Amburgo e, dal 1930 al 1933, a Princeton. Nel 1933 era il più giovane dei primi sei professori della School of Mathematics dell' *Institute for Advanced Study* dell'University of Princeton. Nel 1943 divenne consulente per il progetto Manhattan e, nel 1944, fu coinvolto nello sviluppo del primo calcolatore elettronico. John von Neumann è stato uno dei padri del mitico ASCC (coperto dal segreto militare), precursore del Mark1.

[6] Oskar Morgenstern (1902-1977) studiò ed insegnò all'Università di Vienna e diresse l'Istituto Austriaco sulla Congiuntura Economica. Nel 1938, a causa delle epurazioni naziste, emigrò negli Stati Uniti e divenne professore all'Università di Princeton, ove dal 1948 ne diresse il programma di ricerca in econometria. Egli collaborò con il governo degli Stati Uniti su un gran numero di temi. Nel 1963 Morgenstern insieme a Paul Lazarseld fondò l'*Institut für Höhere Studien* (IHS) - *Istituto per studi superiori* - a Vienna, che guidò fino al 1970. In seguito fece ritorno negli USA e morì a Princeton. A Oskar Morgestern si deve la maggior parte dei contenuti economici presenti in *Theory of Games and Economic Behavior*.

[7] Un *gioco in forma strategica* è specificato mediante: l'elenco dei giocatori; l'elenco delle strategie che ogni giocatore ha disponibili; la matrice delle vincite ottenute dai giocatori per ogni profilo di strategia (matrice dei *payoff*). I *giochi in forma estesa* forniscono una rappresentazione dinamica del gioco dove i giocatori compiono le loro mosse e reagiscono alle mosse altrui ed alle informazioni che ricevono.

[8] Augustin Cournot (1801 – 1877), filosofo, matematico ed economista francese, viene, giustamente, indicato come uno dei maggiori proto-marginalisti. Le intuizioni contenute nel suo principale lavoro economico, *Recherches sur les principes matematiques de la theorie des richesse*, 1838, Hachette Paris, appaiono troppo avanzate per l'epoca. Sebbene ignorato dai contemporanei, l'influenza del lavoro di Cournot sull'economia moderna appare significativa.

[9] Joseph Louis François Bertrand (1822 - 1900), matematico ed economista francese che lavorò nei campi della teoria dei numeri, della geometria differenziale, del calcolo delle probabilità e della termodinamica. Nel 1883 Bertrand realizzò una analisi congiunta del libro di Cournot e della *Theorie Mathematique de la Richesse Sociale* di Leon Walras che era stata appena pubblicata. In questa analisi Bertrand sostenne che l'equilibrio di Cournot per il duopolio non era un vero equilibrio in quanto, "..., qualunque sia il prezzo comune praticato, se uno dei due venditori, da solo, lo riducesse,

attrarrebbe la maggior parte, al limite tutti, i compratori, raddoppiando il suo incasso ed azzerando quello del concorrente". E' oggi ben noto che, per prodotti omogenei, questo tipo di mossa, se ciascun concorrente consentisse agli altri di farla, condurrebbe alla fissazione di un prezzo pari al costo marginale.

[10] F. Y. EDGEWORTH, *Paper Relating to Political Economy,* 1, 1925, London, Macmillan.

[11] E. ZERMELO, *Uber eine Anwendung der Mengenlehre auf die theorie des Schachspiels*, Proceedings of the Fifth International Congress of Mathematicians 2, 1913, pp. 501-504.

[12] E. BOREL, *Sur les jeux où interviennent l'hasard et l'habilité des joueurs,* "Eléments de la theorie des probabilités", ed. J. Hermann, Paris, 1924, pp. 204-224.

[13] J. VON NEUMANN, *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele,* "Mathematische Annalen", 100, 1928, pp. 295-320.

E' questo il lavoro che, con largo anticipo sulla pubblicazione di *Theory of Games and Economic Behavior,* segna la nascita moderna della Teoria dei Giochi.

[14] Si definiscono *giochi cooperativi* quelle situazioni competitive nelle quali i giocatori hanno facoltà di coalizzarsi ovvero di concordare le proprie strategie per migliorare il payoff della coalizione; se tale opportunità non è consentita si parla di *giochi non cooperativi*. L'interesse della Teoria dei Giochi Cooperativi nelle applicazioni, in particolare nell'Ingegneria, meriterebbe una trattazione a parte. Ricordiamo ad esempio i lavori: P. STRAFFIN – J.P.HEANY, *Game Theory and the Tennessee Valley Authority,* "International Journal of Game Theory" 10, 1981, pp. 35-43; T. DRIESSEN – S.TIJS, *The cost gap method and other cost allocation methods for multiple purpose water projects,,* "Water Resources Research" 21, 1985, pp. 1469-1475.

[15] Un gioco viene definito *a somma costante* se, per qualsiasi coppia di strategie scelte dai giocatori, la somma dei rispettivi payoff è costante. E' possibile dimostrare che un gioco a somma costante può essere sempre trasformato in uno a somma nulla.

[16] Questo esempio deriva da una rilettura, alla luce della Teoria dei Giochi del *Modello di Hotelling*, contenuta in H. HOTELLING, *Stability in Competition*, "Economic Journal" 39, 1929, pp. 41-57. Harold Hotelling (1895 – 1973), dopo il *bachelor* in giornalismo (1919) conseguì il *master* in matematica nel 1921 presso l'University of Washington e quindi, nel 1924, il Ph.D. in matematica alla Princeton University. Lo stesso anno iniziò ad insegnare alla Stanford University. Nel 1929 si recò in Inghilterra per studiare con R. A. Fisher. Nello stesso anno teorizzò l'omonimo modello introducendo la nozione di competizione spaziale in un duopolio. La soluzione a questo problema anticipava l'approccio *game-theoreti*c dell'equilibrio perfetto nei sottogiochi (definito più tardi da Reinhard Selten).

[17] Si dice, in casi come questo, che una o più strategie (in questo caso la 1 e la 5) sono *dominate* da altre (in questo caso da: 2, 3, 4).

[18] J. F. NASH, *Equilibrium points in n-person games*, "Proceedings of the National Academy of Science ", 36, 1950, pp. 48-49.

[19] J. F. NASH, *The bargaining problem*, "Econometrica ", 18, 1950, pp. 155-162.

[20] J. F. NASH, *Non-cooperative games*, "Annals of Mathematics ", 54, 1951, pp. 286-295.

[21] J. F. NASH, *Two-person cooperative games*, "Econometrica ", 21, 1953, pp. 128-140.

[22] Nato nel 1928 a Bluefield (West Virginia), John Forbes Nash si laurea in Matematica a Princeton e inizia a lavorare con John von Neumann, Lloyd Shapley e Harold Kuhn. Quest'ultimo gli sarà vicino

negli anni della follia, gli darà la notizia del Nobel e ne farà la presentazione ufficiale a Stoccolma, nel corso della cerimonia di consegna. Nash si occupa principalmente di Teoria dei Giochi, ma ottiene importanti risultati anche in altri settori della matematica. Tra il 1950 ed il 1953, ad una età compresa tra i 21 ed i 25 anni, pubblica quattro lavori fondamentali per lo sviluppo della Teoria dei Giochi. Verso la fine degli anni '50, si ammala di schizofrenia, ed inizia una drammatica peregrinazione in vari istituti di cura; solo nei primi anni '90 nuovi farmaci gli consentono di riacquistare un certo equilibrio mentale. Nel 1994 vince, con John C. Harsanyi e Reinhard Selten, il premio Nobel per l'economia, per i risultati ottenuti negli anni '50 sui giochi non cooperativi, e riprende gradualmente a muoversi negli ambienti scientifici. Nel 1998 viene pubblicato il libro di Sylvia Nasar *A beautiful mind* che risulterà finalista al Premio Pulizer (Il genio dei numeri – Rizzoli, 1999) portato sullo schermo da Ron Howard ed interpretato da Russell Crowe. Il 19 marzo 2003 l'Università Federico II di Napoli ha conferito a John Nash la *laurea honoris causa* in Economia.

[23] La prima formulazione dell'equilibrio di Nash, appare in un brevissimo articolo del 1949 nel quale John Nash, ancora studente a Princeton, spiega la sua idea di fondere intimamente due concetti apparentemente assai lontani: quella di un punto fisso in una trasformazione di coordinate, e quella della strategia più razionale che un giocatore può adottare quando compete con un avversario anch'esso razionale, estendendo la Teoria dei Giochi ad un numero arbitrario di partecipanti, o agenti, e dimostrando che, sotto certe condizioni, esiste sempre una situazione di equilibrio.

[24] Si noti, per inciso, che la soluzione del problema della localizzazione delle due stazioni di servizio a metà della strada (e, dunque, nel punto di sella presente nella matrice dei payoff), costituisce un equilibrio di Nash.

[25] Per determinare il risultato della concorrenza tra le imprese, Cournot utilizzò infatti un concetto di equilibrio che rispecchia fedelmente la definizione dell'equilibrio di Nash: in corrispondenza delle quantità di equilibrio, ogni impresa massimizza i propri profitti, data la migliore scelta delle altre imprese.

[26] P. HANSEN – J. PERREUR – J. F. THISSE, *Location theory, dominance, and convexity: some further results*, "Operation Research", 28, 1980, pp. 1241-1250.

[27] L. MALLOZZI, *Noncooperative facility location games*, "Operation Research Letters", 35, 2007, pp. 151-154.

[28] Si tratta, come è noto, di una *congested network* ovvero di una rete che risente gli effetti della congestione e, quindi, per i cui archi sono definite delle funzioni costo-flusso per le quali, il costo di percorrenza dell'arco cresce, in generale, in modo non lineare con il flusso che lo percorre.

[29] J.G. WARDROP, Some theoretical aspects of road traffic research, Proc. Inst. Civ. Eng. 2, 1952, pp. 325-378.

[30] Il primo principio di Wardrop corrisponde ad una condizione di equilibrio della rete che viene detto *descrittivo – users equilibrium* (nel senso che si basa sul modello di comportamento proprio degli utenti). Wardrop propose un principio alternativo per calcolare per un'assegnata matrice o-d i flussi di traffico sugli archi basato su di un altro principio (secondo principio di Wardrop*): In condizioni di equilibrio sociale, i flussi di traffico su di una rete stradale congestionata dovrebbero essere tali che il costo medio (o quello totale) sia minimo*. A questa seconda condizione, detta di *equilibrio normativo – social equilibrium,* corrisponde, in generale, un costo complessivo speso dagli utenti sulla rete che risulta minore o eguale rispetto a quello calcolato in corrispondenza dell'equilibrio descrittivo.

[31] Il primo modello matematico dell'equilibrio di una rete di traporti è stato proposto in: M. BECKMANN – C.B. MCGUIRE – C.B. WINSTEN, *Studies in the economics of transportation*, 1956, Yale University Press, New Haven, Connecticut.

[32] A. Haurie – P. Marcotte, *On the relationship between Nash-Cournot and Wardrop equilibria*, "Networks", 15, 1985, pp. 295-308.

[33] N. Shimkin, *A survey of Uniqueness Results for Selfish Routing,* Net-Coop 2007 - International Conference on Network Control and Optimization, Avignon, June 2007. In: Lect. Notes Comp. Sci. 4465, pp. 33-42.

[34] G. P. Cachon – S. Netessine, *Game Theory in Supply Chain Analysis*, in: D. Simchi Levi et al. (eds.), *Supply Chain Analysis in the eBusiness Era*, Kluwer, 2003.

[35] R. Isaacs, *Differential Games I, II, III, IV,* 1954-1956, RAND Research Memorandum RM-1391, 1388, 1411, 1468, Santa Monica, CA.

[36] R. Isaacs, *Differential Games: A Mathematical Theory with Applications to Welfare and Pursuit, Control and Optimization,* 1965, New York, John Wiley.

[37] A. W. Starr – Y.C. Ho, *Nonzero-sum differential games,* "Journal of Optimization Theory and Applications", 3, 1969, pp. 184-206.

[38] A. W. Starr – Y.C. Ho, *Further properties of nonzero-sum differential games*, "Journal of Optimization Theory and Applications", 3, 1969, pp. 207-219.

[39] J. H. Case, *Equilibrium points of N-person differential games*, Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbour, 1967.

[40] A. Friedman, *Differential Games*, John Wiley, New York, 1971.

[41] R. Bellmann , *Dynamic Programming*, 1957, Princeton, Princeton University Press.

[42] L.S. Pontryagin et al., *The Mathematical Theory of Optimal Process,* 1962, New York, Interscience Publishers.

[43] T. Basar – G. J. Olsder, *Dynamic Noncooperative Game Theory,* 1982, New York, Academic Press. Nel libro si trovano riferimenti ai lavori di T. Basar, G. Leitmann, L. Petrosian, J. Cruz.

[44] R.J. Aumann, *Game Theory*, in "The new Palgrave Dictionary of Economics", (J. Eatwell, M. Milgate e P. Newman), Macmillan, Londra, 1987, pp. 460-482.

[45] Il Mechanism Design è un filone della teoria economica che riguarda un problema centrale: l'allocazione ottimale di risorse scarse fra usi alternativi. Condizione necessaria perché un mercato raggiunga una soluzione efficiente è l'informazione completa degli attori economici. Ciò si verifica di rado nella realtà, giacchè l'informazione è un bene privato. L'idea di base del Mechanism Design riguarda il progetto di meccanismi di incentivi che inducano gli agenti a rivelare la loro informazione privata e a comportarsi in modo "onesto", ossia non manipolando la loro informazione privata a proprio vantaggio.

Antonino Mazzeo, Flora Amato

L'evoluzione dei Linguaggi di Programmazione

Premessa

I calcolatori nati, inizialmente, a supporto del calcolo scientifico, hanno e stanno, di fatto, fortemente determinando la crescita di tutti i settori, scientifici e non, della società, stante la loro capacità di eseguire computazioni complesse in tempi sempre più brevi e la capacità di trattare e conservare un'elevatissima mole di dati. Inoltre, con l'evoluzione della telematica e della rete internet, si ha oggi la possibilità di effettuare elaborazioni complesse in ogni luogo in modo cooperativo, e la possibilità di accedere a dati in modo semplice, a costi bassi e da postazioni fisse o mobili.

Molti sono i libri e i saggi divulgativi pubblicati sulla storia dell'informatica e che illustrano i tratti salienti dello sviluppo dei calcolatori a partire dalle prime realizzazioni fatte negli anni '40. Spesso in tali saggi si da più enfasi agli aspetti tecnologici e architetturali o agli aspetti biografici di illustri scienziati, quali John von Neumann o Alan Turing, che hanno determinato con le loro ricerche e intuizioni la nascita e lo sviluppo dell'informatica nella seconda metà del XX secolo. Minore enfasi è data alla storia dei linguaggi dei calcolatori e all'interfaccia uomo-macchina che ha rappresentato e rappresenta un'area di estremo interesse e che di fatto determina il concreto impiego dei calcolatori nelle varie aree di utilizzo. I linguaggi e gli ambienti di sviluppo a supporto rendono possibile, e condizionano, la programmazione di algoritmi e applicazioni in genere, sia essa fatta in modo artigianale che industriale, garantendo, nel contempo, la possibilità di verificarne la correttezza, gli aspetti prestazionali e la portabilità su macchine differenti.

Il presente lavoro fa una sintetica rassegna sull'evoluzione dei linguaggi e delle piattaforme di programmazione che più hanno inciso nello sviluppo delle varie aree applicative e metodologiche dell'Ingegneria sia dal punto di vista della ricerca che della progettazione in generale.

Il lavoro tratterà, prevalentemente in chiave storica, dello sviluppo ed evoluzione dell'interfaccia uomo-macchina ai fini della programmazione convenzionale e non dei calcolatori (non von Neumann, caratterizzata da paradigmi diversi da quello imperativo quali quello funzionale, logico, di interrogazione, ecc.).

Evoluzione dei linguaggi di Programmazione

Da metà del secolo scorso ad oggi si è assistito ad una straordinaria evoluzione, sia dei linguaggi di programmazione che degli strumenti software, in risposta alle esigenze, sempre crescenti e più ambiziose, del mondo industriale e scientifico.

A partire dagli anni ‘40, principalmente sotto la spinta del progetto Manhattan, per la costruzione della bomba atomica, un gruppo di studiosi, veri e propri pionieri, fra cui Turing e von Neumann, concepì e realizzò le prime architetture dei calcolatori, precursori degli attuali sistemi di calcolo, che ai nostri giorni sono divenuti, in modo pervasivo, strumenti ampiamente utilizzati in tutti i settori *della società.*

Per la costruzione di tali sistemi, inizialmente, ci si rivolse alla tecnologia elettromeccanica a relè, sostituita ben presto, per problemi di prestazioni ed affidabilità, prima dai tubi elettronici a vuoto, le “valvole termoioniche”, poi dai transistor e a partire dagli anni ’70 dai circuiti integrati, inizialmente a bassa scala di integrazione, fino agli attuali circuiti logici ad altissima scala di integrazione (VLSI) e basati su tecnologie MOS (dei transistor ad effetto di campo).

Ai primissimi calcolatori, concepiti inizialmente come macchine calcolatrici, subentrarono già negli anni ’40 i calcolatori a programma memorizzato. In tali macchine la risorsa “memoria” conteneva i programmi e i dati su cui questi operavano per realizzare specifici algoritmi di calcolo. I programmi - la lista di istruzioni da eseguire - erano semplici e costituiti da stringhe in codice binario che in genere codificavano operazioni aritmetiche su numeri a virgola fissa. Essi erano concepiti come sequenze di istruzioni che trovavano una diretta corrispondenza con le formule matematiche da applicare. Non esisteva una metodologia di programmazione ne un linguaggio simbolico con cui programmare agevolmente algoritmi.

Il calcolatore, realizzato come strumento “prototipale”, era una macchina ideata da scienziati per agevolare i compiti degli scienziati: non esisteva un mercato per essi, anche se industrie quali l’IBM ne intravedono concrete prospettive d’uso futuro in mercati diversi e più ampi di quello scientifico.

I vantaggi derivanti dall’uso dei calcolatori elettronici iniziano ben presto ad essere palesi, e gruppi di studiosi si interessano sempre di più ad essi. L’imperativo divenne, allora, quello di rendere utilizzabile il calcolatore per un numero sempre crescente di utenti.

Nelle prime fasi di utilizzo, si programmava ancora in linguaggio macchina, trattando stringhe di bit che rappresentavano istruzioni ed operandi. Poiché non tutti possedevano le conoscenze per programmare direttamente in linguaggio macchina, divenne necessario introdurre una rappresentazione simbolica per esprimere i programmi. Ciò ha portato allo sviluppo dei primi linguaggi assemblativi in grado di utilizzare codici mnemonici per le operazioni e gli operandi stessi. Uno strumento detto “assemblator” si incarica di effettuare la traduzione dei programmi simbolici nel linguaggio eseguibile per la specifica macchina (linguaggio macchina).

Questo livello di astrazione dal linguaggio macchina a quello simbolico porta alla concettualizzazione di quella che oggi chiamiamo una “macchina virtuale”, una macchina capace, cioè di in-

terpretare il proprio linguaggio indipendentemente dalla sua realizzazione hardware o software.

L'introduzione dell'astrazione apportata con il linguaggio simbolico non risultò però ancora sufficiente per soddisfare le reali esigenze di programmazione degli scienziati.

Per programmare era ancora richiesta l'acquisizione di un modus pensandi ancora troppo vicino alla logica del calcolatore, nonché di acquisire tecniche di programmazione tipiche della programmazione a basso livello offerta dagli specifici linguaggi assembler, differenti da macchina a macchina, in quanto legati all'architettura di riferimento.

L'esigenza di poter programmare indipendentemente dalla soluzione architetturale e tecnologica della specifica macchina, diede avvio alla progettazione di "software" riusabile e quindi a più basso costo di realizzazione.

Nell'ottica di ampliare l'uso dei calcolatori anche verso quegli utenti non dotati di specifica esperienza informatica e delle specifiche architetture dei processori, divenne necessario sviluppare linguaggi di programmazione indipendenti dalla macchina usata ed espressamente orientati alle applicazioni. Il primo esempio di linguaggio ad alto livello di tal genere è stato il FORTRAN, acronimo di FORmula TRANslator.

Tale linguaggio, rilasciato nel 1957, è stato progettato e sviluppato da John Backus, in seno all'IBM. Il linguaggio Fortran, rivolto alla programmazione scientifico matematica, introduce costrutti per il controllo del flusso (il ciclo, l'istruzione condizionale, di salto) e sofisticate istruzioni di ingresso-uscita (in gergo istruzioni di I/O), ideate per facilitare la stampa dei risultati sotto forma spesso di prospetti e tabelle.

Nel giro di un decennio il FORTRAN si afferma definitivamente come linguaggio per le applicazioni scientifiche, raggiungendo così gli obiettivi che ci si era proposti inizialmente. Con il contributo di numerosi scienziati e sviluppatori, si realizzano svariate librerie di utilità, quali le librerie matematiche e statistiche, rivolte anche ad utenti non specialisti nel settore, che consentivano loro una veloce programmazione, con l'uso di chiamate a funzioni e sottoprogrammi, dando così l'avvio allo sviluppo di programmi con ricorso a forme di riuso di componenti sviluppate da terzi (le librerie).

Le case produttrici di mainframe dell'epoca (quali IBM, UNIVAC, CDC, ecc.) sviluppano proprie piattaforme per lo sviluppo di applicazioni (compilatori FORTRAN, linker, loader, debugger, ecc.) e le rispettive librerie. Esigenze commerciali portano in breve alla nascita di tanti linguaggi FORTRAN simili ma diversi, dialetti del linguaggio Fortran originario di Backus, cosa questa che se da un lato ha migliorato gli aspetti prestazionali delle applicazioni con riferimento al particolare calcolatore, dall'altro ha reso complessa la portabilità dei codici stessi fra i vari calcolatori presenti sul mercato, allontanandosi in tal modo da uno dei principali obiettivi della programmazione ad alto livello, tipico delle macchine di tipo von Neumann che

è la "universalità", cioè la possibilità di scrivere programmi in un linguaggio ad alto livello con la sicurezza di poter disporre di un interprete (un processore) in grado di eseguirlo.

Da qui nacque la necessità di pervenire a standard del linguaggio. Il primo standard del FORTRAN matura nel '77, seguito da quello del '90 in cui diventa, inoltre, possibile allocare dinamicamente la memoria e definire tipi di dati astratti. Nel '95 si ottiene un'altra revisione del linguaggio che introduce la possibilità di adottare il paradigma di programmazione parallelo per adattare il linguaggio alle nuove architetture ad elevate prestazioni, rivolte alla soluzione di problemi di tipo "Number Crunching". L'ultimo standard Fortran è stato pubblicato nel 2003 e evolve verso la moderna programmazione orientata agli oggetti e introduce migliorie finalizzate ad aumentarne l'interoperabilità col linguaggio C. Non solo, quindi, un linguaggio per scienziati e ingegneri che artigianalmente sviluppano le proprie applicazioni ma anche per professionisti in grado di realizzare progetti di ingegneria del software particolarmente complessi e di tipo industriale.

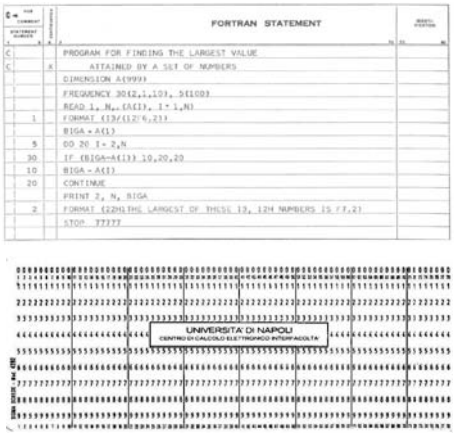


Fig. 1 - Scheda perforata e un esempio di un listato in Fortran77

Con l'affermarsi del Fortran ci si svincola dalla tecnologia della specifica macchina, si è, però, ancora ben lontani dal disporre di metodologie industriali per la programmazione dei calcolatori, cosa che rende i costi elevati e limita, di fatto, l'uso pervasivo di tali strumenti nei più disparati settori della società. Solo un'elite di soggetti può accedere al calcolatore, tale elite rappresenta un mercato, si in espansione, ma ancora di nicchia.

Mentre in ambito scientifico il Fortran si imponeva come linguaggio universale per le computazioni e veniva supportato da calcolatori, detti di tipo scientifico a "voce", caratterizzati da un formato istruzione rappresentato in una parola macchina in grado di contenere il codice operativo e gli operandi, l'industria informatica già intravedeva anche altri ben più ampi mercati quali quello delle aree gestionale, organizzativa, della finanza e delle applicazioni di controllo processo. Tali aree, stante la loro particolarità, ponevano la necessità di nuovi requisiti, sia dal punto di vista architetturale, che dei linguaggi di programmazione.

Con questo tipo di nuove applicazioni, iniziava sin negli anni '50 la concreta diffusione del calcolatore in contesti non solo scientifici, con un bacino di utenza di dimensioni decisamente maggiori, ma meno pronto e competente per recepi-

re, in tempi brevi, tale innovazione: per questo, nel periodo iniziale, la diffusione del calcolatore al di fuori dell'ambito scientifico risulta essere meno rapida.

È in questa fase che si sviluppa un nuovo linguaggio, il COBOL, acronimo di COmmon Business Oriented Language, linguaggio ideato per le applicazioni nei campi della finanza e del commercio, del "Business", caratterizzato da una grande attenzione per l'organizzazione e la memorizzazione di grandi moli di dati, che in genere, rappresentano informazioni sensibili, su cui garantire integrità e riservatezza. Proprio perché destinato anche a personale non specializzato, le istruzioni in COBOL sono caratterizzate da una sintassi più vicina alla lingua naturale, in particolare, l'inglese, al fine di facilitarne l'apprendimento da parte di un'utenza meno specializzata.

In aggiunta a tali tipologie di calcolatori, che dominavano gran parte del mercato, sempre negli anni '60 si svilupparono ulteriormente architetture e linguaggi rivolti a ben specifici settori quali ad esempio quello della logica mirante a risolvere i problemi posti dalle ricerche dell'Intelligenza Artificiale e che portarono principalmente allo sviluppo del linguaggio LISP, acronimo di LISt Processing; tale linguaggio è utilizzato ancora oggi da ricercatori di tutto il mondo, in cui le computazioni sono eseguite su espressioni simboliche, basate sul l-calcolo[1], ed è ammessa la lista come unico tipo di dato.

Il mondo accademico, presa coscienza dell'importanza dello strumento calcolatore, sia ai fini di ricerca che a quelli applicativi di tipo professionale, avvia, in quasi tutte le facoltà scientifiche, corsi di informatica, in genere denominati di "Computer Programming", aventi l'obiettivo di addestrare gli scienziati e gli operatori di settore alla conoscenza del calcolatore e alla sua programmazione, spesso in Assembler e Fortran.

Sin dalla diffusione dei primi calcolatori nasce l'esigenza di semplificare e virtualizzare l'uso dell'Hardware da parte dell'utenza.

Ciò porta allo sviluppo di programmi specifici, che vanno sotto il nome di Sistemi Operativi. La programmazione dei Sistemi Operativi introduce la necessità di disporre di linguaggi che siano, contemporaneamente, di basso livello, per rendere possibile la programmazione tipica di sistema e, nel contempo, di livello sufficientemente alto da facilitare gli aspetti tipici di programmazione applicativa.

Un esempio di linguaggio che è stato sviluppato proprio per realizzare le componenti del sistema operativo, in sostituzione dell'Assembler è il Linguaggio C[2], che ancora oggi gode di un grande successo e diffusione. In C è stato scritto il Sistema Operativo "Unix", un sistema multitasking e multiutente, oggi divenuto un vero e proprio standard di mercato, in una delle sue evoluzioni che è "Linux". In esso sono stati, inoltre, riscritte numerose librerie di ausilio per la matematica, la fisica e la progettazione ingegneristica. Esso, però, non è sostitutivo del FORTRAN e, spesso, ad esso si affianca, nei casi in cui gli applicativi necessitano di operare con

specifiche interfacce verso il sistema operativo, o il livello hardware o verso librerie specifiche difficilmente gestibili in FORTRAN. Un ampio uso del linguaggio C lo si riscontra, in particolar modo nelle applicazioni di ingegneria, che mirano alla realizzazione di sistemi detti di tipo "embedded" o di sistemi dedicati, come quelli per il controllo processi.

La necessità di risolvere problemi sempre più complessi, che si avvertiva non solo nel campo scientifico ma anche in ambito industriale, induce, nel contempo, il bisogno di disporre di potenze di calcolo sempre maggiori e a basso costo e spinge la ricerca e l'industria, alla realizzazione di tecnologie e architetture in grado di rispondere a tali requisiti e all'industrializzazione del software, la componente, indubbiamente, più costosa e complessa da realizzare e gestire nel tempo per un qualunque sistema di calcolo moderno.

Negli anni '60 tale necessità porta, innanzi tutto, allo sviluppo di Supercalcolatori, complessi nell'architettura e di elevatissimo costo, stante la loro elevata specificità e bassa diffusione.

L'aumento delle prestazioni è ottenuto ricorrendo al parallelismo, realizzato utilizzando più unità di calcolo che lavoravano simultaneamente su porzioni di dati dello stesso problema. Nel corso degli anni sono state sviluppate svariate tipologie di macchine parallele, suddivise per numero, tipologia di processori, e loro rete di interconnessione.

Il ruolo dei linguaggi e degli ambienti di programmazione per tale categoria di sistemi diviene, ancora una volta determinante per un loro concreto utilizzo. Tali sistemi non soddisfano più la proprietà di "universalità" tipica dei sistemi von Neumann, cosa che obbliga allo sviluppo di linguaggi e ambienti specifici per la particolare macchina.

Per permettere la programmazioni di tali dispositivi sono stati sviluppati paradigmi di programmazione parallela, con ricorso a linguaggi di programmazione in grado di gestire un flusso di esecuzione non centralizzato e operazioni su tipi di dati complessi, quali, ad esempio, quelli matriciali.

Al fine di risolvere i problemi di portabilità dei programmi fra architetture differenti, si sono sviluppati linguaggi e livelli di astrazione e virtualizzazione delle architetture (supporti all'esecuzione che di fatto realizzano delle vere e proprie architetture virtuali standard), spesso a scapito della perdita di prestazioni. Un ambiente di tale tipo per la programmazione parallela è il PVM, acronimo di Parallel Virtual Machine, che permette di gestire in parallelo computer distribuiti omogenei interconnessi da appositi sistemi di interconnessione locali o eterogenei presenti sulla rete. Il PVM for-

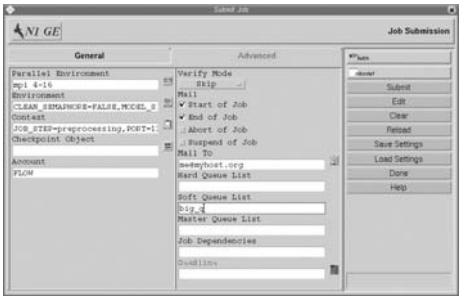


Fig. 2 - Interfaccia per definire l'ambiente parallelo per MPI

nisce al programmatore un livello di astrazione tale da permetterne l'utilizzo come se fosse un unico processore parallelo.

A tale ambiente si è aggiunto successivamente un ambiente detto MPI acronimo di Message Passing Interface che, di fatto, realizza un protocollo di comunicazione ampiamente utilizzato per la comunicazione tra processori paralleli. Le MPI sono delle librerie che forniscono al programmatore gli strumenti per permettere la comunicazione di un cluster di processori paralleli su sistemi a memoria distribuita. Ad oggi MPI rappresenta uno standard de facto in quanto ha il vantaggio di essere estremamente portatile su un'ampia categorie di architetture ed opera con un buon livello di efficienza. Numerose sono le applicazioni di ingegneria avanzate che operano su tale tipo di ambiente e sistemi paralleli. In particolar modo si pensa alle applicazioni di fluodinamica, bio ingegneria, simulazione nei settori dell'elettronica, strutture, aerospazio, ecc.

A partire dagli anni 80, il calcolatore comincia la sua diffusione capillare, prima in ambiti aziendali, e poi, con l'introduzione della concezione, voluta dall'IBM, di Personal Computer, anche in ambiti domestici. Le esigenze di un mercato in espansione si riflettono anche sulla produzione del software: è richiesta l'adozione di un sempre più crescente numero di applicativi, nei più svariati ambiti, siano essi di gestione di un'impresa o di quella domestica. Ciò comporta il passaggio dalla programmazione *ad hoc*, che potremmo definire artigianale, in quanto creata da poche persone esperte e destinata a pochi utenti, a quella industriale.

Il bisogno di realizzare un numero via via sempre più elevato di componenti software, per giunta in continua evoluzione, fa si che il software venga visto come un prodotto, e come tale che risulti più conveniente realizzarlo in una linea di montaggio; non risulta economicamente vantaggioso continuare ad affidare la produzione delle singole componenti ad esperti, rispetto a far lavorare un considerevole numero di programmatori di basso livello in modo industrializzato.

Come su un qualsiasi prodotto, per mantenere i necessari standard qualitativi, come ad esempio l'affidabilità e la robustezza, si adottano consolidate metodologie di progettazione anche nello sviluppo del software: si sviluppa così l'ingegneria del software, che studia e propone metodi sempre più convincenti per seguire l'intero ciclo di sviluppo di un generico sistema software, a partire dalla definizione dei requisiti fino al test finale di correttezza e alla manutenzione dei prodotti rilasciati in esercizio.

Per l'attuazione di molteplici modelli di produzione si rese necessario che il *prodotto software* non fosse più visto come un unico monolita, ma piuttosto come frazionabile in piccoli pezzi: si abbandona così l'idea del programma visto come blocco unico dando l'avvio al paradigma ad "oggetti", in cui il programma è considerato come l'effetto dell'interazione di un insieme di oggetti (insiemi di dati e algoritmi che manipolano

questi dati) che comunicano con l'esterno mediante messaggi.

Tale paradigma porta allo sviluppo di linguaggi, per l'appunto detti ad oggetti, quali lo Small-Talk e il diffusissimo C++ che, in molti casi, ha scalzato il tradizionale linguaggio C da cui esso è stato derivato.

Sempre negli anni '80 si affermano le applicazioni di *office automation*, nate come programmi gestionali con il compito di facilitare le mansioni aziendali, finiscono per essere utilizzati negli ambiti più disparati, compreso quello domestico. L'uso del computer si è oramai imposto quasi capillarmente, e la facilità di utilizzo, da parte di personale con pochissima preparazione, diviene una peculiarità essenziale. L'interfaccia diventa quindi preponderante e, proprietà nemmeno considerate prima, divengono essenziali, prime tra tutte, l'usabilità. In questo modo, strumenti notevolmente potenti sono resi accessibili ad un grande bacino di utenza. Si offre, in tal modo, la possibilità all'utente comune di

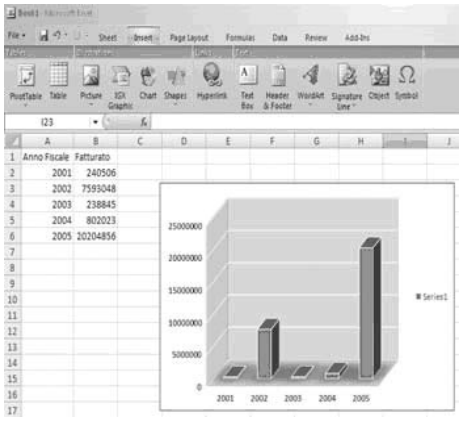


Fig. 3 - Esempio di dati e grafico generato tramite Excel

compiere operazioni complesse, come la gestione di basi di dati o la possibilità di effettuare calcoli mediante lo strumento Excel, in grado di fornire con la sua griglia, funzionalità avanzate di calcolo secondo un paradigma intrinsecamente parallelo e tramite un'interfaccia poco complessa per l'utente.

Nell'ambito dell'ingegneria, il calcolatore è utilizzato prevalentemente per fini di progettazione di sistemi di comune utilità.

Nei più disparati settori si ricorre in maniera intensiva a sofisticati modelli matematici, codificati opportunamente nei software e resi disponibili in librerie o in ambienti avanzati di progettazione che tramite opportuni ambienti visuali di sviluppo integrato, permettono l'automazione di operazioni anche estremamente laboriose.

Citiamo come esempio l'ambiente integrato MATLAB per lo studio di modelli numerici, oppure Simulink per l'analisi e la simulazione di sistemi dinamici multi-dominio.

Per scopi progettuali si affermano gli applicativi CAD, inizialmente acronimo di Computer-Aided Drafting, in quanto nati per essere utilizzati come supporto alle operazioni di disegno; nel tempo includono funzionalità, sempre più evolute, di supporto a numerose fasi della progettazione. Oggi sono strumenti essenziali per le attività di progettazione in ogni ambito dell'ingegneria. La parola utilizzata per definire questa tipologia di strumenti software resta CAD, come acronimo però di Computer-Aided Designing. Gli strumenti CAD sono al gior-

no d'oggi utilizzati per progettare e ottimizzare ogni tipo di prodotto.

Si sviluppano, inoltre, ulteriori strumenti di supporto ad attività più prettamente di programmazione, come gli ambienti integrati detti IDE, da integrated development environment, applicazioni software che forniscono in un unico ambiente supporto per tutte le fasi che caratterizzano la costruzione di un sistema software, come l'editing, la compilazione e il debugging.

Conclusioni

I linguaggi di programmazione sono stati e saranno sempre il punto di incontro fra l'uomo con la sua creatività e il calcolatore (interazione uomo-macchina). Oggi, la disponibilità di tanta potenza di calcolo a basso costo favorisce l'innalzamento dei livelli di tale interazione e il ricorso all'uso di linguaggi naturali. L'utente comune difficilmente, oggi, programma un calcolatore; egli lo usa in moltissime delle sue attività quotidiane, non essendo, spesso, neanche consapevole della potenza di calcolo e delle tecnologie impiegate. Navigare in internet non fa pensare, ad esempio, a tante delle applicazioni realizzate per permettere la fruizione delle risorse dislocate in tutto il mondo.

In ingegneria, e in generale nelle scienze, ovviamente, ciò non sempre vale in quanto l'interazione con il calcolatore è strettamente legata alla progettazione dei componenti e non solo al loro uso. I linguaggi e gli ambienti di sviluppo, restano, spesso appannaggio dei tecnici e lo resteranno, pur con i crescenti ausili alla progettazione, per molto tempo. Il FORTRAN non invecchia, e se si parla di come saranno i linguaggi di fine secolo, spesso, gli scienziati e gli esperti informatici dicono ancora "FORTRAN".

In tale lavoro si è fatta una sintetica panoramica che percorre quasi un secolo di storia dell'informatica. In essa non si è voluto fornire una lista esaustiva dei sistemi software, utilizzati nei più disparati ambiti ma si è tentato, invece, di raccontare le modalità con cui gli strumenti software si sono evoluti, per riuscire a divenire quello che sono oggi: un valido ed efficace supporto alle più disparate attività, siano esse nel campo dell'ingegneria, dell'industria o della ricerca.

Bibliografia

"A Brief History of Programming Languages." http://www.byte.com/art/9509/se7/artl9.htm. Cited, March 25, 2000.

"A Short History of the Computer." http://www.softlord.com/comp/. Jeremy Myers. Cited, March 25, 2000.

Bergin, Thomas J. and Richard G. Gibson, eds. *History of Programming Languages-II*. New York: ACM Press, 1996.

Christiansen, Tom and Nathan Torkington. *Perlfaq1 Unix Manpage*. Perl 5 Porters, 1997-1999.

Christiansen, Tom and Nathan Torkington. *Perlhist Unix Manpage*. Perl 5 Porters, 1997-1999.

"Java History." http://ils.unc.edu/blaze/java/javahist.html. Cited, March 29, 2000.

"Programming Languages." *McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology*. New York: McGraw-Hill, 1997.

Wexelblat, Richard L., ed. *History of Programming Languages*. New York: Academic Press, 1981.

Robert W. Sebesta - Concepts Of Programming Languages University of Colorado. Addison Wesley Editore

[1] Formalismo introdotto da Alonzo Church per definire funzioni.

[2] Il linguaggio C è stato sviluppato nei Bell Laboratories della AT&T nel 1972 da Dennis Ritchie come evoluzione del linguaggio B di Ken Thompson usato per la scrittura dei primi sistemi operativi UNIX.

Alberto Porzio, Salvatore Solimeno

La computazione e comunicazione quantistica: dall'idea alla realizzazione tecnologica

Uno studioso che voglia affrontare, nel suo lavoro, la computazione quantistica si trova subito di fronte ad una domanda: che cosa è un computer quantistico?

La risposta, apparentemente banale, contiene in se principi affermatisi negli ultimi cento anni di ricerca nel campo della Fisica sia teorica che sperimentale. Un computer quantistico è un dispositivo computazionale che sfrutti le proprietà quantistiche della materia o, come vedremo, del campo elettromagnetico per realizzare protocolli di computazione.

È esperienza comune che nei computer odierni le prestazioni crescono mentre le loro dimensioni continuano a diminuire. Tutto è legato alla possibilità di realizzare transistor di dimensioni sempre minori. Ovviamente tale processo di miniaturizzazione non potrà continuare all'infinito in quanto presto le dimensioni del singolo transistor saranno confrontabili con le distanze a cui si manifestano i fenomeni dell'interazione quantistica tra i portatori di carica[1].

Questo che, ad una prima vista, potrebbe sembrare un limite invalicabile alle possibilità di sviluppo tecnologico degli attuali computer fu, agli inizi degli anni '80 del secolo scorso, riconosciuto da Richard Feynman[2] come un potenziale vantaggio[3]. Difatti, dalla semplice constatazione che non potesse esistere alcun algoritmo che potesse realmente riprodurre il comportamento di un sistema quantistico in un computer basato unicamente sui principi della fisica classica, Feynman arrivò a delineare la possibilità di un computer basato sulle leggi della meccanica quantistica in grado dunque di "simulare" il comportamento quantistico della materia e di compiere operazioni non permesse ad un computer "classico". Questa osservazione aprì la strada alla ricerca nel campo della comunicazione e computazione quantistica.

Ad onor del vero, già negli anni '70 alcuni scienziati avevano cominciato a studiare, dal punto di vista strettamente teorico, i problemi della computazione "non classica", giungendo alla formulazione di alcune leggi che sono tuttora considerate basilari dagli studiosi del campo. È di quegli anni sia il lavoro di Holevo[4] che mostrò il limite fondamentale per la trasmissione dell'informazione, sia quello di R. P. Poplavskii[5] che con un approccio termodinamico mostrò l'impossibilità per un computer classico di simulare il comportamento quantistico partendo, in particolare dal principio di sovrapposizione.

La svolta, però, avvenne nel 1984, allorquando, Charles Bennett e Gilles Brassard[6], l'uno dell'IBM, l'altro dell'Université de Montreal, pubblicarono un lavoro in cui utilizzavano il concetto,

tutto quantistico, del "conjugate coding", sviluppato nel 1973 da Stephen Wiesner[7], per inventare il primo protocollo di comunicazione quantistica per la distribuzione di chiavi crittografiche "intrinsecamente sicure". Tale protocollo è oggi noto, agli addetti ai lavori, come BB84.

La svolta operata da Wiesner, e messa a frutto nel BB84, fu quella di riconoscere nelle proprietà di sovrapposizione delle funzioni d'onda quantistiche e nel principio d'indeterminazione di Heisenberg la possibilità di codificare, in un unico canale di trasmissione, due messaggi che seppur entrambi trasmessi non potessero essere entrambi ricevuti.

Il passo successivo, datato 1991, fu compiuto da Artur Eckert[8], all'epoca giovane PhD dell'università di Oxford, che mise a punto un protocollo crittografico basato su coppie di particelle "entangled"[9]. Coppie in cui lo stato complessivo del sistema fisico non fosse descritto da una funzione d'onda collettiva non fattorizzabile in prodotti di funzioni d'onda delle singole particelle.

È da notare che questi lavori vedevano la luce in un momento in cui ancora le potenzialità della computazione quantistica non erano ben chiare. Difatti, al di là di affermazioni, per così dire, di principio in cui si affermava l'impossibilità di realizzare un computer classico in grado di simulare fedelmente una realtà quantistica, ancora non erano stati individuati, nel mondo della "computer science" situazioni reali in cui le potenzialità di computazione di un sistema quantistico travalicassero le possibilità di una analogo classico. Questa barriera fu definitivamente abbattuta tra il 1993 ed il 1994 da Dan Simon[10] e Peter Shor[11]. Il primo dimostrò come in una macchina di Turing perfetta[12] un approccio quantistico alla computazione avrebbe consentito una velocità di esecuzione esponenzialmente maggiore dell'analogo classico; il secondo, alla luce di questa dimostrazione, mise appunto un originale algoritmo[13] per la fattorizzazione dei numeri interi basato sui principi del qubit. In tla si mise in luce come potenzialmente un computer quantistico potesse risolvere, in pochi istanti, gli enigmi su cui, tuttora, si basano i protocolli crittografici. Difatti, la odierna sicurezza delle chiavi crittografiche risiede nella complessità degli algoritmi necessari all'individuazione numeri molto grandi. Una macchina in grado di implementare l'algoritmo di Shor potrà mettere a nudo la sicurezza della comunicazione digitale. Questa consapevolezza ha ovviamente suscitato immediato interesse sia puramente scientifico, aprendo di fatto le porte alla ricerca nella crittografia quantistica[14], sia strategico per le non trascurabili implicazioni sulla sicurezza delle comunicazioni.

Con i lavori di Shor si era, finalmente, giunti ad un punto di non ritorno; la teoria astratta veniva applicata ad un problema reale la cui complessità veniva ridotta grazie ad un approccio quantistico.

Tale lavoro fece meglio apprezzare le implicazioni di alcuni lavori di teoria della computazione in cui, per vie astratte, si erano disegnati gli elementi

costitutivi di un computer quantistico. Tra questi va sicuramente menzionato il lavoro di Tommaso Toffoli[15], un ricercatore italiano attualmente all'MIT di Boston, che nel 1981, aveva studiato una porta logica basata sui principi della meccanica quantistica che, in particolare, preservasse la reversibilità spazio-temporale. Tale porta logica insieme alle porte NOT e XOR rappresenta un insieme completo ed universale per l'implementazione di protocolli di computazione quantistica.

Dire che la computazione quantistica consiste nello sfruttare le proprietà quantistiche della materia significa dare uno sguardo d'insieme senza dare giusto risalto a quali di queste proprietà, elencate in ordine sparso nel breve excursus condotto finora, siano veramente utilizzate in un computer quantistico.

Innanzitutto va sottolineato il ruolo che in ogni protocollo di computazione quantistica, gioca il principio di "sovrapposizione". Quest'ultimo afferma che una qualsiasi funzione d'onda che descriva un sistema quantistico può essere scritta come una combinazione lineare di stati ben definiti. I coefficienti di tale combinazione rappresentano l'ampiezza di probabilità che il sistema si trovi in quel determinato stato[16].

Questo principio, se applicato allo stato di più particelle, può portare al cosiddetto paradosso EPR (da Einstein Podolsky e Rosen[17]) ed al concetto di *entanglement*. Uno stato, di un insieme di due o più sistemi fisici correlati a livello quantistico, è descritto dalla sovrapposizione degli stati dei singoli sistemi anche se tali sistemi sono spazialmente separati. La più immediata implicazione dell'entanglement è la cosiddetta nonlocalità; ovvero la possibilità di "predire" a distanza il risultato di una misura su uno dei sottosistemi *entangled* avendo misurata un'opportuna quantità su di un altro sottosistema.

Ovviamente tutta la teoria della computazione quantistica sottostà a lle leggi generali della meccanica quantistica. Tra queste il cosiddetto teorema *no-cloning*[18], ovvero l'impossibilità, nel modo quantistico, di creare, a partire da un sistema fisico il cui stato sia anche parzialmente ignoto, delle copie identiche rappresenta da una parte un limite alle potenzialità della computazione quantistica, dall'altra ne rafforza alcune peculiarità. Difatti è proprio grazie al *no-cloning* che è possibile realizzare protocolli crittografici intrinsecamente sicuri.

Anche il concetto di misura, profondamente modificato nel passaggio dalla fisica classica a quella quantistica, ha profonde implicazioni nell'analisi della computazione quantistica. Il concetto classico, la possibilità, cioè, di determinare il valore di una qualsiasi grandezza fisica per un determinato sistema con precisione arbitraria e poterne descrivere l'evoluzione, viene definitivamente negato dal principio di indeterminazione di Heisenberg. La meccanica quantistica poneva un limite intrinseco sulla possibilità di determinare simultaneamente e con precisione arbitraria il valore di più variabili relative allo stato di

un sistema. Questo è connesso al collasso della funzione d'onda di un sistema ovvero al fenomeno per il quale un sistema fisico sottoposto ad una misura si venga a trovare, a valle di tale processo in un autostato dell'operatore che descrive l'osservabile misurato.

L'ultimo concetto che vale la pena citare, per dare un quadro sufficientemente completo , è l'analogo quantistico del bit come unità primaria dell'informazione. È noto che i computer parlino tra loro e elaborino le informazioni sotto forma di bit, ovvero di variabili che assumano il valore "0" o "1" in maniera esclusiva. Nel caso quantistico il concetto di bit si è trasformato in quello di quantum-bit o *qubit* (a volte anche indicato con *qbit*) ovvero di un sistema fisico a due stati, l'uno individuato come "0" e l'altro come "1", la cui funzione d'onda sia espressa come combinazione lineare dei suddetti stati

$$\psi = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

In tal modo il *qubit* può assumere il valore "0", il valore "1", come il suo analogo classico, ed in più può assumere un valore che sia una combinazione lineare dei due, cosa del tutto impossibile per un bit classico. Questa semplice differenza ha come già sottolineato profonde implicazioni. Un *qubit* si trova sempre in uno stato di sovrapposizione a meno che non venga, su di esso, effettuata una misura che lo proietti in uno dei due stati, può cioè contenere simultaneamente due informazioni di cui una sola potrà essere resa intellegibile tramite un processo di misura.

È di interesse chiedersi come questa serie di lavori teorici di principio siano via via stati tradotti in esperimenti scientifici e come questi ultimi stiano pian piano migrando dalle fredde atmosfere di laboratorio verso sistemi prototipali ed, in alcuni casi, industriali. Il passaggio dalla carta al banco di laboratorio e quindi alle scrivanie dei potenziali utenti, richiede un'attenta disamina dei problemi, di principio e tecnici, che le implementazioni pratiche presentano. Volendo utilizzare la schematizzazione introdotta da un celebre lavoro di David Di Vincenzo, del centro ricerche IBM, i requisiti minimi richiesti per poter realizzare un quantum computer sono[19] :

1. scalabilità: garantisce la possibilità di incrementare il numero di qubit coinvolti nella computazione;
2. inizializzazione: la condizione iniziale, o meglio lo stato di partenza, deve poter essere impostato arbritariamente;
3. velocità: la velocità di operazione delle porte logiche deve essere tale che la decoerenza non possa influenzare il risultato dell'operazione;
4. universalità: il numero di porte elementari deve essere maggiore del set universale composto da una porta XOR, una porta NOT ed una porta di Toffoli;
5. accesso: l'accesso alle informazioni, e quindi la lettura dei singoli qubit, deve essere semplice.

Le implicazioni ingegneristiche potrebbero essere così riassunte. Affinché un sistema possa essere considerato un

buon candidato per realizzare, su scala proto industriale, un quantum computer è necessario che possa essere di dimensioni ridotte, fisicamente isolato dall'interazione con l'ambiente fatta salva la possibilità di accedervi per effettuare delle misure, i meccanismi di computazione devono essere indipendenti dalle condizioni ambientali, ed, infine, l'accoppiamento con l'esterno, inevitabile onde permettere l'input e l'output dei dati, deve poter essere interrotto durante la computazione vera e propria.

Il criterio che, ad oggi, sembra più difficile da rispettare è la possibilità di isolare il sistema per tempi sufficientemente lunghi da fargli completare l'algoritmo computazionale. Il fatto è che, con lo scorrere del tempo computazionale, le correlazioni quantistiche, elemento fondante del qubit, diminuiscono di forza a causa dell'interazione del sistema con l'ambiente esterno. Tale fenomeno va sotto il nome di decoerenza. L'effetto della decoerenza è quello di rendere non-deterministico il risultato finale, ovvero, per usare termini propri, di rendere non-unitaria l'evoluzione degli stati quantistici coinvolti facendo perdere al processo il carattere di reversibilità previsto dalla porta di Toffoli.

Se da un lato si sta cercando di individuare sistemi con tempi di decoerenza il più lunghi possibili, dall'altro sembra esserci un legame non scritto tra la velocità potenziale di computazione e tali tempi. Difatti i sistemi ottici, che presentano i tempi di decoerenza minori, sono anche quelli che porterebbero, in linea di principio, ad elevatissime velocità di computazione. Le scale temporali tipiche della decoerenza vanno dalle frazioni di nanosecondi, nei sistemi ottici, ai secondi nei sistemi superconduttivi a bassissima temperatura e negli ioni intrappolati.

Un innovativo approccio, mutuato dalla teoria classica della computazione, ai problemi di decoerenza è rappresentato dalla correzione quantistica degli errori. È noto che i protocolli di comunicazione e computazione, attualmente in uso, prevedono una serie di indicatori che servano ad individuare possibili errori nella trasmissione o nella manipolazione dei dati. Tali errori, per nostra fortuna statisticamente un numero molto limitato ma impossibile da azzerare, vengono corretti ad insaputa dell'utente finale da opportuni algoritmi. Allo stesso modo è necessario prevedere anche nel caso quantistico strumenti adatti al riconoscimento ed alla successiva correzione degli errori. Tale approccio va sotto il nome di quantum error correction[20]. Ovviamente, così come nel caso classico, per la correzione degli errori è necessario spendere bit (nel caso dei protocolli di trasmissione si utilizza il cosidetto bit di parità), nel caso quantistico l'implementazione di protocolli di salvaguardia dalla decoerenza fanno aumentare il numero di qubit necessari per l'implementazione delle singole porte logiche; rendendo così ancora più complessa la scalabilità del sistema.

La prima realizzazione fisica di un sistema per la computazione quantistica ha riguardato sistemi di spin magnetici nucleari preparati ed elaborati median-

te risonanza magnetica[21]. Tale approccio fu però abbandonato rapidamente sia per difficoltà di tipo pratico[22] sia perché fu riconosciuto[23] come tali sistemi non fossero realmente dei computer quantistici ma al più sistemi in grado di simulare tali dispositivi.

In realtà già precedentemente era stata dimostrata, nel campo dell'ottica quantistica, la possibilità di generare fotoni *entangled* in polarizzazione[24] mediante processi di ottica non-lineare. Tali coppie di fotoni rappresentavano, senza dubbio, candidati ideali per l'esemplificazione di *qubit*. A valle di ciò fu teoricamente dimostrato[25] che è possibile realizzare protocolli di computazione quantistica scalabili utilizzando stati di singolo fotone e elementi ottici lineari. L'approccio di ottica quantistica risulta molto intuitivo e sperimentalmente non eccessivamente complesso, questo ha consentito, negli ultimi anni, la messa in commercio di più sistemi di crittografia quantistica[26] basati sul protocollo BB84 realizzato con singoli fotoni.

Le implementazioni ottiche sono, ad oggi, quelle che si sono spinte più in là per quanto riguarda il grado di complessità raggiunto. È recentissima la pubblicazione di un lavoro in cui si realizza, per la prima volta, l'algoritmo di Shor utilizzando qubit ottici[27].

Se, dunque, da una parte l'implementazione ottica rappresenta una possibilità concreta di giungere a dispositivi sempre più complessi per la computazione quantistica, dall'altra un qualsivoglia protocollo di computazione che travalichi la semplice manipolazione di pochi qubit mediante porte logiche o la trasmissione di chiavi crittografiche, ma che preveda algoritmi più complessi che coinvolgano processi di memorizzazione e di lettura delle informazioni necessita di sistemi più complessi.

Uno dei sistemi fisici più studiati a tale scopo è un insieme di ioni intrappolati in cui catene lineari o reticoli bidimensionali di ioni (fino ad alcune decine in un'unica trappola) vengono mantenuti fissi mediante potenziali elettromagnetici opportunamente disegnati. In questo caso i gradi di libertà sfruttati ai fini della computazione quantistica non sono altro che i modi di vibrazione reticolare collettivi, utilizzati quali collettori dell'informazione, e gli stati elettronici degli ioni stessi, usati come sistema a due livelli per la codifica dei qubit[28].

Un ulteriore sistema di cui si stanno studiando le possibili applicazioni nel campo della computazione quantistica è rappresentato da giunzioni superconduttive disegnate con particolari geometrie[29]. Tali sistemi hanno, in comune con quegli ottici, il non banale vantaggio di avere alle spalle una tecnologia ben consolidata sia per la loro produzione sia per la loro manipolazione. Inoltre, contrariamente a quegli ottici, presentano tempi di decoerenza estremamente lunghi ma presentano una scalabilità a tutt'oggi limitata dalla necessità di operare a temperature molto basse.

Come è evidente non è possibile mettere la parola fine a questo percorso. La ricerca e lo sviluppo in questo campo sembra oggi essere ad un punto di fibrillazione in attesa dell'avvento del-

l'era quantistica grandi industrie, HP, IBM e Toshiba in testa, stanno investendo ingenti risorse, economiche ed umane, per raggiungere per primi il traguardo di un computer quantistico che possa realmente passare dai banchi di laboratorio alle nostre scrivanie. È recentissima la notizia della presentazione di un primo prototipo di computer quantistico a 28-bit[30].

[1] T. Thompson, *When Silicon Hits Its Limits, What's Next?*, "Byte" 1996, Aprile, (http://www.byte.com/art/9604/sec7/sec7.htm).

[2] Nel corso del suo intervento alla *First Conference on the Physics of Computation*, MIT, Boston (USA), 1981

[3] D. Deutsch, *Quantum computation*, "Physics World", 1992, Giugno.

[4] A. S. Holevo, *Information-theoretic aspects of quantum measurement*, «Problems in Information Transmission», *1973* (in russo), *vol. 9, no. 2, pp. 31–42.*

[5] R. P. Poplavskii, *Thermodynamical models of information processes*, «Soviet Physics Uspekhi» 1975, vol.18, 222-241.

[6] C.H. Bennett e G. Brassard, *Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing*, «Proceedings of IEEE International Conference on Computers Systems and Signal Processing, Bangalore India, December 1984», 1984, pp.175-179.

[7] S. Wiesner, *Conjugate coding*, scritto nel 1973 è apparso in stampa in «The guide to computing literature», 1983, vol. 15, pp.78-88.

[8] A.K.Ekert, *Quantum cryptography based on Bell's theorem*, «Physical Review Letters», 1991, vol.67 pp.661-663.

[9] La traduzione letterale più fedele della parola *entangled* è intrecciato

[10] D.R. Simon, *On the power of quantum computation*, SIAM Journal on Computing, 1994, vol. 26, no. 5, pp. 1474-1483.

[11] P.W. Shor, *Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum* Computer, SIAM Journal on Computing, 1994, vol. 26, no. 5, pp. 1484-1509.

[12] Una macchina di Turing rappresenta la schematizzazione astratta di un computer.

[13] Tale algoritmo è oramai noto come algoritmo di Shor.

[14] R. J. Hughes *et al*. *Quantum cryptography*, Contemporary Physics, 1995, vol.36, p.149-163; S. J. D. Phoenix e P. D. Townsend, *Quantum Cryptography: how to beat the code breakers using quantum mechanics*, Contemporary Physics, 1995, vol.36, p.165-195; N. Gisin *et al.*, *Quantum Cryptography*, Review of Modern Physics, 2002, vol 74, pp. 145-195.

[15] T. Toffoli, *Reversible computing*, Automata, Languages and Programming (de Bakker and van Leeuwen eds.), Springer-Verlag (1980), pp. 632-644

[16] Si noti che questo fa si che i diversi coefficienti della combinazione non siano del tutto indipendenti in quanto la somma dei loro moduli deve necessariamente essere pari ad 1.

[17] A. EINSTEIN, B. PODOLSKY, E N. ROSEN, *Can quantum-mechanical description of physicalreality be considered complete?*, Physical Review, 1935, vol. 47, p. 777.

[18] W.K. WOOTTERS, E W.H. ZUREK, *A Single Quantum Cannot be Clone*. Nature, 1982, vol. 299, pp. 802-803.

[19] Tali requisiti vanno oggi sotto il nome di criteri di Di Vincenzo. D. P. Di Vincenzo *Quantum Computation*, Science, 1995, vol. 270, pp. 255-261

[20] P. W. SHOR, *Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory*, Physical Review A, 1995, vol. 52, pp. 2493-2496; A. Steane, *Multiple-particle interference and quantum error correction*, Proceedings of the Royal Society of London Series A – Mathematical Physical and Engineering Sciences, 1996, vol.452, pp. 2551-2577.

[21] J.A. JONES, M. MOSCA, E R.H. HANSEN, *Implementation of a quantum search algorithm on a quantum computer*, Nature, 1998, vol. 393, pp. 344-346; I.L. CHUANG *ET AL.*, *Bulk quantum computation with nuclear magnetic resonance: theory and experiment*, Proceedings of the Royal Society of London Series A – Mathematical Physical and Engineering Sciences, 1998, vol. 454, pp. 447-467.

[22] Le dimensioni delle macchine per ottenere effetti di risonanza magnetica fanno sì che allo stato non sia pensabile di realizzare quantum computer basati su questo effetto.

[23] S. L. BRAUNSTEIN, ET AL., *Separability of Very Noisy Mixed States and Implications for NMR Quantum Computing*, Physical Review Letters, 1999, vol. 83, p. 1054.

[24] Y.H. SHIH E A. V. SERGIENKO, *A two-photon interference experiment using type-II optical parametric down-conversion*, Physics Letter A, 1994, vol. 191, pp. 201-207

[25] E. KNILL, R. LAFLAMME, AND G. J. MILBURN, *A scheme for efficient quantum computation with linear optics*, Nature, 2001, vol. 409, pp. 46-52.

[26] Apparecchi di crittografia quantistica vengono attualmente commercializzati da MagiQ Technologies (USA), id Quantique (Svizzera) e SmartQuantum (Francia).

[27] B. P. LANYON *ET AL.*, *Experimental Demonstration of a Compiled Version of Shor's Algorithm with Quantum Entanglement*, Physical Review Letters, 2007, vol. 99, art.n. 250505.

[28] H. C. NÄGERL, *ET AL.*, *Linear Ion Traps for Quantum Computation*, in *The Physics of Quantum Information*, Springer, Berlin, 2000.

[29] J. H. PLANTENBERG *ET AL.*, *Demonstration of controlled-NOT quantum gates on a pair of superconducting quantum bits*, Nature, 2007, vol. 447, pp.836-839.

[30] Un siffatto computer è stato presentato dalla D-Waves Systems (Canada) il 12 Novembre del 2007 nel corso della Superconmputing Conference.

ERMENEGILDO CACCESE, FEDERICO GUARRACINO

La Teoria dell'elasticità tra Fisica e Ingegneria

Introduzione

Si discutono brevemente le teorie che dalla prima metà, fino alla fine del XIX secolo rappresentavano il mezzo di propagazione della luce, l'etere, come un solido elastico, e che, nell'opinione di E. Whittaker, hanno costituito un importante stimolo alla formazione della stessa teoria generale dell'elasticità. Si nota quindi come nel XX secolo la teoria dell'elasticità abbia continuato a giocare un ruolo preminente anche in campi di ricerca al di fuori delle scienze ingegneristiche, come quello della fisica dello stato solido.

L'etere come solido elastico

L'indagine sulla natura della luce nella scienza moderna si caratterizza, fin dal suo principio, come una disputa tra ipotesi corpuscolare ed ipotesi ondulatoria. La disputa diede luogo a due *teorie* tra loro alternative, e solo con la prima metà del XIX secolo si ebbe l'affermazione definitiva di quella ondulatoria. La teoria corpuscolare era stata sostenuta da I. Newton, mentre tra i primi fautori dell'ipotesi ondulatoria i più eminenti furono R. Hooke (*Micrographia*, 1667) e C. Huygens (*Traité de la lumière*, 1690).

Al tempo di Newton ed Huygens, le conoscenze di tipo quantitativo sulla propagazione della luce consistevano essenzialmente nel *principio del tempo minimo*, formulato da P. Fermat per determinare il percorso dei raggi luminosi nei mezzi rifrangenti (1675), e la legge di Snell e Descartes sulla riflessione e la rifrazione nei mezzi omogenei. A queste conoscenze, che potevano essere rivendicate dai sostenitori di entrambe le ipotesi, Huygens aggiunse un principio che è considerato fondamentale per la determinazione dei fronti d'onda. Quello di Huygens è un principio generale di carattere cinematico inerente la propagazione delle onde in un mezzo. Poteva essere applicato alla propagazione della luce ed era in grado di spiegare la riflessione e la rifrazione, in accordo alla legge di Snell e Descartes, ma era anche in grado di descrivere il fenomeno, da poco scoperto nei cristalli di Spato d'Islanda, della doppia rifrazione.

L'ipotesi ondulatoria aveva tuttavia un grave inconveniente, nei confronti della rivale: essa presumeva l'esistenza di un *mezzo di propagazione*, l'etere, che doveva riempire tutto lo spazio, doveva penetrare (almeno) i corpi trasparenti, e doveva essere dotato di opportune proprietà elastiche[1]. A parte le ricerche di carattere sperimentale, la ricerca di una teoria quantitativa (di una *teoria dinamica*, nei termini dell'epoca) della luce coincideva con la ricerca di una teoria quantitativa del mezzo. Fino al principio del XIX secolo non furono proposte teorie di questo tipo, e ciò sia

per la prevalenza della teoria corpuscolare per tutto il XVIII secolo[2], sia perché non esisteva ancora una fisica matematica del continuo.

Secondo la tesi storica sostenuta da E. Whittaker, fu la necessità di ottenere una teoria dinamica della luce che facesse da supporto quantitativo all'ipotesi ondulatoria, a dare un contributo decisivo alla nascita della teoria dell'elasticità. Questa tesi è avvalorata dal fatto che i problemi più importanti dell'ottica riguardavano la propagazione della luce nei mezzi cristallini trasparenti. Per descrivere gli effetti della propagazione della luce in un solido cristallino, accanto ad una teoria dinamica del mezzo luminifero era necessaria infatti anche una teoria dinamica del solido stesso, che fosse in grado di render conto di fenomeni quali la doppia rifrazione. L'affermazione definitiva della teoria ondulatoria avvenne ad opera principalmente di T. Young (1773-1829)[3] ed A. J. Fresnel (1788-1827), e si sviluppò nel corso dei primi trent'anni del XIX secolo. Vale la pena di seguirla, anche in modo sommario, per evidenziare il ruolo giocato in questa vicenda dall'elasticità.

Il primo contributo fu dato da Young in un lavoro del 1800, nel quale veniva criticata la teoria corpuscolare. La teoria corpuscolare per spiegare la costanza della velocità della luce, sia nello spazio vuoto di materia che nei mezzi trasparenti omogenei, doveva ricorrere all'azione di forze acceleratici o deceleratrici. Ciò che appariva incomprensibile a Young era il fatto che forze diversissime come quelle in azione in sorgenti celesti come il Sole, o quelle in azione in sorgenti locali come una pietra focaia, accelerassero le particelle luminose tutte ad una stessa velocità. La teoria ondulatoria, per contro, si fondava sulla *velocità caratteristica* del mezzo, del tutto indipendente dalle forze che lo pongono in vibrazione. Al paradosso di una sostanza elastica che pervade lo spazio vuoto e penetra i corpi ponderabili, Young rispondeva con l'osservazione che la semplice esistenza di azioni a distanza, come per esempio quella elettrica (per non parlare della gravità), ne comprovava l'esistenza.

Il primo decisivo contributo alla teoria ondulatoria Young lo diede con la formulazione della famosa *legge dell'interferenza*, in un lavoro del 1802. Ispirandosi alla spiegazione data da Newton alle differenti velocità del flusso mareale nei canali di un porto nel golfo del Tonkino, Young propose una spiegazione degli anelli ottici di Newton basata sull'interferenza delle due perturbazioni provenienti dai due strati della lamina di Newton.

«*Suppose a number of equal waves of water to move upon the surface of a stagnant lake, with a certain constant velocity, and to enter a narrow channel leading out the lake; suppose then another similar cause to have excited another series of waves, which arrive at the same channel, with the same velocity, and at the same time with the first. Neither series of waves will destroy the other, but their effects will be combined; if they enter the channel in such a manner that the elevations of one series*

coincide with those of the other, they must together produce a series of greater joint elevations; but if the elevations of one series are so situated as to correspond to the depression of the other, they must exactly fill up those depressions, and the surface of the water must remain smooth. Now I maintain that similar effects take place whenever two portions of light are thus mixed; and this I call the general law of the interference of light».

La legge dell'interferenza era in grado sia di spiegare i fenomeni noti che di prevedere l'esito di altre esperienze, in tutti i casi in cui due o più raggi di luce vengono fatti convergere. Essa fu il primo importante punto di forza della teoria ondulatoria. Young cercò di utilizzarla anche, senza successo, per spiegare la diffrazione, ma il problema principale restava la spiegazione della propagazione nei cristalli, e principalmente la doppia rifrazione. Va ricordato che in questo fenomeno, i due raggi rifratti sono tali che se li si fa di nuovo passare in un identico cristallo di Spato d'Islanda, l'effetto non si presenta più, ma anzi il passaggio della luce dà luogo ad un fenomeno di rifrazione ordinario.

Questa ed altre caratteristiche della doppia rifrazione erano note a Newton, che le aveva usate per rigettare la teoria ondulatoria di Huygens. Si trattava della prima evidenza sperimentale di quella che è nota come *polarizzazione*, nome che fu attribuito al fenomeno da E.-L. Malus, in un lavoro del 1809, in cui ne evidenziava la generalità. La polarizzazione è una caratteristica *universale* della luce rifratta, ed in molte situazioni sperimentali era possibile ora metterla in evidenza.

Il carattere generale, ed il fatto che la polarizzazione non trovasse una spiegazione nella teoria ondulatoria sembrava rafforzare la posizione corpuscolare. Era chiaro infatti dal lavoro sperimentale di Malus, che se il comportamento della luce nei mezzi trasparenti è causato dall'azione di forze, queste devono essere presenti *in ogni mezzo trasparente*, non solo nello Spato d'Islanda. Le esperienze di Malus avvaloravano tra l'altro una derivazione teorica della doppia rifrazione ottenuta da Laplace, con l'impiego del principio di Maupertuis, nel 1808. Laplace aveva ipotizzato che il cristallo esercitasse sui corpuscoli luminosi delle forze dipendenti dall'inclinazione del raggio incidente. Ulteriori conferme del carattere universale della polarizzazione vennero dagli esperimenti di Brewster del 1815, che la riscontrò anche nella luce riflessa, in particolari condizioni.

Nel 1817 l'Accademia di Francia propose la spiegazione della diffrazione come argomento per il premio del 1818, una spiegazione - si riteneva - che avrebbe sancito il definitivo successo dell'ipotesi corpuscolare. Fu invece la teoria ondulatoria ad avere successo, con un lavoro di Fresnel del 1816. In questo lavoro l'autore aveva mostrato che gli effetti di diffrazione dal bordo di un ostacolo posto sulla traiettoria di un fascio di luce, non dipendono, come aveva ipotizzato Young nel 1803, dall'interferenza delle onde "primarie" con onde

prodotte dalla riflessione. La diffrazione è invece il risultato dell'interferenza delle onde primarie con quelle secondarie originate dall'impatto con il bordo dell'ostacolo. Per derivare il fenomeno Fresnel, oltre che la legge dell'interferenza di Young, aveva impiegato il principio di Huygens per costruire i fronti d'onda diffratti.

Ma il maggior successo fu raggiunto con la spiegazione della polarizzazione nel contesto della teoria ondulatoria. Nel 1816 Arago e Fresnel scoprono che raggi polarizzati a 90° fra loro, non interferiscono. In base a tale importante acquisizione, Young ipotizza che la luce sia una vibrazione *trasversale*. In una lettera ad Arago del 1817 Young scrive infatti: «*I have been reflecting on the possibility of giving an imperfect explanation of the affection of light which constitutes polarisation, without departing from the genuine doctrine of undulations. It is a principle in this theory, that all undulations are simply propagated through homogeneous mediums in concentric spherical surfaces like the undulations of sound, consisting simply in the direct and retrograde motions of the particles in the direction of the radius, with their concomitant condensation and rarefactions. And yet it is possible to explain in this theory a transverse vibration, propagated also in the direction of the radius, and with equal velocity, the motions of the particles being in certain constant direction with respect to that radius; and this is a polarisation*».

Tra Young, Arago e Fresnel era in discussione un diverso modello della propagazione ondosa, che presumeva, per il mezzo di propagazione, una costituzione fisica diversa da quella dei fluidi compressibili come l'aria. Whittaker ci avverte che in quegli anni non ancora esisteva una teoria delle vibrazioni nei mezzi elastici tridimensionali, e che gli sforzi dei tre scienziati, volti alla comprensione delle onde luminose, condurranno *anche* alla teoria meccanica dell'elasticità, nella sua forma attuale. Il modello per la descrizione dinamica dell'etere, come fu chiaro di lì a pochi anni ai grandi fisici matematici francesi e inglesi, era inoltre anche il modello della dinamica del solido elastico. La separazione tra ottica fisica e teoria dell'elasticità avvenne solo molto più tardi, a partire grosso modo dagli anni '70 del XIX secolo, quando fu chiaro che la teoria di Maxwell del campo elettromagnetico (che comunque ipotizzava ancora l'etere) comprendeva l'ottica fisica.

Ma torniamo a Fresnel. In una memoria del 1821 egli, come sottolinea Whittaker, fu in grado di delineare con chiarezza il programma di ricerca della teoria ondulatoria della luce, per prima cosa definendo un modello per l'etere che era di fatto anche il modello della teoria più generale dell'elasticità. Fresnel individuava infatti nella proprietà di *rispondere elasticamente alle distorsioni*, la capacità di un mezzo a propagare vibrazioni trasversali. Egli inoltre osservava che un fascio di luce *ordinaria* consiste in un insieme di raggi polarizzati in tutte le direzioni perpendicolari alla direzione di propagazione, e che la polarizzazione provocata per esempio dal

passaggio in un cristallo consiste non già nella *produzione* di raggi polarizzati, bensì nella *selezione*, dal raggio incidente, delle onde polarizzate in una data direzione. Fresnel notava infine che, sia nell'etere che nella materia, vibrazioni di tipo longitudinale non potevano essere escluse, ma se il mezzo è tale che la loro velocità è incomparabilmente maggiore di quella delle oscillazioni trasversali, ai fini dell'ottica fisica quelle possono a tutti gli effetti essere ignorate. Questo aspetto della doppia velocità caratteristica era destinato a presentare problemi di interpretazione più o meno seri nella teoria dell'etere come solido elastico, ma rappresentava anche per qualche verso un vantaggio, perché la propagazione longitudinale poteva descrivere altri tipi di *azioni fisiche a distanza*, come la gravitazione.

A questo punto Fresnel, nel corso di pochi anni, individua la descrizione ondulatoria della doppia rifrazione e di tutti i fenomeni di polarizzazione nei mezzi trasparenti, compiendo allo stesso tempo il primo passo nella teoria dell'elasticità. Basandosi sulle ipotesi da lui stesso formulate per spiegare le aporie connesse alla propagazione in un mezzo trasparente *solidale alla Terra*, della luce proveniente da sorgenti astronomiche (essenzialmente il fatto che l'aberrazione ottica non coinvolge la riflessione e la rifrazione), egli individuò una costruzione geometrica per trovare velocità e direzioni dei raggi rifratti in funzione del raggio incidente, che equivale all'attuale descrizione elettromagnetica della relazione lineare tra il campo elettrico dell'onda rifratta ed il campo elettrico dell'onda incidente. Nei dielettrici omogenei ma non isotropi questa relazione descrive esattamente i due raggi rifratti polarizzati.

Dalla costruzione di Fresnel si ricavava anche un metodo geometrico per la determinazione dei fronti d'onda che permetteva di ritrovare i risultati di Huygens. Sempre a partire dalle ipotesi sull'etere immagazzinato in un mezzo dielettrico trasparente (un cristallo), Fresnel trovò anche la spiegazione dinamica degli effetti di polarizzazione, ponendo di fatto il fondamento della futura teoria dell'elasticità lineare. Egli infatti assunse che le particelle del mezzo luminifero *entro un cristallo* rispondessero all'azione provocata dal passaggio di un'onda con delle forze elastiche di richiamo *funzioni lineari dello spostamento*. Da quest'ipotesi si traeva la determinazione degli *assi di elasticità* in funzione delle proprietà ottiche del particolare cristallo. Il carattere trasversale delle vibrazioni, accoppiato alle forze elastiche di richiamo dell'*etere nel cristallo*, permettono di dedurre infine, sia le direzioni di propagazione dei raggi rifratti che i piani di polarizzazione.

Fresnel passò infine ad occuparsi del problema della dispersione della luce nei cristalli, individuando anche in questo campo la strada che dalla prospettiva attuale appare come quella corretta, e cioè lo studio delle interazioni dell'onda luminosa con i raggruppamenti di atomi del materiale dielettrico, considerate a differenti valori della lunghezza d'onda incidente. Il lavoro geniale di Fresnel si

trova condensato in una serie di memorie succedutesi dal 1821 per quattro anni, e pubblicate in una raccolta nel 1827, lo stesso anno della morte dello scienziato, e lo stesso anno in cui fu pubblicata per la prima volta l'equazione dinamica di un mezzo elastico, ad opera di L.-M.-H. Navier.

La teoria delle dislocazioni e la fisica dei solidi

Un settore completamente differente nel quale la teoria matematica dell'elasticità ha fornito la base per indagini fondamentali è stato poi quello della fisica dei solidi e in particolare della teoria delle dislocazioni. Nella scienza dei materiali, per dislocazione si intende un difetto locale del reticolo cristallino. La presenza di dislocazioni è ovviamente un fatto pressoché ineliminabile nella reale costituzione di un mezzo continuo, e tuttavia le dislocazioni determinano dei campi di tensione che possono interagire in diversi modi con quelli derivanti dai carichi esterni a cui può essere sottoposto il solido. Sotto l'azione di tali carichi, le dislocazioni possono inoltre migrare attraverso il mezzo, accumulandosi e creando deformazioni permanenti a livello macroscopico. Apparentemente la teoria macroscopica della plasticità strutturale e la fisica delle dislocazioni, pur occupandosi esattamente dello stesso fenomeno, nel corso del secolo scorso sembrano aver proceduto lungo cammini paralleli. In realtà nella meccanica dei solidi i corpi sono considerati come continui soggetti a condizioni macroscopiche che individuano il passaggio da uno stato elastico ad uno stato plastico. La descrizione fenomenologica dello stato plastico, tuttavia, trascura aspetti essenziali, quali la mancanza di uniformità su scala microscopica della deformazione e gli scorrimenti che si determinano in modo estremamente non omogeneo su certi piani dei cristalli, nonchè l'influenza della dimensione dei grani. Intorno alla metà del secolo scorso diversi fisici dei solidi e metallurgisti diedero origine a una vasta indagine sulla deformazione plastica dei solidi cristallini considerando la deformazione plastica non direttamente come un fenomeno macroscopico, ma come il prodotto della ridistribuzione irreversibile su scala atomica della struttura del cristallo. Tali indagini, di carattere eminentemente fisico, furono tuttavia inizialmente basate essenzialmente sui risultati della teoria delle dislocazioni in campo elastico, introdotte ed analizzate da V. Volterra e A. E. H. Love nel primo ventennio dello scorso secolo.

Sorprendentemente, in questo stesso ambito, partendo dalla teoria delle dislocazioni secondo la formulazione di Burgers, basata sui risultati di Volterra e quindi interna alla teoria classica dell'elasticità lineare, i fisici sovietici Frenkel e Kontorowa e, successivamente C. Frank, mostrarono che, a patto di sostituire la velocità delle onde sonore trasversali nel mezzo alla velocità della luce nel vuoto, esiste un'analogia formale tra la dipendenza dalla velocità dell'energia associata ad una dislocazione in moto nel sistema continuo e la classica espressione della variazione della massa-ener-

gia di una particella della Teoria della Relatività. Tale legge di dipendenza ha trovato importanti conferme sperimentali, tra cui l'analisi condotta da Johnston e Gilman su cristalli di litio.

Indipendentemente dalla scoperta del carattere "relativistico" del loro moto di migrazione, la teoria delle dislocazioni fu riformulata da Bilby ed altri nell'ambito di un modello teorico altrettanto tradizionale per la teoria dell'elasticità. Le deformazioni elastiche - e più in generale le deformazioni dei solidi continui - erano state infatti trattate con gli strumenti della geometria riemanniana tridimensionale. In quest'ambito, Bilby, Bullough e Smith, e indipendentemente Kröner, assumendo una distribuzione continua di dislocazioni nel sistema materiale, avevano collegato la densità locale di dislocazioni con la presenza di una torsione nella connessione lineare definita nel corpo e compatibile con la metrica riemanniana. Spostandosi lungo un cammino geodetico, la torsione determina una rotazione nel sistema di riferimento locale determinato dal reticolo cristallino, descrivendo in tal modo l'alterazione dovuta alla presenza di dislocazioni. La torsione è nulla, ovviamente, in assenza di dislocazioni, ossia nel caso di un reticolo (globalmente) perfetto.

Nella prima metà degli anni '70 del XX secolo, R. Baldacci, assieme ad Augusti, Capurro e Daddi, tentò di formulare un nuovo approccio alla teoria delle dislocazioni, ed alla stessa teoria della plasticità, in cui le osservazioni di Frenkel, Kontorowa e Frank in merito all'analogia relativistica venivano assunte come punto di partenza per la formulazione di una teoria di tipo relativistico, mentre la formulazione di Bilby, Bullough, Smith e Kröner veniva assunta come lo strumento matematico per descrivere il campo di dislocazione. Al posto della varietà riemanniana tridimensionale delle classiche descrizioni geometriche della deformazione, Baldacci e i suoi collaboratori assunsero una varietà quadridimensionale, che chiamarono *il microuniverso*, e su cui venivano assunte una metrica lorentziana per rappresentare lo stato di deformazione, ed una connessione non simmetrica, compatibile con la metrica, la cui torsione era rappresentativa del campo di dislocazione.

Dal punto di vista strettamente tecnico, tale approccio produceva, da una parte, il ritrovamento delle classiche equazioni di legame della teoria dell'elasticità valide per un osservatore "esterno" al microuniverso, mentre dall'altra parte sembrava permettere di ricavare le equazioni di plasticità alla Prandtl-Reuss, valide per gli osservatori "interni" al microuniverso. Dal punto di vista storico ed epistemologico, l'intera vicenda legata alla teoria geometrica delle dislocazioni, presenta importanti analogie con il percorso concettuale che condusse, tra la fine del XIX secolo ed i primi due decenni del XX secolo, alla nascita della teoria della Relatività. Il modo in cui viene affrontato il problema della descrizione del campo di tensione collegato ad una dislocazione in movimento nel lavoro di Frank è analogo infatti al tentativo di H. A. Lorentz di provare l'invarianza della velocità della luce

al variare del sistema di riferimento, tentativo che condusse alla formulazione delle leggi di trasformazione spazio-temporali che portano il suo nome.

Conclusione

La riflessione che questa breve nota vuole proporre riguarda le relazioni tra una teoria fisico matematica tipicamente ingegneristica, quale la teoria dell'elasticità, e gli ambiti disciplinari esterni alle scienze ingegneristiche. Queste relazioni hanno sempre avuto doppia polarità: l'elasticità ha saputo utilizzare a proprio vantaggio teorie fisiche e metodi matematici provenienti da altri ambiti scientifici, ma d'altra parte ha fornito a sua volta metodi di indagine fungibili in altre discipline. Se le stesse origini dell'elasticità sono nell'ottica ondulatoria, e la teoria delle dislocazioni nei reticoli cristallini si è avvalsa dei metodi d'analisi propri della teoria dell'elasticità, gli esempi di mutua interazione vanno ben oltre l'orizzonte di interesse dello storico della scienza. Basti citare i recenti sviluppi della teoria dei difetti come soluzioni di equazioni non lineari, o le potenzialità mostrate sia in fisica che in biologia del metodo degli elementi finiti.

Bibliografia

E. WHITTAKER, *A History of the Theories of Aether & Electricity,* Dover, New York, 1989.

V. VOLTERRA, *Sur l'équilibre del corps élastiques multiplement connexes*, Ann. Ec. Norm. Paris, 24, (1907), pp.501-517.

A.E.H. LOVE, *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity,* Dover, New York, 1944.

J.M. BURGERS, *Some Considera-tions on the Fields of Stress Connected with Dislocations in a Regular Crystal-Lattice*, Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wet., 42 (1939), pp. 293-325; pp.378-399.

J. FRENKEL, T. KONTOROVA, *Plastic deformation and twinning*, Phys. Z. Sowjet, 13 (1938), pp.1-10.

R. PEIERLS, T*he Size of a Dislocation*, Proc. Phys. Soc., 52 (1940), pp.34-37.

F.C. FRANK, *On the Equations of Motion of Crystal Dislocations*, Proc. Phys. Soc. A62 (1949), pp.131-134.

F.R.N. NABARRO, *Dislocations in a Simple Cubic Lattice*, Proc. Phys. Soc., 59(1947), pp.256-272.

B.A. BILBY, R. BULLOUGH, E. SMITH *Continuous distributions of dislocations: a new application of the methods of non-Riemannian geometry*, Proc. Roy. Soc. London, A231 (1955), pp. 263-273.

E. KRONER, *Allgemeine Kontinuumstheorie der Versetzungen und Eingenspannungen*, Arch. Rat. Mech. Anal., 4 (1959), pp.294-298.

R. BALDACCI, V. AUGUSTI, M. CAPURRO, *A microrelativistic dislocation theory*, Atti Acc. Naz. Lincei, Mem. Cl. Scienze Fis. Mat., VIII, 15(1979), pp.22-78.

[1] L'esistenza dell'etere non era ipotizzata solo dai sostenitori della teoria ondulatoria. Lo stesso Newton, per esempio, assumeva l'esistenza di un mezzo elastico col quale i corpuscoli luminosi interagiscono creando diversi stati di vibrazione, a seconda della loro diversa forma. Erano tali stati di vibrazione, secondo Newton, a costituire i colori.

[2] Le eccezioni più importanti furono B. Franklin e L. Euler, entrambi sostenitori dell'ipotesi ondulatoria.

[3] Non è un caso che T. Young sia anche uno dei fondatori della teoria dell'elasticità.

DARIO ASSANTE, LUIGI VEROLINO

La scoperta dell'acqua calda (storia dei dispositivi per lo sfruttamento dell'Energia Solare)

Da sempre l'umanità ha attribuito al Sole un ruolo primario nella propria vita: non a caso era una delle divinità più importanti in tutte le principali religioni pagane del mondo antico.

L'uomo ha cercato di utilizzare, in modo più empirico che scientifico, l'energia solare fin dai tempi più antichi. La città greca di Mileto, ricostruita nel 479 a.C. orientando tutte le case a sud, in modo da garantire il massimo irraggiamento solare agli edifici, è il primo esempio storicamente documentato di "città solare".



Fig. 1 – Pianta dell'antica "città solare" di Mileto

È possibile ritrovare la stessa struttura urbanistica utilizzata a Mileto anche nelle rovine delle città greche di Olinto e Priene.

D'altra parte l'utilizzo dell'energia solare nell'edilizia era una pratica abbastanza diffusa nell'antichità: Senofonte nei *Memorabilia* riporta un dialogo dove Socrate descrive le caratteristiche e le tecniche per la realizzazione della "casa solare". Tra realtà e leggenda si attribuisce ad Archimede l'impiego di grandi specchi ustori, in grado di concentrare la radiazione solare, per difendere la città di Siracusa dalla flotta romana. Scritti sull'architettura solare si trovano nel trattato *De Architectura* di Vitruvio.

Dopo i secoli bui del medioevo, si ritrovano degli studi sull'energia solare negli scritti di Leonardo da Vinci, che nell'ultima parte della sua vita cominciò a costruire un gigantesco specchio per l'impiego dell'energia solare per applicazioni industriali. Lo scienziato padovano Giovanni Magini Padova utilizzò uno specchio sferico per la fusione dei metalli. Una celebre disputa sugli specchi di Archimede coinvolse gli scienziati Jerome Cardano, Bonaventura Cavalieri Gian Domenico Cassini e Giovan Battista Della Porta, nonché lo stesso Galileo Galilei. L'energia solare perse di interesse con l'avvento della rivoluzione in-

dustriale, in quanto la nuova energia derivante dal vapore risultava ben più semplice da produrre e da utilizzare. Nella città moderna, avvolta nel fumo e sempre più densamente abitata, fra edifici sempre più alti, il Sole fa fatica a penetrare.

Solo dopo due secoli, in seguito alla crisi petrolifera del 1973, ci si renderà conto della limitata disponibilità di combustibili fossili e si inizierà a guardare con forte interesse alle fonti di energia alternative e rinnovabili. In tale contesto l'uomo sta cercando di recuperare il rapporto di sinergia che ha avuto con il Sole per secoli e che ha dimenticato forse troppo rapidamente.

Le tecniche principali attualmente utilizzate per lo sfruttamento dell'energia solare si basano essenzialmente su due tecnologie radicalmente diverse fra loro: quella dei pannelli solari, che consentono di accumulare l'energia solare sotto forma di calore, e quella dei pannelli fotovoltaici, che consente di ottenere direttamente energia elettrica da quella solare.

Alla scoperta dell'acqua calda

Da un punto di vista storico il pannello solare fu inventato prima di quello fotovoltaico. Si ritiene che il primo pannello solare sia stato costruito nel 1767 dallo scienziato svizzero Horace Benedict de Saussure. Egli realizzò una scatola di legno (ribattezzata "forno solare") con la base di colore nero ed un vetro sul lato esposto al sole: in tal modo era possibile intrappolare la radiazione solare termica nella scatola stessa grazie a un locale "effetto serra" e alla scarsa dispersione dovuta alle caratteristiche termiche del legno. Il pannello consentiva di raggiungere temperature di circa 87 ºC.

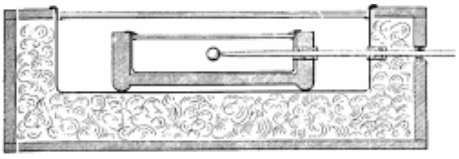


Fig.2 – Disegno di un "forno solare"

Dal 1860 in poi, lo scienziato francese Auguste Mouchout, preoccupato dalla dipendenza del suo paese da carbone, sperimentò una serie di invenzioni che utilizzavano il pannello solare di de Saussure per la produzione di energia meccanica. Nel 1861 riuscì a brevettare il primo motore funzionante ad energia solare e lo perfezionò nel successivo ventennio: Napoleone III fu impressionato dall'invenzione al punto da finanziarne la realizzazione su scala industriale. L'inventore riuscì a realizzare, dopo vari sforzi, un motore con un concentratore con una superficie captante di circa 20 m^2, in grado di produrre poco più di 1 kW. Nello stesso periodo tuttavia la Francia si dotò di un moderno sistema di trasporto del carbone ed ottenne dall'Inghilterra dei prezzi d'acquisto più vantaggiosi, per cui la macchina di Mouchout perse di interesse… ed egli perse i finanziamenti!

Altri successi scientifici nel campo del solare termico si ebbero negli anni successivi. Fra i tanti è doveroso citare il primo motore solare con concentratore parabolico, realizzato nel 1872 dal famoso inventore svedese John Ericsson,

e la costruzione della prima torre a concentrazione, nel 1878 ad opera dell'inglese William Adams.

Pochi anni dopo, nel 1891, l'americano Clarence Kemp brevettò il primo impianto commerciale per la produzione di acqua calda tramite energia solare. Il dispositivo ebbe un grande successo: a soli sei anni dalla sua realizzazione lo si poteva trovare su almeno un terzo delle case di Pasadena, in California.



Fig.3 – Annuncio pubblicitario, risalente al 1891, del primo pannello solare di Kemp

Nel 1935, sempre negli Stati Uniti, fu costruito il primo edificio in cui il riscaldamento veniva integralmente realizzato tramite collettori solari.
Negli anni '50 si ebbe una notevole diffusione dei pannelli solari, come testimoniano gli oltre 50.000 piccoli impianti realizzati in quel periodo negli Stati Uniti (per lo più in Florida e California), grazie alla introduzione di nuove tecnologie che ne miglioravano l'efficienza. Nello stesso periodo un altro paese iniziò ad investire ingenti capitali nell'energia, diventandone uno fra i maggiori "utenti" a livello mondiale: il Giappone. In quel periodo si possono contare oltre 250.000 nuove istallazioni nel paese del "Sol Levante".

Un nuovo forte impulso allo sviluppo dei pannelli solari si ebbe con la crisi petrolifera agli inizi degli anni '70.



Fig.4 – Pubblicità di pannelli solari il Giappone negli anni '50

Negli ultimi decenni si è assistito ad un forte sviluppo del solare termico, grazie alle migliori prestazioni offerte dai vari impianti e ad una maggiore sensibilità dei paesi industrializzati verso i problemi ambientali.

I moderni collettori solari, con un ingombro ridotto (in media di 4-6 m^2) ed un serbatoio di 150-300 litri, consentono di produrre acqua calda a "bassa" temperatura (55-65 °C), utile a soddisfare il fabbisogno termico di una piccola utenza domestica.

La disponibilità di nuove tecnologie per la costruzione di edifici consente di utilizzare i pannelli solari per la climatiz-



Fig. 5 – Un moderno collettore solare

zazione invernale e estiva di abitazioni e edifici. A Friburgo, città all'avanguardia nello sfruttamento dell'energia solare, il Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems sta sperimentando da anni un nuovo tipo di abitazione climatizzata tutto l'anno con sola energia solare.

Elettroni spinti dal Sole

L'altro principale dispositivo che consente lo sfruttamento dell'energia solare è il pannello fotovoltaico. Le prime scoperte che poi porteranno allo sviluppo dei pannelli fotovoltaici risalgono alla metà dell'Ottocento, circa 50 anni dopo le prime scoperte sui pannelli solari.

Nel 1839 Edmond Becquerel, a soli diciannove anni, scoprì l'effetto fotovoltaico durante alcuni esperimenti con celle elettrolitiche, osservando il formarsi di una differenza di potenziale fra due elettrodi identici di platino, uno illuminato e l'altro al buio.

Un passo fondamentale fu la scoperta, del tutto casuale, da parte dall'inglese Willoughby Smith, un ingegnere di un'industria chimica di gomma. Egli nel 1873 accidentalmente scoprì che il selenio, esposto a radiazione luminosa, cambiava le sue proprietà elettriche, passando da isolante a conduttore. In quel periodo l'elettromagnetismo era di moda nei laboratori di fisica; alla scoperta di Smith seguirono numerosi studi sulle proprietà semiconduttrici del selenio e sul suo possibile impiego per produrre energia elettrica. Fra questi, meritevoli di menzione sono le pubblicazioni del professor Antonio Pacinotti nel 1864. La spiegazione scientifica dell'effetto fotovoltaico si ebbe nel 1917 ad opera degli americani Kennard e Dieterich. Negli stessi anni fu prodotto il primo pannello fotovoltaico, che comunque aveva un rendimento di circa l'1% e sembrava più che altro una curiosità da laboratorio.

I pannelli fotovoltaici hanno acquisito dignità ed interesse applicativo negli ultimi cinquanta anni, quando c'è stata una vera rivoluzione tecnologica nella produzione di tali dispositivi, grazie all'avvento del silicio. Nel 1953 Gerald Pearson, fisico dei laboratori Bell, studiando le applicazioni del silicio in elettronica, riuscì a realizzare una cella solare a silicio molto più efficiente di quelle tradizionali in selenio. Altri due scienziati della Bell, Darryl Chapin e Calvin Fuller, migliorarono la scoperta di Pearson e realizzarono la prima cella con un rendimento del 6 %, in grado di alimentare dispositivi elettrici di uso quotidiano. L'effetto di queste scoperte sull'opinione pubblica è racchiuso in un articolo che il New York Times pubbli-

cò il 26 aprile 1954 in prima pagina, profetizzando "*l'inizio di nuova era, che porterà probabilmente alla realizzazione di uno dei sogni maggiormente accarezzati dalla mente umana, utilizzare la pressoché infinita energia del Sole al servizio della civiltà*".

Effettivamente in pochi anni gli scienziati della Hoffmann Electronics portarono l'efficienza dei pannelli al 14 %. Nel frattempo, fra lo scetticismo dei militari, il 17 marzo 1958 entrava in orbita il satellite spaziale Vanguard I, primo al mondo ad essere dotato di pannelli fotovoltaici.

La nuova fonte di energia si dimostrò affidabile e longeva, erogando energia per 7 anni, un risultato incredibile per l'epoca. Non c'è da meravigliarsi quindi se, nel giro di pochi anni, sia gli americani che i russi avevano in orbita satelliti spia alimentati da pannelli fotovoltaici.

Nel 1963 la giapponese SHARP produsse i primi moduli fotovoltaici commerciali. Pochi anni dopo Shurland propose l'utilizzo del solfuro di cadmio, realizzando la prima cella a base di questo materiale nel 1967. Negli anni '70 furono invece sviluppate le celle ad arseniuro di gallio, prima nell'ambito delle applicazioni spaziali e poi anche per scopi commerciali. Venne inoltre sviluppata una tecnica per produrre silicio policristallino, meno costoso di quelli per il monocristallino. Le celle di silicio amorfo furono invece realizzate in modo casuale nel 1976 da Carson, raggiungendo inizialmente un modesto rendimento del 5,5 %.

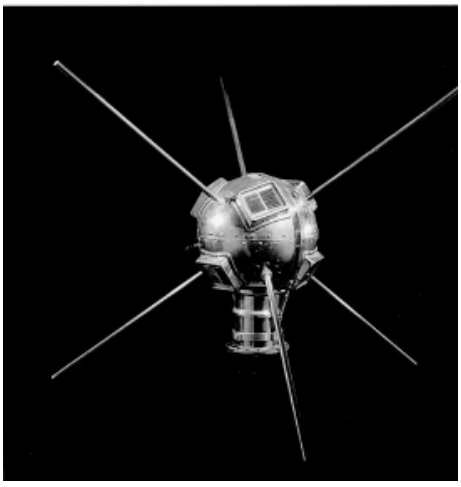


Fig. 6 – Il satellite Vanguard I

Con lo sviluppo tecnologico, si moltiplicarono a dismisura le applicazioni dei pannelli fotovoltaici. Nel 1974 l'ingegner Johh Oades progettò un ripetitore a bassissima potenza, che poteva essere alimentato anche solo da pannelli fotovoltaici. Ciò consentì di evitare problematici trasporti di carburante o batterie per alimentare ripetitori nelle impervie zone montane del West degli Stati Uniti e le popolazioni dei piccoli paesi smisero di percorrere grandi distanze per poter effettuare una telefonata interurbana. Nel decennio successivo i pannelli fotovoltaici diventarono la principale fonte energetica per gli impianti remoti di telecomunicazioni in tutto il mondo.

Nel 1977 il capitano Lloyd Lomer, della Guardia Costiera statunitense, sperimentò i pannelli fotovoltaici per alimentare le boe isolate e i fari costieri. Oggi la maggior parte degli ausili per la navigazione in tutto il mondo funziona in questo modo.

Sempre negli anni ‘70 il padre missionario Bernard Verspieren, a seguito di una grande siccità che colpì la regione del Sahel in Africa, avviò un programma di pompaggio fotovoltaico per attingere acqua dalle falde acquifere. A quei tempi, in tutto il mondo c’erano meno di dieci pompe fotovoltaiche. Oggi ce ne sono decine di migliaia.

In Germania, paese in prima linea nell’utilizzo dell’energia solare si svolge annualmente un campionato “solare” per Comuni: la “Solarbundesliga” (www.solarbundesliga.de). Questo campionato è simile a quello calcistico, dove però i punti vengono attribuiti ad ogni Comune secondo lo stato di “solarizzazione” raggiunto: ad esempio ogni 3 watt di potenza fotovoltaica installata e ogni decimetro quadrato di solare termico valgono un punto. La città di Friburgo, che fa parte della classe dei Comuni con più di 100.000 abitanti, nel 2003 è risultata prima con ben 12 punti, grazie a 8.379 m^2 di collettori solari e 2.887 kW di potenza fotovoltaica installati.

Nei paesi in via di sviluppo oltre due miliardi di persone vivono prive di elettricità, a causa dell’elevato costo di installazione delle linee elettriche. Tuttavia, in molte isole della Polinesia francese, nelle zone rurali del Kenya, nella Repubblica Dominicana e nel Centroamerica, migliaia di persone alimentano lampadine, televisori e radio con l’energia solare.

L’affidabilità e la versatilità del fotovoltaico in ambiente terrestre e spaziale (la stazione spaziale non esisterebbe senza pannelli fotovoltaici) hanno impressionato molti esperti dell’industria elettrica e delle telecomunicazioni. Oggi la Banca Mondiale e molti organismi internazionali ritengono che le celle solari “abbiano un ruolo importante e sempre crescente nella fornitura di servizi elettrici nelle aree rurali dei paesi in via di sviluppo”.

I mezzi di trasporto

Con lo sviluppo dei pannelli fotovoltaici, presto furono realizzati dei mezzi di trasporto alimentati ad energia solare.

La prima auto elettrica alimentata a celle fotovoltaiche venne presentata in occasione della Fiera di Roma del 1960. Negli anni si è spesso parlato di auto solari, ma in realtà la resa dei pannelli ha sempre limitato l’autonomia di questi veicoli. Oggi c’è tuttavia una continua ricerca scientifica in questo settore, come testimonia l’istituzione del World Solar Challenge (www.wsc.org.au), corsa automobilistica a tappe riservata ad auto alimentate da pannelli fotovoltaici.



Fig. 7 – Nuna II, la vincitrice dell’edizione 2003 del World Solar Challenge

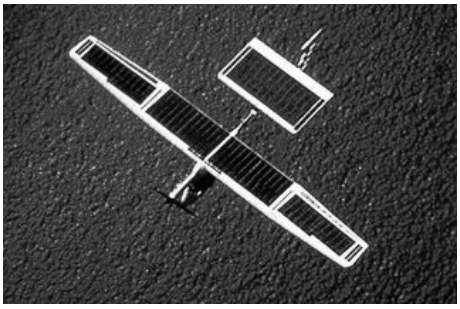


Fig. 8 – Il Solar Challenger sorvola la Manica

Nel 1981 il Solar Challenger fu il primo aereo completamente alimentato da energia solare ad attraversare la Manica, percorrendo 240 km a 4000 metri d'altezza.

In campo aeronautico, dopo il Solar Challenger sono stati sviluppati diversi modelli di aerei, con e senza pilota, alimentati ad energia solare. Fra questi, il più grande modello è l'Helios, realizzato dalla NASA nel 1995. Ha un'unica ala lunga 62,3 m, interamente ricoperta da pannelli fotovoltaici, è spinto da 14 motori elettrici da 2,2 Kw, che consentono di trasportare 270 Kg alla velocità massima di 33 Km/h.

In campo nautico le applicazioni di pannelli fotovoltaici non mancano. Nel 2007 il catamarano "sun21" è stata la prima imbarcazione interamente alimentata ad energia solare ad effettuare la traversata dell'oceano atlantico, percorrendo oltre 7000 miglia. Non si è trattato solo di un esperimento isolato: già da anni infatti la società australiana "Solar Sailor" commercializza barche alimentate ad energia solare.

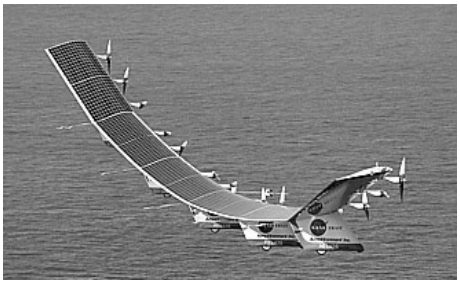


Fig. 9 – L'Helios in volo

Le grandi centrali

Il progressivo sviluppo di pannelli solari e celle fotovoltaiche ha portato alla creazione di impianti di produzione dell'energia elettrica basati su tali tecnologie. I primi impianti, vista l'impossibilità di ottenere grandi potenze, sono stati realizzati su tetti di grandi edifici.

Negli anni '80 l'ingegnere svizzero Markus Real dimostrò la validità della generazione distribuita installando pannelli fotovoltaici in moduli da tre kW su 333 tetti di Zurigo. Ciò tuttavia non scoraggiò la costruzione di grandi centrali solari, in quel periodo realizzate più che altro a scopo dimostrativo o sperimentale.

Con il crescere della resa, man mano sono stati realizzati impianti di potenze e dimensioni sempre maggiori. Sul sito www.pvresources.com/en/top50pv.php è possibile trovare la classifica dei più grandi impianti fotovoltaici al mondo. Il primo impianto al mondo è stato inaugurato nel 2007 a Beneixama (Spagna) e produce 20 MW. Questo è solo il fiore all'occhiello della politica energetica spagnola, che ha portato nel solo 2007 all'inaugurazione di ben 10 nuovi impianti per circa 80 MW di potenza istallata.

Fra i tanti impianti in costruzione merita certamente una menzione la gigantesca centrale che sarà ultimata nel

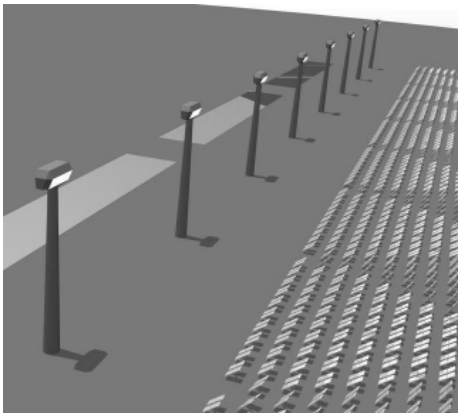


Fig. 10 – Raffigurazione della centrale in costruzione in Australia

2013 in Australia (ma una prima parte già dovrebbe essere inaugurata nel 2010), basata su un innovativo uso di specchi a concentrazione e sull'impiego di pannelli di ultima generazione. A regime sarà istallata una potenza di 154 MW che potrà soddisfare il fabbisogno di circa 45000 abitazioni, con un risparmio di circa 396000 tonnellate di CO_2 l'anno.

In realtà il record della centrale australiana è stato battuto prima ancora del sul completamento. È di questi mesi la notizia che la PG&E Corporation, il maggiore produttore americano di energia solare, ha annunciato la costruzione nel 2009 di un nuovo impianto nel deserto della California. La tecnologia impiegata sarà basata su pannelli solari termici a concentrazione, per un totale di 177 MW installati.

La situazione italiana

L'Italia, grazie alla sua posizione geografica, è uno dei paesi europei che maggiormente potrebbe beneficiare dell'energia solare. In effetti, le prime ricerche per il riscaldamento solare dell'acqua furono effettuate in Italia agli inizi degli anni '60 dal Politecnico di Milano nell'ambito di un programma finanziato dal CNR, che si concretizzò con la sperimentazione di impianto a Cortina d'Ampezzo. Dopo la crisi petrolifera del 1973 il CNR cominciò a produrre celle solari, mentre vennero fondate la Solare S.p.a e la Helios Technology (inizialmente Secies).

I primi modelli di scaldacqua solari commerciali vennero introdotti nel 1975, ma fu solo negli anni '80 che si diffusero grazie ad un programma dell'ENEL, che promosse l'installazione di 100.000 m^2 di collettori solari. Il programma tuttavia non ebbe il successo sperato per l'assenza di riferimenti normativi.

Nel 1979, al Passo della Mandriola, nella comunità dell'appennino Cesenate, venne installato il primo impianto fotovoltaico italiano da 1 kW, frutto di una collaborazione tra l'istituto LAMEL del CNR, l'ENEL, la Riva Calzoni e la Helios Technology. Nel 1981 venne invece inaugurata la centrale solare Eurialos di Adrano, in provincia di Catania. Si trattava di un avveniristico impianto con specchi rotanti, occupava un'area di 6200 metri quadri e avrebbe dovuto produrre 1 MW. La produzione reale dell'impianto fu inferiore alle aspettative, circa 750 kW, causandone la chiusura nel 1987.

Il 13 dicembre 1986 l'ENEA inaugurò presso Manfredonia il DELPHOS (Demonstrative Electrical PHotovoltaic System), il più grande impianto foto-

voltaico mai costruito in Europa. L'impianto, tuttora in funzione, occupa 4200 m^2 ed ha una potenza nominale di 300 kW.

Grazie a queste attività, negli anni '90 l'Italia era ai primi posti in Europa per la potenza installata in impianti fotovoltaici, e nel 1993 nacque il Piano Fotovoltaico Nazionale, al quale parteciparono, tra gli altri, l'ENEA, l'ENI Eurosolare e l'Helios Technology.

Sempre seguendo la via dei grandi impianti, nel 1995 è stata inaugurata la centrale fotovoltaica di Serre, in provincia di Salerno. Occupando 26500 m^2, con una potenza installata di 3,3 MW, è stato per anni il più grande impianto d'Europa (fra i vari problemi connessi all'impianto, si deve segnalare la denuncia di ENEL del furto di oltre 6000 pannelli, il 10 % di quelli istallati).

Gli aspetti che hanno suscitato perplessità nella realizzazione di questi grandi impianti sono l'elevato ingombro e l'elevato investimento richiesto per la realizzazione, non appagati da un ritorno economico (il costo del kWh prodotto da fotovoltaico è ben superiore a quello prodotto dalle fonti tradizionali) e nemmeno da un reale beneficio in termini di energia non prodotta da combustibili fossili. La grande centrale di Serre soddisfa il fabbisogno energetico di appena 1000 appartamenti. Ciò ha suggerito a molti governi, fra cui quello italiano, ad incentivare la produzione da fotovoltaico e da solare termico di tipo distribuito, direttamente su edifici esistenti o in costruzione. In tal modo si evita anche il trasporto dell'energia dalle centrali alle utenze.



Fig. 11 – Immagine della centrale di Serre

Da tali presupposti nacque il progetto Italiano "10000 tetti fotovoltaici", operativo dal 1999 al 2004, grazie al quale era possibile ottenere incentivi statali per la nuova realizzazione di impianti di piccola taglia. Lo sforzo economico dello stato (circa 250 milioni di euro) non ha portato tuttavia ad un vera diffusione di pannelli solari nel paese. Basti pensare che, se agli inizi degli anni '90 l'Italia era ai primi posti in Europa per energia prodotta da fotovoltaico, all'inizio del duemila la Germania vantava una produzione circa dieci volte maggiore di quella italiana, principalmente grazie al programma tedesco "100000 tetti fotovoltaici"!

Le cose negli ultimi anni non sono andate meglio. Mentre in Italia si è passati da 46,3 MW istallati nel 2005 a 57,9 MW nel 2006, in Germania nello stesso periodo si è passati da 1910 MW a 3063 MW. Per fare recuperare al paese il ritardo accumulato, il governo italiano ha presentato nel 2005 un nuovo programma di incentivi, denominato "Conto Energia", corretto poi nel 2007, con l'obiettivo di realizzare nuove installazioni per 1200 MW. Anche in questo

caso si tratta di fondi erogati per installazioni su singole utenze, ma in questo caso gli incentivi vengono erogati in base all'energia realmente prodotta e non per la sola istallazione dei pannelli. Lo stato di avanzamento del progetto può essere seguito costantemente sul sito http://atlasole.gsel.it/viewer.htm. Il dato positivo che emerge da un'analisi dei dati presenti sul sito è che il programma ha portato nel solo 2007 all'istallazione di circa 9,5 MW. Osservando però la dislocazione degli impianti sul territorio si scopre incredibilmente che nella nordica provincia di Bolzano sono stati istallati ben 59 nuovi impianti per un quasi 1 MW di potenza, mente nelle soleggiate province di Trapani e Reggio Calabria non è stato realizzato alcun impianto!

In aggiunta a questo progetto, l'attuale governo ha in animo di riprendere la costruzione di grandi centrali solari, soprattutto per la spinta di alcuni partiti della maggioranza e per questioni d'immagine internazionale. Nel 2008 nascerà a Montalto di Castro un nuovo impianto fotovoltaico da 6 MW, il più grande impianto Italiano ed il settimo in Europa in ordine di potenza. Occuperà 10 ettari nei pressi della mai completata centrale nucleare e richiederà un investimento statale di 30 milioni di euro.

Di diversa natura è invece la centrale che nascerà a Priolo, vicino Siracusa, nell'ambito del progetto Archimede, promosso da ENEL ed ENEA e fortemente voluto dal premio Nobel Carlo Rubbia. Il progetto, iniziato nel 2004 e portato avanti con diversi problemi (fra cui le polemiche dimissioni di Rubbia dalla presidenza dell'ENEA, proprio a causa della gestione del progetto) dovrebbe portare alla realizzazione di una "centrale solare termoelettrica" sperimentale da 20 MW (anche se per ora ci sono fondi solo per 5 MW). L'aspetto innovativo risiede nell'utilizzo di un particolare fluido termovettore (nitrati di sodio e di potassio fusi) nelle tubazioni riscaldate dagli specchi, al posto del tradizionale olio sintetico. Ciò dovrebbe consentire di raggiungere temperature del fluido di circa 550 °C e rendimenti interessanti. Il successo di tale progetto potrebbe aprire una nuova strada allo sfruttamento efficiente dell'energia solare, tanto che la Spagna ha accolto a braccia aperte l'esule Rubbia e gli ha fornito tutti i mezzi per portare avanti il suo progetto in Andalusia, dove nascerà un impianto da 150 MW con la stessa tecnologia.

Questo dovrebbe far riflettere sul fatto che il nostro paese ha ottime possibilità di sfruttare l'energia solare in tantissime forme, ma probabilmente non ha una sufficiente maturità politica per compiere determinate scelte.

FRANCESCO BRANDA

Breve storia della chimica

Sintetizzare in una memoria breve la storia della Chimica che, per le innumerevoli tecnologie mutuate, si intreccia e si confonde con quella dell'Ingegneria, è impresa ardua. Nell'ultimo secolo lo sviluppo delle conoscenze chimiche ha avuto un'accelerazione formidabile che ha portato ad una suddivisione in altre discipline: Chimica Teorica, Organica, Chimica Fisica, Elettrochimica… Questo sviluppo vertiginoso ha il suo prologo essenziale in quel lentissimo e laborioso processo, durato un paio di millenni, che ha trasformato la Khemeya degli antichi nella Chimica Moderna.

Il periodo antico

La parola Khemeya, da cui il termine Chimica deriva, ha due possibili etimologie. Secondo alcuni deriverebbe dal nome usato dagli Egiziani per indicare la propria terra, Kham; secondo altri deriverebbe dal termine greco Khumos (χυμος) che significa succo di pianta e farebbe pertanto riferimento ai processi di fermentazione agli antichi ben noto. In ogni caso ci ricorda che nel mondo antico la Chimica si identificava con quel complesso di conoscenze empiriche di grande interesse applicativo, riguardanti le trasformazioni in cui le sostanze cambiano la propria natura, particolarmente sviluppato in Egitto.

Non sappiamo quale sia stata la prima scoperta chimica. Quella del fuoco, avvenuta agli albori dell'umanità, ci ricorda che le origini della Chimica sono antichissime. La necessità di produrre luce e calore costrinse l'uomo ad escogitare sistemi che permettessero al legno o ad altri combustibili di combinarsi con l'aria a velocità abbastanza elevata da avere la fiamma. Soprattutto, la scoperta del fuoco fornì all'uomo uno dei "metodi chimici" che ancor oggi è tra i più importanti per provocare altre trasformazioni: il calore poteva essere utilizzato per cuocere i cibi e renderli più commestibili ma poteva essere utile per cuocere l'argilla ed ottenere mattoni o vasellame o per produrre ceramica, smalti, vetro.

Il fuoco consentì di introdurre in maniera massiva nella civiltà umana l'uso dei metalli. I primi ad essere utilizzati, infatti, furono rame ed oro rinvenibili, anche se raramente, in pepite. Non a caso la parola metallo deriverebbe dal termine greco metallao (μεταλλαω) che significa cercare. L'uomo, certamente, apprezzò la proprietà della malleabilità che consente di ridurre i metalli, per semplice battitura, in lamine sottilissime dai bordi fortemente taglienti, facilmente rigenerabili. Con l'ausilio del fuoco fu, però, possibile ottenere rame da minerali dal caratteristico colore azzurrognolo, molto più diffusi sulla crosta terrestre. Un poco dopo (3000 a.C.) qualcuno ottenne il bronzo cuocendo mescole di

minerali di rame e stagno. Nel 1500 a.C. un'altra scoperta era destinata ad influenzare fortemente il corso della storia. In Asia Minore qualcuno scoprì che altri minerali (ferrosi), cotti nella più calda fiamma di carbone (che è costituito essenzialmente di carbonio), fornivano un materiale dalle superiori proprietà: si trattava di ferro rivestito di una lega di ferro e carbonio, cioè acciaio. L'impatto sul corso della storia fu tremendo: i superiori armamenti consentirono agli Ittiti di fondare un impero in Asia Minore, ai Dori di invadere la Grecia e, nel 900 a.C., agli Assiri di fondare il loro impero.

Furono comunque gli Egiziani a dare grande impulso alla Khemeya non solo nel campo della metallurgia ma anche nella produzione di pigmenti e nell'estrazione di succhi ed infusi.

Nel VI secolo a.C. nacque, nel mondo greco, la Chimica Teorica, destinata a rimanere, per un paio di millenni, allo stato embrionale ed alquanto confuso. I filosofi greci si interrogavano sul significato delle trasformazioni della materia e pervennero al concetto di elemento. Empedocle e poi Aristotele immaginarono che alla base della costituzione dell'universo ci fosse un numero limitato di elementi. Secondo Empedocle gli elementi erano quattro: aria, acqua, terra e fuoco. Ad essi Aristotele aggiunse l'"etere". Anche se si sarebbe dovuto attendere altri due millenni per avere una definizione corretta di "elemento chimico" si trattava del primo importante passo nella comprensione della natura dell'universo. Nel IV secolo a.C. Democrito, speculando sul problema della divisibilità della materia, fece l'ipotesi destinata a divenire, due millenni più tardi, la pietra angolare della Chimica: la materia sarebbe costituita di particelle estremamente piccole ed indivisibili che chiamò atomi (ατομος = indivisibile).

Alla fine del IV secolo l'abilità egiziana nel campo delle applicazioni della chimica e la conoscenza greca della teoria si incontrarono e si fusero: sotto il regno di Tolomeo, uno dei generali di Alessandro Magno, fu edificato ad Alessandria d'Egitto un tempio dedicato alle Muse (il Museo) che serviva da istituto di ricerca e da università; annessa al Museo fu costituita la più grande biblioteca del mondo antico. Un grande impulso fu dato allo studio dei metalli. La teoria degli elementi consentiva di ipotizzare che qualunque trasformazione fosse possibile. I cultori della khemeya si convinsero, in particolare, che fosse possibile trasformare ferro e piombo in oro.

L'Alchimia

Presso gli Egiziani la Khemeya era intimamente legata alla religione. Ciò contribuì a conferire alla disciplina un carattere esoterico che, unitamente al legame della Khemeya con la religione egiziana pagana ed ai timori per le possibili nuove scoperte, determinarono l'avversione da parte del Cristianesimo e di taluni imperatori. L'imperatore Diocleziano, ad esempio, preoccupato che dalla trasmutazione in oro di metalli vili potessero derivare vantaggi per l'Egitto e conseguenze negative sull'economia

dell'impero, ordinò la distruzione di tutti gli scritti dedicati alla Khemeya. Molti libri furono salvati dalla setta cristiana dei Nestoriani che, perseguitati dai cristiani ortodossi di Costantinopoli, fuggirono in Persia trasportando lì la cultura della Khemeya. In Persia, nel VII secolo, gli Arabi, in forte espansione dopo la conversione alla nuova religione fondata da Maometto, conobbero la Khemeya che ribattezzarono Al-Kimiya, premettendo l'articolo determinativo al nome della scienza. Col termine Alchimia che ne deriva si indica la disciplina nel periodo dal 300 a.C. al 1600 d.C.

Il più grande degli alchimisti arabi fu Giabir ibnHayyan, noto come Geber (760-815) che ottenne l'acido acetico per distillazione dell'aceto e riuscì a preparare soluzioni diluite di acido nitrico. Sulla base delle teorie di Aristotele, egli riteneva che la trasmutazione dei metalli richiedesse la scoperta di una polvere secca che, dalla parola greca ξερος (xeròs = asciutto), chiamò al-iksir, che gli europei tradussero elisir. La sua ipotetica natura asciutta e terrosa le valse anche il nome di "pietra filosofale". Questa sostanza doveva godere anche di altre portentose proprietà, tra cui quella di curare le malattie e, forse, conferire l'immortalità (elisir di lunga vita). Infatti i campi di studio dell'alchimia erano due: quello mineralogico, il cui obiettivo più ambito era la produzione dell'oro, e quello medico mirante alla scoperta della panacea universale. Importanti contributi furono dati da Rhazes che descrisse la preparazione del gesso da presa ed il suo impiego per l'immobilizzazione delle fratture e poi dal famosissimo Avicenna.

Le crociate e la costituzione di regni cristiani in Terrasanta determinarono, a partire dal 1200 d.C., la riscoperta della disciplina da parte degli studiosi europei. Alberto Magno (1200-1280), Arnoldo da Villanova (1235-1311), Raimondo Lully (1235-1315),ed il "falso Geber" (inizi XIV sec.), di cui non si conosce la vera identità, diedero importanti contributi. In particolare va ricordata la preparazione di soluzioni concentrate di acido nitrico e solforico che, portando in soluzione molte sostanze che non si scioglievano nelle soluzioni debolmente acide fino allora note, permisero di scoprire molte nuove reazioni. Lo studio dell'alchimia, ancora connotata da un forte carattere esoterico, fu nuovamente proibito ma la scienza fu salvata dall'invenzione della stampa, che, sopperendo alla mancanza di volenterosi disposti ad affrontare la laboriosa fatica di ricopiare i testi, ha salvato dall'estinzione molte teorie rifiutate dai contempranei. Nel sec.XVII vissero gli ultimi grandi alchimisti: Georg Bauer (1494-1541), conosciuto meglio col nome di Agricola, autore del "De Re Metallica" che rimase fino al 1700 il testo più importante di tecnologia chimica; Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541), conosciuto meglio come Paracelso, convinto che la ragion d'essere dell'alchimia fosse la preparazione di medicine per la cura delle malattie; Andreas Libau (1540-1616), conosciuto come Libavio, autore del volume "Alchimia" che può già essere con-

siderato un testo di chimica, chiaro e scevro di qualunque carattere mistico, contenente conoscenze in gran parte acquisite dagli alchimisti nella loro ricerca della pietra filosofale. Gli alchimisti, infatti, si erano comportati come quegli eredi cui era stata data la falsa notizia di un tesoro nascosto in giardino. Il tesoro non era stato trovato ma l'attività di scavo aveva avuto notevoli effetti benefici sul giardino.

La transizione

Il secolo XVII fu per le scienze sperimentali un secolo di svolta. I tempi erano maturi per l'applicazione delle idee di Ruggero Bacone (1214-1292) secondo il quale per aspirare al progresso era necessario fondarsi sull'esperienza ed applicare alla scienza metodi matematici. Ciò consentì a Galileo Galilei (1564-1642) ed Isaac Newton (1642-1727) di fondare la Fisica Moderna. Per la Chimica il processo fu più lento ed i secoli XVII e XVIII furono secoli di transizione. Nel campo della Chimica era, infatti, più difficile rappresentare l'oggetto della ricerca in maniera da permettere l'impiego del linguaggio matematico.

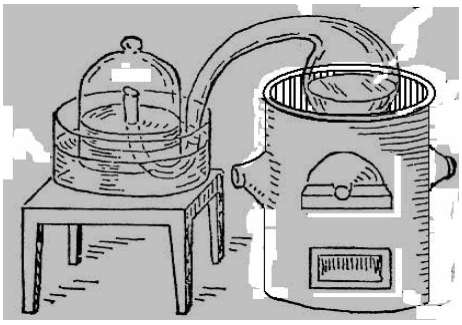


Fig . 1 - Metodo di raccolta dei gas su mercurio

Molto spesso gli alchimisti ottenevano, nel corso dei loro esperimenti, vapori o "arie", sostanze sfuggenti che era difficile studiare ed osservare. Questo problema trovò una soluzione grazie a Stephen Hales (1677-1761) che inventò il metodo della raccolta dei gas sull'acqua. I vapori ottenuti in una reazione venivano convogliati, con un tubo, in un vaso capovolto in un recipiente pieno d'acqua: i gas gorgogliavano verso l'alto rimanendo intrappolati sopra l'acqua. Il metodo fu poi perfezionato sostituendo l'acqua, in cui alcuni gas si sciolgono eccessivamente, con il mercurio. La Fig.1 illustra il metodo così come fu applicato da Joseph Priestley in un esperimento che consentì di scoprire l'ossigeno: una "calce" (che oggi chiameremmo ossido di mercurio) ottenuta per riscaldamento all'aria di mercurio, produceva, per riscaldamento a più alta temperatura, nuovamente mercurio ed un gas che egli raccoglieva col metodo di Hales. Priestley aveva così isolato l'ossigeno.

In questo periodo emerge la figura di Robert Boyle (1627-1691), che sviluppando il lavoro di Evangelista Torricelli (1608-1647) secondo cui l'aria esercita una pressione, dimostrò la celebre legge a lui intitolata: il volume di un campione d'aria varia con la pressione secondo una legge di proporzionalità inversa (a temperatura costante). La grande comprimibilità dei gas avvalorava la teoria atomica di Democrito, che fece così i suoi primi proseliti: le variazioni di volume erano dovute all'eliminazione degli spazi vuoti ed il conseguente avvi-

cinamento degli atomi. Nel 1661 Boyle pubblicò il libro *The Sceptical Chymist*. Boyle era insoddisfatto dei tentativi compiuti per individuare gli elementi dell'universo per mezzo del semplice ragionamento. Egli propose un approccio sperimentale e pervenne ad una definizione moderna di elemento chimico: elementi sono le sostanze che, con i normali metodi chimici, non possono essere decomposte in altre sostanze. Era il rifiuto del ragionamento di tipo deduttivo e l'affermazione della necessità, nel campo della Chimica, del ragionamento di tipo induttivo.

Il periodo di transizione fu ricco di risultati. Grazie al metodo di Hales furono isolati molti gas e ci si accorse che l'aria non era un elemento ma bensì una miscela di più gas. Furono isolati l'azoto, l'ossigeno, l'anidride carbonica, l'idrogeno, l'ammoniaca, l'ossido d'azoto, l'acido cloridrico e l'anidride solforosa.

Altro impulso importante fu dato da Axel Friederic Cronstadt (1722-1765) che introdusse, nello studio dei minerali, l'uso del cannello che per un secolo fu uno degli strumenti chiave dell'analisi chimica. Soffiando nell'apertura più larga del cannello era possibile avere un più forte getto d'aria che, rivolto contro una fiamma, ne accresceva il calore prodotto. Se un minerale veniva lambito da essa, era possibile, dal colore della fiamma e dalla natura del residuo solido, dedurre informazioni sulla sua natura e composizione. Chimici della scuola svedese (Cronstedt, Gahn, Brandt, Hjelm) isolarono numerosi metalli: cobalto, nickel, manganese, molibdeno.

La Chimica moderna

La rivoluzione di Lavoisier e l'ipotesi atomica di Dalton

Alla fine del XVIII secolo giganteggia la figura del chimico francese Antoine Laurent Lavoisier. Di Lavoisier, ghigliottinato nel 1794 durante la rivoluzione francese, Lagrange scrisse: "è bastato un attimo per tagliare quella testa, e forse non basterà un secolo per generarne un'altra pari alla sua".

Uno dei suoi maggiori meriti è l'uso sistematico della bilancia con cui scardinò consolidate teorie quali quella del flogisto o della trasmutazione dell'acqua in terra per semplice ebollizione.

Decisivo, infatti, fu il suo apporto nell'interpretazione dei fenomeni della combustione e della calcinazione dei metalli (conversione dei metalli in un prodotto terroso per riscaldamento all'aria). Secondo la teoria del flogisto (dal greco φλογιστος=infiammabile) entrambi erano dovuti alla liberazione di un "principio d'infiammabilità": i combustibili sarebbero stati ricchi di flogisto che sarebbe stato ceduto all'aria in occasione della combustione; quando un minerale era riscaldato in una fiamma esso avrebbe acquistato il flogisto trasformandosi in metallo; quest'ultimo lo avrebbe restituito all'aria quando era calcinato.

Lavoisier riscaldò piombo e stagno all'aria in un recipiente chiuso. Pesando il recipiente prima e dopo l'esperimento non osservò variazioni di massa. La "calce" prodotta dalla calcinazione dei metalli, però, pesava più dei metalli consumati nella reazione e, se si con-

sentiva all'aria di penetrare nel recipiente nel corso della reazione, anche il peso complessivo del recipiente cambiava. Questo dimostrava chiaramente che la calcinazione non consisteva in una cessione di flogisto da parte del metallo; piuttosto era l'aria a "cedere" qualcosa al metallo. Evidentemente la calcinazione consisteva nella reazione del metallo con uno dei componenti dell'aria. Analogamente la combustione era una reazione del combustibile con aria con produzione di ceneri ed anidride carbonica; a causa della natura volatile di quest'ultima, il peso delle ceneri era minore di quello del combustibile.

In maniera analoga egli scardinò la teoria, risalente ai Greci, della trasmutazione dell'acqua in terra: usando la bilancia egli dimostrò che, quando acqua bolliva per lungo tempo in un recipiente di vetro, il deposito che si formava era il prodotto della reazione dell'acqua con il contenitore.

L'invarianza del peso di recipienti chiusi in cui avvenissero reazioni chimiche gli permise di enunciare il "principio di conservazione della materia", pietra angolare della chimica: nel corso di una reazione chimica la somma delle masse dei reagenti è uguale alla somma delle masse dei prodotti; ciò significa che la materia può subire trasformazioni ma non può né essere creata né essere distrutta.

Stimolati dall'insegnamento di Lavoisier i chimici usarono in maniera sistematica la bilancia. Il risultato fu la scoperta di un nuova legge fondamentale della chimica, la legge delle proporzioni definite o legge di Proust (1754-1826): in tutti i composti gli elementi sono contenuti in proporzioni ponderali ben definite, indipendenti dalle condizioni in cui essi sono prodotti.

Le leggi di Lavoisier e di Proust consentirono a John Dalton (1766-1844) di formulare la teoria atomica: la materia è costituita di particelle estremamente piccole ed indivisibili, gli atomi; ogni elemento è fatto di atomi tutti uguali, diversi da elemento ad elemento; gli atomi partecipano alle reazioni chimiche senza perdere la loro identità. È interessante osservare che la teoria fu proposta e fu accettata perché riusciva a dare una spiegazione alle due leggi fondamentali prima ricordate: se gli atomi che costituiscono i reagenti sono gli stessi che costituiscono i prodotti non può esservi alcuna variazione di massa nel corso di una reazione chimica (legge di Lavoisier); d'altronde è ragionevole pensare che gli atomi dei diversi elementi entrino nella costituzione di un composto secondo rapporti numerici definiti; pertanto il rapporto ponderale degli elementi che costituiscono un composto deve essere uguale al prodotto del rapporto numerico di combinazione per il rapporto dei pesi atomici (legge di proust). Anche se qualcosa dell'ipotesi di Dalton era destinato ad essere corretto nei decenni successivi (a dimostrazione che nelle scienze sperimentali nessuna teoria è scolpita nella pietra ma deve sempre confrontarsi con i risultati sperimentali nuovi) la teoria è una pietra angolare nella storia della chimica. Lo è anche perché si esce definitiva-

mente dalle nebbie delle affermazioni non verificate; il ragionamento di tipo induttivo si afferma in maniera definitiva.

Dal 1830 al 1950 - I due modelli teorici

L'esistenza delle molecole, cioè di aggregati di atomi caratteristici delle sostanze, fu sostenuta con forza e successo da Amedeo Avogadro che ne dimostrò l'efficacia nello spiegare la legge di Gay-Lussac dei rapporti volumetrici di combinazione nelle reazioni in fase gassosa. Stanislao Cannizzaro diede un contributo fondamentale alla determinazione dei pesi atomici relativi degli elementi. La "regola di Cannizzaro" e la legge di Dulong et Petit permisero di compilare una tabella di pesi atomici relativi, che consentì a Mendeleev di scoprire la legge periodica e di formulare la sua Tavola Periodica degli Elementi.

Il XIX secolo fu ricco di altre importanti acquisizioni, che è arduo dettagliare in questa memoria breve, in campi destinati a diventare discipline autonome quali la Chimica Organica, la Chimica Fisica, l'Elettrochimica. Qui si sottolinea che le proprietà delle soluzioni ed i fenomeni elettrochimici erano, agli inizi del XX secolo ben definiti grazie ai contributi di Van't Hoff, François Marie Raoult (1830-1901) e Svante August Arrhenius (1859-1927).

È opportuno ricordare che alla metà del XIX secolo nacque la termochimica con la legge di Hess (1802-1850) e con il calorimetro di Berthelot che consentiva di misurare i calori di reazione. La reazione era fatta avvenire in un recipiente chiuso circondato d'acqua; la variazione di temperatura subita dall'acqua consentiva di determinare il calore da essa assorbito e, quindi, quello prodotto dalla reazione. A metà secolo XIX furono studiate con cura le reazioni reversibili, quelle cioè che conducevano a condizioni d'equilibrio in cui tutte le specie reagenti e prodotte della reazione erano ancora presenti. Williamson propose che l'equilibrio fosse "dinamico" legato alla reversibilità della trasformazione. Reversibilità significa che i prodotti di una reazione chimica si combinano, nell'ambiente di reazione, ricostituendo i reagenti. Inizialmente la velocità con cui si formano i prodotti per effetto della reazione "diretta" è maggiore di quella con cui essi si consumano per effetto della reazione "inversa". Le due velocità, però, variano nel tempo fino a divenire uguali. A partire dall'istante in cui ciò si verifica le quantità di reagenti e prodotti si conservano inalterate nel tempo e si realizza la condizione di equilibrio "dinamico". Nel 1863 Cato Maximilian Guldberg (1836-1902) e Peter Waage (1833-1902) proposero la legge dell'azione di massa, che consente di calcolare le concentrazioni delle specie presenti all'equilibrio di una reazione chimica. Ostwald (1853-1932), con i suoi studi sulla catalisi, ed Arrhenius diedero impulso agli studi di Cinetica Chimica. Nel 1889 Arrhenius propose che l'urto tra le molecole dei reagenti portasse alle nuove molecole dei prodotti solo se le prime possedevano un quantitativo minimo di energia cinetica: le reazioni chimiche erano, cioè,

"processi attivati". Quindi le reazioni chimiche erano ben caratterizzate, all'inizio del XX secolo nei loro aspetti stechiometrico, termochimico e cinetico. Più in generale si può dire che a cavallo della fine del XIX e l'inizio del XX secolo, grazie anche e soprattutto ai contributi di Josiah Willard Gibbs (1839-1903), Henri Louis Le Chatelier (1850-1936) Walther Hermann Nernst (1864-1941), la termodinamica era stata ben applicata allo studio delle trasformazioni chimico fisiche.

Pertanto agli inizi del XX secolo i chimici avevano a disposizione nello studio e nell'interpretazione dei fenomeni il potente strumento della termodinamica chimica capace di prevedere il comportamento nei processi chimico-fisici sulla base delle proprietà macroscopiche della materia.

Nel frattempo si approfondiva lo studio degli atomi destinato a fornire un altro potente modello interpretativo. Si scoprì che l'atomo è fatto a sua volta di altre particelle: elettroni (Thomson 1897), protoni (Rutherford 1919) e neutroni (J.Chadwick, 1932). Protoni e neutroni sono concentrati in una zona centrale, il nucleo (Rutherford, 1911). Si scopriva, così, che il volume dell'atomo era, in gran parte, spazio vuoto a disposizione del moto degli elettroni intorno al nucleo. I legami che tengono unito il nucleo sono straordinariamente forti tali da non poter essere scissi nelle trasformazioni studiate nel tradizionale laboratorio chimico. Questo è il motivo per cui, come ipotizzato da Dalton, gli atomi partecipano alle reazioni ordinarie senza perdere la loro identità. Era pertanto necessario approfondire le conoscenze in merito al comportamento degli elettroni da cui dipendono la natura e la forza dei legami tra gli atomi. Agli inizi del XX secolo appariva chiaro, però, che la meccanica classica era inadeguata a descrivere il moto di particelle così piccole vincolate a muoversi in volumi estremamente ridotti.

Determinante fu il lavoro di approfondimento della natura delle radiazioni, i cui fenomeni di interferenza e diffrazione avevano già avuto un'interpretazione convincente con la teoria delle onde elettromagnetiche proposta alla fine del XIX secolo. Agli inizi del XX secolo, però, l'effetto fotoelettrico aveva condotto Einstein a formulare la teoria dei fotoni, che ipotizzava una natura corpuscolare delle radiazioni. Il dualismo onda-particella fu risolto, nel 1924, da De Broglie. Egli propose che potesse essere associata un'onda anche a tutto ciò a cui era stato, in precedenza, attribuita una natura corpuscolare e previde che un fascio di elettroni che investisse una sostanza cristallina avrebbe dovuto dare uno dei fenomeni caratteristici spiegati dalla teoria delle onde elettromagnetiche, la diffrazione. Ciò fu verificato sperimentalmente appena tre anni dopo.

I tempi erano maturi per la nascita della meccanica ondulatoria. Erwin Schrödinger scrisse per l'elettrone un'equazione talmente simile a quelle della teoria ondulatoria classica da essere denominata equazione d'onda. L'equazione, molto complessa, fu risol-

ta nel caso dell'atomo d'idrogeno, ma i risultati furono generalizzati agli altri atomi. Tali risultati fornirono le energie degli stati di moto stazionari degli elettroni e diedero informazioni circa la distribuzione degli elettroni nell'atomo. La risoluzione per tentativi dell'equazione, più complessa, scritta per un elettrone che si muove in prossimità di due nuclei permise di affrontare in maniera organica il problema del legame chimico. La comprensione della natura delle interazioni radiazioni-materia fornì, inoltre, tutta una serie di tecniche d'indagine (spettrofotometria, diffrattometria X, microscopia elettronica) di largo impiego nei più svariati campi di indagine chimica.

*La seconda metà del XX secol*o

Alla metà del XX secolo i chimici avevano, pertanto, strumenti teorici e sperimentali formidabili per studiare e giustificare le proprietà ed i comportamenti delle sostanze. queste, infatti, dipendono non solo dalla composizione, ma anche dalla struttura: diamante e grafite sono, entrambi, carbonio allo stato elementare; le enormi differenze tra le loro proprietà sono dovute al diverso modo in cui, nei due casi, gli stessi atomi di carbonio sono legati tra di loro.

La ricerca, soprattutto quella nel campo dei materiali, ebbe un impulso eccezionale. Essa non era più affidata alla casualità. La termodinamica consentiva di prevedere se un processo era realizzabile. La conoscenza delle più generali relazioni composizione - struttura - proprietà permettevano di progettare le modifiche di composizione o di processo necessarie per ottenere il risultato di ricerca desiderato. Non meraviglia, pertanto, che l'acciaio, utilizzato per millenni in formulazione unica, sia diventato, negli ultimi decenni, una classe di materiali dalla composizione e dalle applicazioni specifiche estremamente variegate.

Più in generale la ricaduta positiva ha riguardato la comprensione di tutti i fenomeni chimico-fisici; questi, infatti, hanno tutti una comune interpretazione meccanicistica basata sulla natura delle particelle elementari costitutive, che sono ipotizzate in perenne movimento. Ad esempio, la fusione di un solido si verifica perché le particelle costitutive, che nel solido occupano posizioni reciproche fisse, possiedono un'energia cinetica di oscillazione che dipende dalla temperatura. Alla temperatura alla quale essa diventa pari a quella potenziale connessa con le forze di attrazione, le particelle si affrancano dai legami reciproci, i moti oscillatori diventano traslazionali e la sostanza fonde. Il modello meccanicistico spiega pertanto correttamente la diversità delle temperature di fusione con le differenze, da sostanza a sostanza, nelle forze di attrazione tra le particelle.

I modelli teorici hanno pertanto favorito lo sviluppo di tutte le branche della chimica e non deve meravigliare che lo sviluppo delle conoscenze chimiche abbia avuto, nel ventesimo secolo, un' accelerazione formidabile con l'acquisizione di un corpo di conoscenze non confrontabile con quello dei millenni precedenti.

Conclusioni

La Chimica è attualmente suddivisa in altre discipline ciascuna delle quali ha riviste scientifiche specializzate. Con il termine Chimica viene, correntemente, indicata la Chimica Generale, che fornisce la conoscenza critica della natura e delle trasformazioni della materia. Essa illustra e mette a confronto i principali fenomeni chimico-fisici (dai "passaggi di stato" alle proprietà delle soluzioni, dalle reazioni chimiche ai fenomeni elettrochimici) e consente:

a) di cogliere le analogie ed i tratti comuni. Gli equilibri, ad esempio, sono tutti "dinamici" nell'accezione di Williamson; i fenomeni chimico - fisici sono tutti "processi attivati" nell' accezione di Arrhenius; gli effetti delle molteplici variabili, quali la pressione o la temperatura, sulle condizioni d'equilibrio sono riconducibili ad uno schema unico;

b) di mostrare come tutti i processi chimico-fisici possono essere interpretati e "capiti" per mezzo degli stessi modelli, quello termodinamico e quello meccanicistico.

La Chimica, al contrario della Khemeya e dell'Alchimia, non fornisce ricettari incomprensibili di composizioni e procedure. Essa fornisce "vocabolario, grammatica e sintassi" di fenomeni che investono l'attività dell'ingegnere (degrado dei materiali, inquinamento, ecc.) e di innumerevoli tecnologie: produzione di nuovi materiali, individuazione di nuove fonti di energia e mezzi di accumulo e conservazione delle stesse (pile, accumulatori,…) sistemi di monitoraggio e protezione dell'ambiente, ecc. È pertanto la disciplina che consente di orientarsi nel vasto panorama di materiali e tecniche che l'industria chimica fornisce al mondo dell'ingegneria. Come dimostrato dall'impiego di nuovi materiali e prodotti in campo automobilistico, aerospaziale, civile o elettronico e da quello delle leghe di bronzo e acciaio nell'antichità, si tratta di innovazioni tecnologiche che di regola "fanno la differenza".

Bibliografia

I.ASIMOV, *Breve Storia della chimica*, Bologna, Zanichelli, 1968.

B.H.MAHAN, *Chimica Generale ed Inorganica*, Milano, Casa Editrice Ambrosiana, 1968.

Walter Nicodemi, Carlo Mapelli, Cristian Corna

Il ruolo dell'acciaio nella rivoluzione industriale

La situazione europea all'inizio del XVIII secolo

All'inizio del XVIII secolo si può notare, in tutto il contesto europeo, una apparente immobilità in campo siderurgico, specialmente se si confrontano i sistemi industriali dei paesi continentali con quello britannico. La produzione di acciaio nel continente si basa sui due stadi classici: ottenimento di ghisa nei primordiali altoforni e sua successiva conversione e il processo a basso fuoco, anche se la produttività è inferiore rispetto al processo all'altoforno. Tra i vari paesi europei si possono notare lievi differenze nella situazione industriale.

In Francia l'utilizzo dell'acciaio è molto limitato, anche nelle città, nell'ambito di un mercato estremamente disperso. La stessa classe dirigente è poco interessata a incrementare il livello tecnologico, in quanto la richiesta di prodotti siderurgici è relativamente scarsa.

In Belgio, diversamente da quanto avveniva in Francia, predominano gli stabilimenti autonomi caratterizzati da una spiccata vocazione industriale; la produzione è ben superiore alle richieste del mercato interno, quindi i prodotti belgi (principalmente chiodi e armi) vengono esportati in tutt'Europa, scontrandosi però con le politiche protezionistiche dell'epoca.

In Svezia l'abbondanza di minerale di ferro, di foreste e la notevole disponibilità di corsi d'acqua favoriscono la nascita di una siderurgia molto moderna, in grado di fornire artiglierie in lega ferrosa alle principali potenze navali europee (1000-2000 t).

Anche in Russia l'abbondanza di risorse naturali, specialmente nella regione degli Urali, permette la nascita di un'industria siderurgica su basi piuttosto ampie: la struttura produttiva è articolata in una serie di impianti di dimensioni modeste, soprattutto per quanto riguarda gli altoforni, mentre i processi di affinazione e laminazione sono abbastanza moderni, grazie soprattutto all'afflusso di tecnici stranieri. È interessante segnalare che intorno al 1780 l'industria siderurgica russa produce circa 110000t di ghisa, il triplo di quella inglese; tale situazione verrà in seguito completamente capovolta, in seguito ad una serie di innovazioni tecniche venute alla luce per l'ingegno dei tecnici inglesi.

È però l'Inghilterra il paese in cui si sente maggiormente la spinta verso l'incremento della produzione in campo siderurgico. La certezza della proprietà della terra, sancita dagli Enclosures Acts (1700-1810), e lo sviluppo del capitalismo nelle campagne inglesi favoriscono un notevole incremento dei consumi dei prodotti ferrosi; inoltre l'introduzione di utensili in acciaio è alla base di una crescita della produttività del settore agricolo, a causa dell'impiego di at-

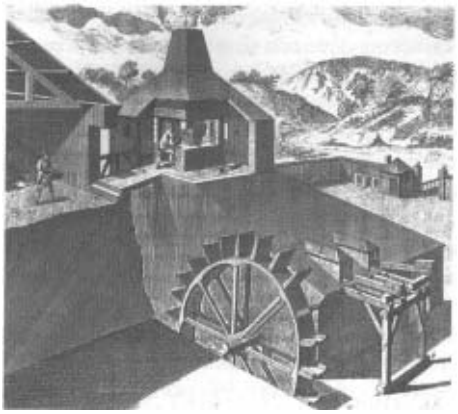


Fig. 1 - Carica di coke e minerale dalla sommità di un altoforno alimentato con ruota idraulica

Periodo	Ghisa	Acciaio
1720		22
1735	18	22
1760		25
1788	69	60
1796	127	110
1806	263	235
1825		580
1830		630
1840	956	1155
1850	2747	2250

Tab. 1 - Produzione di acciaio e ghisa in Inghilterra dal 1720 al 1850 (migliaia di tonnellate)

trezzi più efficienti rispetto a quelli in legno. Tuttavia la domanda, continuamente crescente, non può essere soddisfatta e si scontra con i limiti imposti dalla ridotta disponibilità di combustibile a basso costo, indispensabile per alimentare il ciclo indiretto.

La carenza di combustibile deriva in primo luogo dall'impossibilità di impiegare il carbone fossile, in quanto caratterizzato da un eccessivo contenuto di elementi nocivi (primo fra tutti lo zolfo). Inoltre il progressivo esaurimento delle risorse boschive facilmente sfruttabili ha indotto la promulgazione di leggi per la protezione degli alberi e delle foreste, messe seriamente a repentaglio dalle ferriere e dalle fonderie.

Dopo vari tentativi di utilizzo del carbon fossile, il primo che ne ha resa possibile l'applicazione nei processi siderurgici è stato Abraham Darby I, mediante la trasformazione in coke.

Inizialmente ha utilizzato questo combustibile nel processo di produzione del rame e del piombo e poi, nel 1709, lo ha impiegato per la riduzione del minerale di ferro. Abraham Darby intuisce che è necessario eliminare dai carboni fossili tutti gli elementi volatili, per poter utilizzare tale combustibile negli altoforni; la cokizzazione permette di eliminare una sufficiente parte dello zolfo, rendendo il combustibile utilizzabile in campo siderurgico.

Presumibilmente Darby produce il coke utilizzando una tecnica analoga a quella impiegata per il carbone di legna: il carbone fossile viene coperto con la terra dopo aver innescato la combustione di una porzione del materiale. Il calore sviluppato distilla il carbon fossile non consumato dalla combustione, che in questo modo viene depurato dallo zolfo. Tale processo viene realizzato all'interno di strutture murarie dove viene caricato il materiale da distillare.

L'iniziale processo di cokizzazione non è in grado di soddisfare completamente il fabbisogno di carbone di origine vegetale; inoltre il coke deve presentare anche alcune particolari caratteristiche, non facili da ottenere: deve essere poroso, sufficientemente compatto e in grado di sopportare il peso di tutta la carica. Dopo diverse sperimentazioni viene messo a punto un carbon coke ottimale per le applicazioni nel campo siderurgico, con la possibilità di introdurre nel forno una maggiore quantità di minerale di carica, senza pericoli di frantumazione (Fig.1).[1]

L'utilizzo del coke ha anche permesso di innalzare la temperatura di esercizio, grazie all'aumento del punto di iniezione, garantendo una maggiore fluidità della ghisa liquida. Una tale innovazione garantisce quel forte aumento nella produzione di ghisa che consentirà di realizzare un significativo incremento nella quantità di acciaio prodotto (tabella 1).[2]

Le innovazioni tecnologiche

L'incremento della produzione di ghisa negli altoforni si accompagna sia all'ideazione di impianti che consentono di convertire in modo più efficiente la ghisa in acciaio sia a nuovi processi di affinazione, quali la tecnica di carburazione al crogiolo per migliorare la resistenza finale del manufatto siderurgico.

Benjamin Huntsman, un orologiaio di Doncaster, mette a punto nel 1748 un sistema per produrre acciai a struttura quasi completamente perlitica, con contenuto di carbonio dello 0.5-0.7%; questi materiali garantiscono una durezza elevata e costituiscono la soluzione ottimale per la produzione di componenti sollecitati superficialmente, quali per esempio i coltelli ma anche gli ingranaggi e gli elementi di giunzione.

È singolare ma significativo osservare che il contesto inglese tenda a rifiutare il prodotto di Huntsman, rallentando il miglioramento delle prestazioni dei componenti meccanici.

D'altra parte, una tale situazione si spiega col fatto che i deformatori plastici britannici non sono dotati delle competenze e dei mezzi impiantistici per deformare un acciaio ad alto tenore di carbonio. Al contrario, questo prodotto viene immediatamente apprezzato dai francesi che, grazie alle competenze mutuate dai laminatori valloni, vi vedono un materiale estremamente utile per accrescere l'efficienza dei propri utensili e della componentistica meccanica.

Per diverso tempo, almeno fino all'introduzione del convertitore, tale tecnica rimarrà l'unica in grado di fornire acciai ad alta resistenza.

Successivamente, l'insufflazione di aria attraverso l'utilizzo di macchine a vapore (1776) permette di penetrare a maggiori profondità lungo la sezione trasversale dell'altoforno, consentendo quindi di aumentarne il diametro, e di conseguenza la produttività, senza ridurne l'efficienza di combustione; si svincola inoltre l'ubicazione degli impianti dalla localizzazione dei corsi d'acqua, fino ad allora necessari per azionare le giranti idrauliche collegate alle soffiatrici. Nel 1784 Henry Cort mette a punto un

nuovo impianto per trasformare in acciaio la ghisa prodotta dall'altoforno: il forno a pudellare (Figg.2-3)[3] (dall'inglese 'to puddle', impastare).

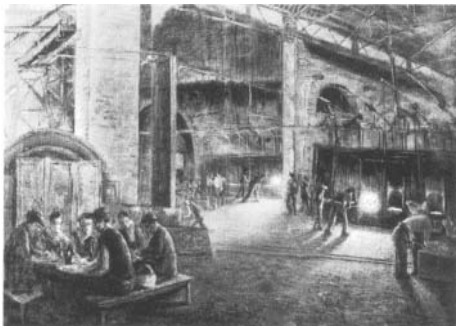


Fig.2 - Rappresentazione di una squadra di pudellatori impegnati a mantenere agitato il bagno

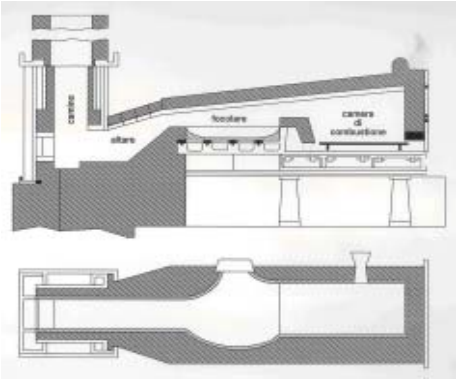


Fig.3 - Pianta e sezione schematica di un forno a pudellare

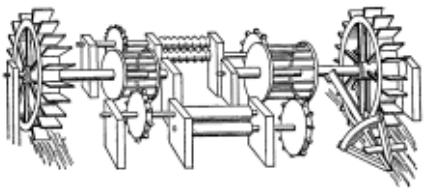


Fig.4 - Rappresentazione di un rudimentale laminatoio e di una cesoia, entrambi mossi da ruote idrauliche

In questo forno la decarburazione della ghisa viene condotta per mezzo di una lunga fiamma ossidante che attraversa il catino. Le temperature raggiunte sono sempre al di sotto della temperatura di fusione e, per questa ragione, il metallo all'interno del forno si trova sempre allo stato pastoso, richiedendo quindi una vigorosa agitazione .

Un'altra parte molto originale dell'invenzione di Cort è l'affiancamento di un laminatoio al forno a riverbero (Fig.4),[4] che consente di realizzare una vasta gamma di prodotti quali travi, barre e rotaie.

Con la laminazione si producono semilavorati con struttura fibrosa costituita da strati di acciaio poveri in carbonio alternati ad altri più ricchi di tale elemento, il tutto frammisto a scorie.

Gli acciai prodotti con tale tecnica presentano una microstruttura bandiforme, sufficientemente libera dalla presenza di scorie e in grado di sopportare l'applicazione di carichi ingenti, pur presentando notevoli differenze nella proprietà tra la direzione longitudinale e quella trasversale. La maggiore disponibilità di materiali siderurgici caratterizzati da migliori proprietà meccanico-strutturali contribuisce ad ampliarne l'impiego: dalle strumentazioni agricole e dalla fabbricazione di chiodi per i cantieri navali, alla costruzione di macchine tessili e a vapore fino ad arrivare, nel 1779, alla realizzazione del primo ponte in ghisa nella località chiamata in seguito Ironbridge (Fig.5).[6] A questo si affianca la costruzione delle prime strade ferrate nelle miniere di carbone,

precorritrici di quel sistema ferroviario che, accanto alle navi a vapore, da lì a qualche decennio avrebbe cambiato il sistema delle comunicazioni in tutto il mondo (Fig.6).[7]

Tuttavia per avere un'idea concreta di quanto fosse arretrata e primordiale la situazione della produzione del ferro e dell'acciaio alla metà del XIX° secolo, basti ricordare che "il celebre industriale Alfred Krupp di Essen sorprende l'intero mondo siderurgico inglese, quanto mai all'avanguardia, esponendo un lingotto del peso di 2150 kg alla famosa esposizione mondiale di Londra nel 1851"[5]; si scoprìra poi che l'aveva realizzato colando in una sola lingottiera il prodotto di una numerosa batteria di crogioli.

Per molti anni non vengono introdotte significative innovazioni ma la continua e crescente domanda di prodotti siderurgici con maggiore resistenza meccanica porta, nel 1856, Henry Bessemer a ideare una tecnica alternativa alla produzione dell'acciaio.

Egli propone un sistema per ottenere "ferro malleabile e acciaio senza combustibile", che suscita un tale scalpore da arrivare alla pubblicazione integrale del brevetto sul "Times", a testimonianza di quanto l'opinione pubblica fosse estremamente sensibile alle innovazioni in campo siderurgico.

Il processo consiste sostanzialmente nell'insufflare aria dal fondo di un convertitore (Fig.7), sfruttando il calore prodotto dai processi di ossidazione per mantenere fluido il bagno metallico.

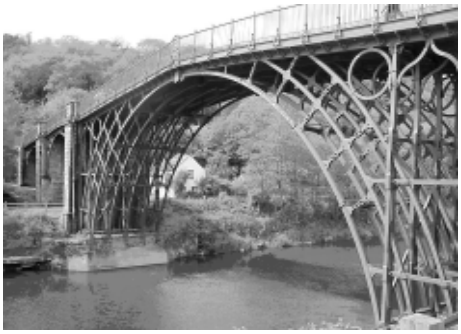


Fig 5 – Ponte in ghisa di Ironbridge (1779)



Fig.6 – Sviluppo del sistema ferroviario inglese tra il 1825 e il 1914

I primi tentativi di applicare il brevetto proposto da Bessemer risultano a dir poco disastrosi, tanto che l'inventore è costretto a riacquistarli rimettendoci una cospicua quantità di denaro. Ci vogliono quasi tre anni per mettere a punto il processo che Bessemer era riuscito a portare a compimento in maniera casuale, sperimentando una ghisa di

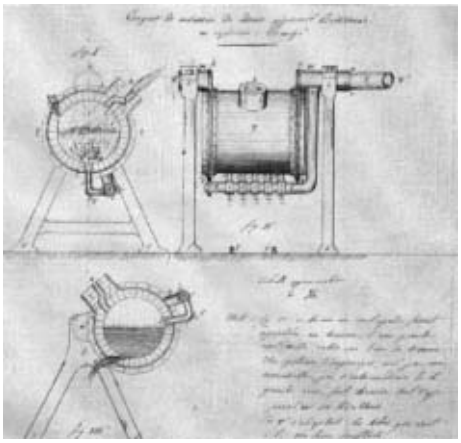


Fig.7 - Il convertitore Bessemer (1856) in una illustrazione dell'epoca

provenienza svedese con elevato tenore di silicio e di manganese e povera di zolfo e fosforo.

Purtroppo tale processo presenta dei limiti:

- rifusione dei rottami;
- conversione delle ghise fosforose, dato il rivestimento acido.

Questo secondo inconveniente è superato con la messa a punto del convertitore basico Thomas (1877), che sostituisce il refrattario acido con uno basico con il vantaggio di sfruttare il potere termogeno del fosforo. Per poter effettuare la fusione dei rottami di ferro, che andavano accumulandosi in modo preoccupante, bisognerà però attendere la messa a punto di un processo altrettanto rivoluzionario, che per la prima volta ha reso possibile la rifusione di acciaio a basso carbonio: il Martin-Siemens.

La forte esigenza di poter riciclare il rottame conferma l'elevata quantità di prodotti siderurgici ormai circolanti nel XIX secolo e la necessità di pervenire ad un'efficiente dismissione degli stessi. Anche il processo Martin-Siemens ha un inizio burrascoso e sono necessari diversi anni per la sua messa a punto: viene brevettato nel 1856 da Friedrich Siemens e viene descritto molto brevemente il processo di recupero del calore a mezzo di camere di rigenerazione, ponendo le basi per la costruzione di forni industriali funzionanti a temperatura assai elevata.

Data la favorevole situazione siderurgica Friedrich Siemens pensa subito di utilizzare il suo metodo per produrre acciaio allo stato fuso, costruendo il primo forno a Sheffield.

Purtroppo, durante questo tentativo, l'innalzamento della temperatura è tale che si ha la distruzione dell'intero forno; dopo vari insuccessi, Siemens si limita a rivolgere l'attenzione alla produzione del vetro. La notizia di quel primo maldestro tentativo arriva a due industriali francesi, i Martin, i quali, non riuscendo a raggiungere temperature tali da poter elaborare i loro acciai, chiedono consiglio a Siemens. Siemens segue la costruzione del forno, adottando nuovi refrattari, e circa un anno dopo (1864) Pierre Martin riesce a fondere l'acciaio in un forno con recuperatore di calore.

I primi impianti (Fig.8)[8] prevedono quattro camere di recupero, così da permettere il preriscaldo sia del gas di gasogeno che dell'aria comburente. Da una delle testate della camera vengono immesse, attraverso apposite aperture, l'aria comburente e il gas.

All'interno dello sviluppo produttivo si assiste alla convivenza di due precise linee di tendenza, destinate a confrontarsi lungo tutta l'evoluzione della società industriale: la difesa delle proprie tecnologie attraverso una rigida applicazione del segreto industriale e la propensione alla rapida e rigorosa circolazione delle idee. Se il primo approccio può essere facilmente riconosciuto come tipicamente britannico, il secondo appare più tipico del contesto illuminista, ambiente che a breve avrebbe prodotto l'Enciclopedia di Diderot e d'Alambert.

Lo sviluppo della siderurgia nella seconda metà del XIX secolo

In tutti i paesi europei lo sviluppo della siderurgia porta a notevoli cambiamenti nell'intero comparto industriale. In Francia l'avvio degli investimenti nella rete ferroviaria conferisce un nuovo impulso alla produzione siderurgica (Fig. 9),[9] che in questo periodo aumenta di circa 4 volte (passando da 340 a 1200 migliaia di tonnellate); inoltre i tradizionali altiforni a carbone di legna vengono sostituiti da quelli a coke, di dimensioni sempre maggiori.

Un tale sviluppo non può essere supportato in un'ottica autarchica e la migrazione di tecnici dalla Gran Bretagna continua quindi ad essere significativa. Nel 1860 viene stipulato un accordo doganale con la Gran Bretagna, volto a regolare il reciproco abbattimento dei dazi protettivi sui prodotti siderurgici; questo provvedimento permette di accelerare la modernizzazione della siderurgia francese, poiché gli imprenditori sono stimolati ad aggiornare le proprie tecnologie produttive.

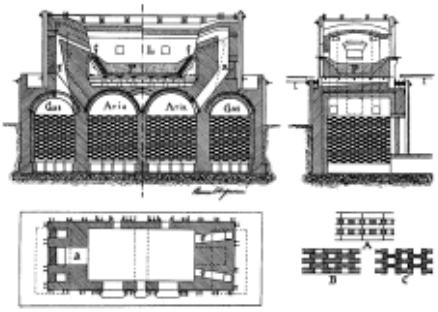


Fig.8 - Viste e pianta di un sistema M.S



Fig. 9 - Sviluppo della rete ferroviaria francese nel periodo 1837-1857

L'introduzione del forno Martin-Siemens riscuote molto successo, grazie alla consistente presenza di rottame nel territorio francese; tale disponibilità è legata alla fragilità dei manufatti, indotta dalla presenza in lega di elementi

nocivi, contenuti nei minerali di partenza (in particolare il fosforo e lo zolfo).

Il 1880 rappresenta un punto di svolta per la siderurgia francese che, tornata a una politica di protezionismo, si consolida rispetto alla concorrenza europea e statunitense grazie anche alla diffusione del processo Thomas, che consente di utilizzare i vasti giacimenti di minerali di ferro ricco in fosforo presenti in Lorena. La produttività dei sistemi francesi diviene tanto significativa da portare alla costruzione di opere in acciaio in grado di suscitare un vasto scalpore a livello internazionale; l'esempio più emblematico è rappresentato dalla Tour Eiffel (Fig.10), costruita proprio in occasione dell'Esposizione Mondiale di Parigi del 1900. L'andamento altalenante della congiuntura economica francese è legato alla crescente competitività delle altre realtà europee (Belgio, Germania, Svezia) e, soprattutto, ai nuovi ostacoli alle esportazioni oltreoceano, che vengono bloccate a causa della politica protezionistica del governo statunitense, che arresta l'importazione dei prodotti siderurgici europei (prime tra tutti le rotaie).



Fig.10 – Tour Eiffel, costruita in occasione dell'Esposizione Universale del 1900 e composta da 18038 travetti rivettati in acciaio

Le crescenti disponibilità di acciaio e ghisa, rese possibili dal potenziamento dei sistemi impiantistici, influenzeranno l'insorgere di quell'interessante fenomeno artistico che andrà sotto il nome di Art Nouveau e di Liberty, all'interno del quale il getto in ghisa ed il manufatto in ferro battuto, magari abbinato a leghe di rame, assumeranno particolare rilievo nella realizzazione dei componenti dell'arredo urbano.

La situazione nell'area tedesca è molto differente da quella francese: già negli anni Trenta del XIX° secolo la regione può vantare una tradizione di tutto rispetto in campo siderurgico nonostante essa, venuta alla luce solo pochi anni prima in occasione del Congresso di Vienna (1815), fosse ancora politicamente frammentata.

Le due regioni più 'avanzate' dal punto di vista tecnologico sono la Slesia e la Renania. In ogni caso, il passaggio ad una siderurgia di tipo moderno avviene grazie allo Zollverein ("Unione Doganale"), introdotto nel 1834 dai 38 stati della Confederazione Tedesca per garantire migliori flussi commerciali ed eliminare le competizioni interne allo Stato; questa azione, di carattere economico, si accoppia al notevole impulso

legato alla costruzione delle prime ferrovie che permette la nascita di nuove concentrazioni industriali in regioni come la Ruhr o in prossimità della città di Berlino, dove le comunicazioni sono più agevoli.

L'introduzione delle nuove tecnologie avviene a macchia di leopardo sul territorio della Confederazione e il processo di ammodernamento viene a svilupparsi, intorno al 1850, con la costruzione degli altiforni a coke nella regione della Ruhr. La produzione della ghisa mediante l'utilizzo del coke è un processo complementare all'impiego di materiali a basso costo ed esenti da dazi doganali provenienti dalla Gran Bretagna e dal Belgio; al contrario, prodotti come il ferro in barre e le rotaie sono ancora soggetti a pedaggio, allo scopo di mettere i prodotti tedeschi al riparo dalla concorrenza straniera.

Fino alla prima metà del XIX secolo la regione della Ruhr non ha una importanza rilevante all'interno della siderurgia tedesca, rappresentandone soltanto il 5% della produzione; anche in questa zona, comunque, la crescita della siderurgia è legata alle attività di affinazione e laminazione. Fin dal 1830 le miniere di carbone avevano cominciato a scavare soprattutto filoni utilizzabili per la cokefazione, con il carbone di legna completamente abbandonato già dal 1860; lo sviluppo della Ruhr viene accelerato dalla scoperta di giacimenti di siderite carbonifera nei pressi di Bochum.

Questi sviluppi hanno portato la Ruhr a raggiungere una quota di produzione di ghisa, nel 1870, pari al 26% del totale; un'altra specialità della Ruhr è la produzione di acciai colati in forni a manica (*Schmelzofen*) o a crogiolo (*Tiegelofen*); solo l'introduzione del convertitore ha però permesso di assorbire l'enorme flusso di ghisa prodotto dagli altiforni a coke. Gli acciai prodotti al convertitore sono risultati eccellenti per la produzione di rotaie, grazie alla migliore qualità in termini di resistenza e durata.

Negli anni ottanta del XIX secolo la produzione siderurgica tedesca comincia ad essere talmente importante da garantire una spiccata vocazione alle esportazioni (anche se spesso sottocosto); la ricchezza di minerali di ferro ad alto contenuto di fosforo favorisce l'adozione del convertitore Thomas, mentre la limitata disponibilità di rottame rallenta la diffusione del processo Martin-Siemens.

La situazione italiana post-unificazione

A riprova di quanto lo sviluppo dell'industria siderurgica sia strettamente associato allo sviluppo dell'attività industriale, è facile osservare come il paese con la crescita economica inferiore sia anche quello in cui le innovazioni siderurgiche penetrano più lentamente. Il quadro siderurgico tracciato dalla Commissione Menabrea a seguito dell'unificazione mostra un quadro sconsolante, soprattutto se confrontato con il contesto europeo (Tabella 2).[10] Il fatto più desolante è che, nemmeno all'alba del 1863, v'è traccia di quelle innovazioni siderurgiche che, come delineato nei

Paese	Produzione ghisa
Inghilterra	3.700
Stati Uniti	1.350
Francia	1.050
Prussia	526
Zollverein	510
Austria	360
Belgio	320
Russia	220
Regno d'Italia	30

Tab. 2 - Produzione di ghisa nei principali paesi (1863, migliaia di tonnellate)

contesti precedenti, appaiono il motore ed anche il frutto della Rivoluzione Industriale.

Conclusioni

Il quadro tracciato e l'evoluzione delineata mostrano come lo sviluppo dell'industria siderurgica sia stato un motore essenziale per la crescita e la diffusione di quel movimento destinato a cambiare il volto della società occidentale ed in particolare delle attività ingegneristiche: la Rivoluzione Industriale.[11]

È doveroso notare come il notevole incremento nella produzione di ghisa e acciaio, verificatosi a metà dell'Ottocento, non sia stato accompagnato da considerevoli miglioramenti nelle conoscenze chimico-fisiche degli acciai, ma solamente da un opportuno e fortunato mix di intuizioni e di molteplici esperienze.

[1] *L'Encyclopédie*, voce "Forges", PL. 7, 2e section, Fourneau à Fer, Charger.

[2] P. BAIROCH, *Rivoluzione industriale e sottosviluppo*, Torino, Einaudi, 1967, p.268.

[3] Altiforni e acciaierie d'Italia 1897-1947, Genova, Ilva, 1948, p.180.

[4] M. DAUMAS, *Histoire generale des techniques, t.3*, Parigi, Presses universitaires de France, 1968, p.160.

[5] W. NICODEMI, *Siderurgia*, Processi e Impianti, Milano, A.I.M., 1994, p.14.

[6] Fonte internet: www.mikejs.com.

[7] M. GILBERT, *British History Atlas*, Londra, 1968, p.90.

[8] Q. SESTINI, *La chimica per i meccanici e i metallurgi*, Brescia, Vannini, 1928, pp. 303-305.

[9] M. DAUMAS, *Histoire generale des techniques, t.3*, Parigi, Presses universitaires de France, 1968, pp.408-409.

[10] *Industria del ferro in Italia*, p.11.

[11] W. NICODEMI, *La Civiltà del Ferro, dalla preistoria al III Millennio*, Milano, Olivares, 2004.

WALTER NICODEMI, CARLO MAPELLI, SILVIA BARELLA

Le tecnologie metallurgiche nello sviluppo dell'ingegneria

Tra arte e tecnologia esiste da sempre una relazione difficile da percepire specie oggi se si guarda il mondo attraverso gli occhi della pura tecnologia.

Originariamente l'arte e la tecnica non conoscono la separazione che la nostra cultura contemporanea attribuisce loro: nella cultura greca classica arte e tecnica vivevano felicemente insieme sotto lo stesso tetto della parola 'technè' e non c'è distinzione tra artista e artigiano.

Aristotele classificava arte e tecnica come due espressioni distinte di un processo, ma non separate, due differenti dimensioni dell'azione umana, entrambe esploranti il possibile. Anche i celebri scultori sono considerati artigiani dai loro seguaci.

I metalli non ferrosi

I primi metalli utilizzati dall'uomo sono oro, rame e argento che essendo duttili e malleabili, possono essere lavorati per martellatura fino a diventare foglie sottilissime o lunghi fili ritorti. Questi metalli si trovano in natura allo stato nativo e quindi gli antichi, ancora lontani dalle conoscenze delle operazioni di estrazione per via termica, possono lavorare queste 'pietre' per ottenere oggetti funzionali o ornamentali (Fig. 1).

Inizia così l'età dei metalli con l'utilizzo dell'operazione di deformazione plastica a freddo; con la tecnica della battitura si ottengono oggetti estremamente sottili.

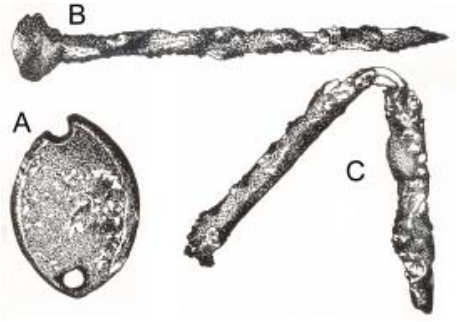


Fig. 1 - A) Pendente di rame a forma di foglia, rinvenuto a Shanidar nell'attuale Iraq che alcuni archeologi datano attorno al 9500 a.C.; B) e C) chiodi di rame rinvenuti in Iran databili attorno al 4100 a. C

Solo se le operazioni di battitura vengono intervallate da riscaldamenti, in modo tale da ripristinare le caratteristiche di deformabilità si può procedere ad un'ulteriore riduzione delle dimensioni. Oggi chiameremmo questo trattamento "ricottura di ricristallizzazione" (fig 2).

Le operazioni di deformazione plastica e riduzione del metallo in lamine sono alla base anche del cosiddetto "sphyrèlaton", lavorato al martello (σφυρηλατον) (Fig.3), la tecnica comunemente usata sia nella prima arte statuaria. sia per ricoprire parti ornamentali nelle costruzioni civili ed in quelle navali (Fig.4).

Il fatto che la deformazione plastica a freddo causi un incremento della resistenza e della durezza del materiale fa

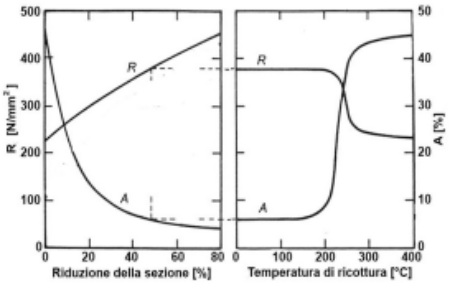


Fig. 2 - Caratteristiche meccaniche del rame in funzione dell'incrudimento e influenza del trattamento di ricottura di ricristallizzazione sul ripristino delle caratteristiche del rame incrudito

sì che tale processo venga sfruttato anche per incrementare le proprietà resistenziali dei vari materiali.

Con l'esaurimento dei metalli allo stato nativo l'uomo è costretto a cercarne una nuova fonte, dando inizio alle attività estrattive dei minerali .

Lo sviluppo delle civiltà primitive è legato alla presenza di ricchezze minerarie: ne sono un esempio il gran numero di giacimenti metalliferi rinvenuti nelle regioni che si estendono fino al corso inferiore del Tigri, come pure quelli dell'Anatolia centrale (di rame, piombo e anche oro e argento). Risultano di estrema importanza nello sviluppo della metallurgia estrattiva di questa regione anche i siti di estrazione dei minerali di ferro.

Il minerale deve essere portato allo stato metallico, attraverso un processo di riduzione. Si può ipotizzare che i primi forni usati fossero molto simili a quelli usati per la cottura della ceramica (nei quali si raggiungevano temperature di 700 ÷ 900 °C) ma per raggiungere queste temperature e rendere possibili i

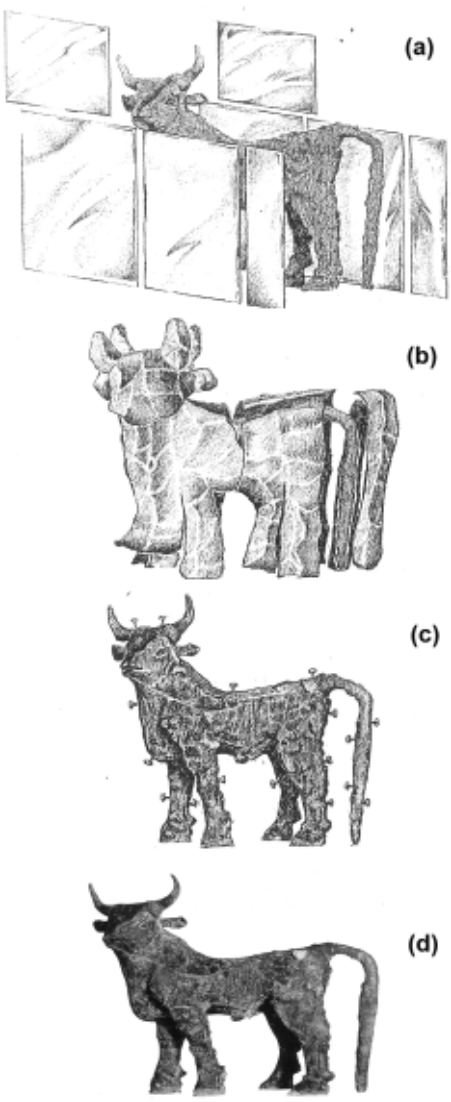


Fig.3 – Ipotetica esecuzione di sphyrèlaton: le lamine separate vengono applicate alla figura (a), vengono martellate sulla stessa (b), fino a ricoprirla interamente e rivettate (c), toro in legno proveniente da Tell el Obeid (III millennio a.C.), British Museum. (d)

processi metallurgici, è indispensabile forzare l'immissione di aria per favorire la combustione.

Nei primordiali forni la carica, effettuata dalla parte superiore, è costituita da minerale e carbone di legna. Essa scende e, per effetto dell'azione della corrente gassosa che sale prodotta dalla combustione del carbone, secondo la reazione :

$2C + O_2$? $2CO$

si riscalda e si trasforma (Fig. 5).

Fondamentale in questa operazione è l'azione dell'aria per la combustione; al crescere della capacità dei forni, è indispensabile mettere a punto dei mantici con una portata superiore.

Per esempio il ciclo di riduzione della malachite, minerale certamente utilizzato anche per le sue proprietà estetiche, può essere così riassunto:

$CuCO_3.Cu(OH)_2$?$2CuO + CO_2 + H_2O$

$CuO + CO$? $Cu + CO_2$

$CuO + C$? $Cu + CO$

Tutti i metalli grezzi così ottenuti sono impuri; ad esempio nel rame è frequente la presenza di ferro, zolfo, arsenico, antimonio e talvolta, anche di metalli preziosi, è indispensabile quindi sempre una successiva operazione di affinazione.

Pietra miliare nello sviluppo delle tecnologie metallurgiche è l'alligazione: difficile da dimostrare se l'aggiunta di altri elementi al rame sia stata intenzionale o se gli antichi abbiano casualmente utilizzato quelle vene di metallo nativo che si erano dimostrate più adatte a raggiungere lo stato liquido; certo è che l'alligazione del rame, con arsenico prima (4000 a.C.) e con stagno poi, è stata una delle più utili innovazioni realizzate nell'antichità (Fig. 6).



Fig. 4 - Particolare delle porte ricoperte in bronzo di Shalmaneser III, Bolawat, Mesopotamia, 850 a.C. circa

Grazie all'alligazione è possibile raggiungere più facilmente lo stato liquido e quindi una migliore colabilità, una minore difettosità nei prodotti e un maggiore indurimento dopo deformazione plastica a freddo.

Ben presto la metallurgia del bronzo si diffonde in tutta l'Europa (Fig. 7);in Italia diversi sono i centri per la lavorazione del bronzo con ampie produzioni specializzate: coltelli, pugnali, fibule, specchi, spilloni ecc.

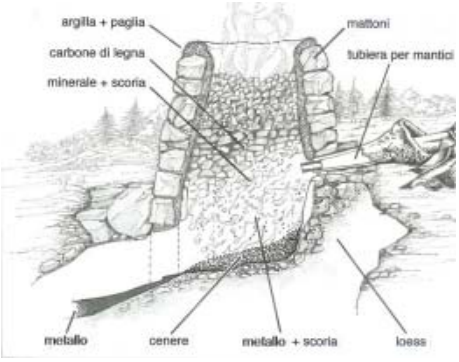


Fig. 5 - Ipotetica rappresentazione di un forno rudimentale attrezzato con mantice

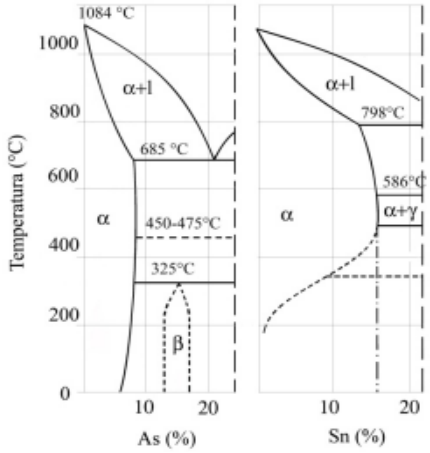


Fig.6 - Diagrammi di stato binari Cu-As (a sinstra) e Cu-Sn (a destra)

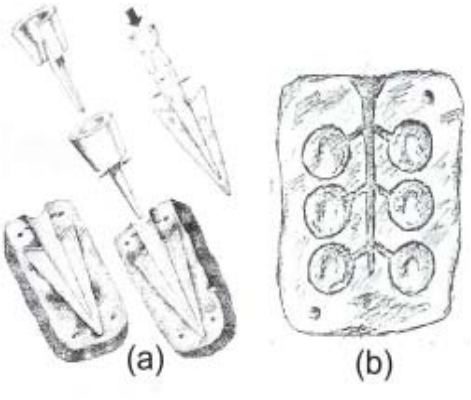


Fig.8 - Metodi di formatura in stampi permanenti anche multipli: a) per punte di spade, b) per monete

L'abbassamento della temperatura di fusione stimola la messa a punto molteplici tecnologie fusorie, permettendo di realizzare oggetti di forme e dimensioni diverse facendo solidificare il metallo liquido in appositi forme (Fig. 8). Molte opere d'arte sono realizzate mediante fusione utilizzando i processi a cera persa sia diretto (Fig.9) che indiretto.

Pochi sono i grandi bronzi giunti fino a noi sebbene moltissimi furono gli scultori decantati e numerose le loro opere descritte. Tra i pochi, si ricordano come capolavori assoluti recuperati in mare: l'Auriga di Delfi , l'Efebo di Maratona, il Poseidone di Istica; non si può dimenticare altresì la bellezza atletica e marziale dei due bronzi di Riace, ritrovati nell'estate del 1972, e del filosofo di Porticello che fa parte dell'eccezionale complesso del relitto rinvenuto nel 1970 a Porticello.



Fig.7 - Diffusione della metallurgia in Europa a partire dalla mezzaluna fertile

Ma proprio per la realizzazione di quasi tutte queste opere si è resa indispensabile la messa a punto di laboriosi processi tecnologici di saldatura. Diversi sono i metodi utilizzati nella giunzione di svariati manufatti: per brasatura, per bollitura, a incastro, per frizione, ecc.

La saldatura avaschetta[1] (Fig.10)[2] è quella più usata per la realizzazione delle principali opere di grandi dimensioni a partire dal V secolo a.C.. In Fig. 11 è riportato un particolare del celebre Kylix del "Pittore della fonderia" che do-

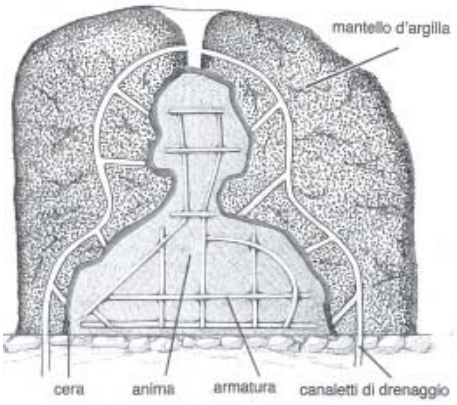
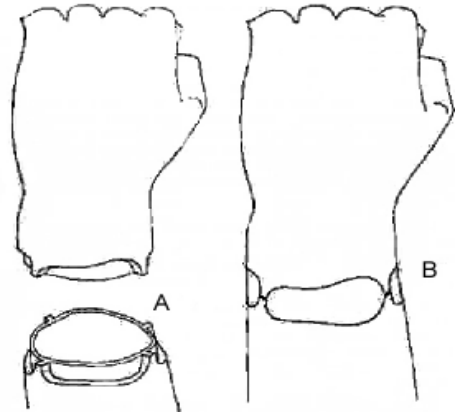


Fig. 9 - Realizzazione di un busto mediante processo di fusione a cera persa. Sull'anima in argilla viene disposto un sottile strato di cera plasmata dall'artista e il tutto viene ricoperto con un mantello pure di argilla. Lo stampo è provvisto di ogni dispositivo atto a permettere il drenaggio della cera fusa prima e dell'entrata del metallo poi



F*ig.10 - Attacco della mano sinistra di uno dei bronzi di Riace effettuato mediante la saldatura a vaschetta. Su entrambe le parti da congiungere si scavano dei opportunamente i lembi per accogliere il metallo fuso che una volta raffreddato formerà la superficie di presa*

cumenta le operazioni per la realizzazione di una grande statua realizzata in varie parti successivamente assemblate[3].

Per effettuare tale procedimento occorre raggiungere temperature superiori agli 800°C e da alcune analisi eseguite risulta che il metallo d'apporto presenta temperature di fusione maggiori di quelle del metallo base. Tale caratteristica rende la saldatura molto più resistente rispetto alle usuali giunzioni realizzate per semplice brasatura.

Ci sembra opportuno concludere questo capitolo con un esempio di ciò che le successive evoluzioni delle tecnologie metallurgiche nel campo dei metalli non ferrosi sono state in grado di originare (Fig. 12)[4], evidenziando le saldature.



Fig. 11 - Particolare del Kylix del "Pittore della fonderia" (Museo di Berlino)

Le leghe ferrose

Il passaggio dalla tecnica fusoria dei bronzi a quella basata esclusivamente sulla lavorazione a caldo delle leghe ferrose comporta lo sviluppo di nuove conoscenze, di altre tecniche specialistiche, di elaborazioni complesse, che non hanno alcun riscontro nella relati-

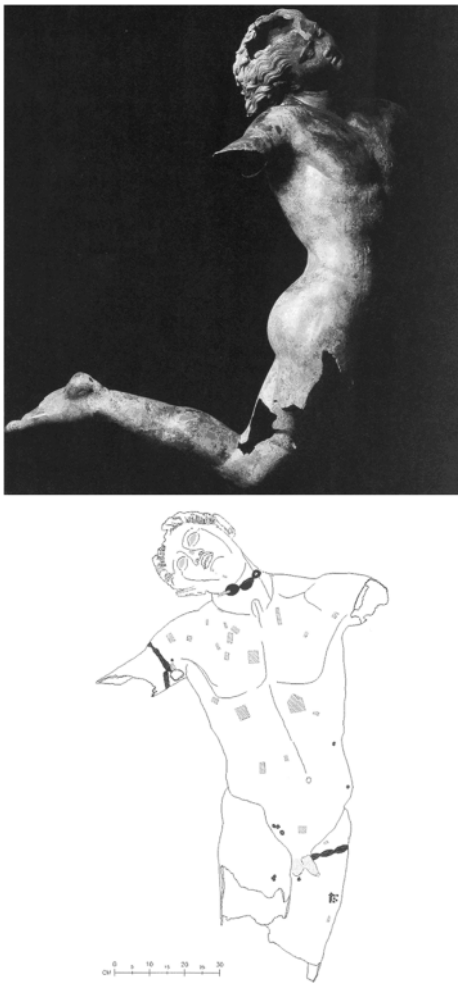


Fig. 12 - Immagine del Satiro Danzante con sotto una schematizzazione del posizionamento delle saldature e di alcune opere di restauro eseguite recentemente

vamente semplice metallurgia del rame e delle sue leghe.

Un ruolo importantissimo nella diffusione delle leghe ferrose è attribuibile agli Hittiti, abitanti dell'Anatolia centrale. La testimonianza è la famosa lettera del re degli Hittiti Hattushilish al re assiro databile intorno al 1250 a.C.. Secondo diversi studiosi, anche in base ad alcuni ritrovamenti, i primordiali processi sono realizzati in "fornetti" a pozzetto, che talvolta si limitano ad una semplice buca scavata nel terreno; i minerali vengono quindi mescolati con carbone di legna in forte eccesso, innescando e attivando la combustione con mantici azionati dall'uomo[5].

Il ferro si è presentato ai primi siderurgici allo stato solido e con un aspetto poroso; questo è tipico per tutti quei metalli la cui temperatura di fusione è, per quei tempi, irraggiungibile.

È importante sottolineare che la successione delle operazioni tecniche per realizzare prodotti siderurgici è molto complessa: dall'attività mineraria ai trattamenti preliminari dei minerali, dal processo di riduzione alla spugna di ferro, fino alla successiva "battitura" a caldo per eliminare le scorie. Le scorie sono essenziali nella produzione della massa spugnosa di ferro e devono avere la giusta consistenza e viscosità, per essere in grado di proteggere il ferro da una riossidazione possibile nella zona antistante gli ugelli. Esse sono per lo più degli ossidi che si formano a partire dalla ganga che accompagna i minerali di ferro e alle massime temperature raggiungibili,sono liquide e vanno a riempire gli interstizi della spugna di ferro. Raffreddandosi queste scorie solidificano, e si trasformano in un materiale vetroso fragile. Se il blumo, dopo raffreddamento, venisse martellato, il conglomerato si sbriciolerebbe, risultando assolutamente inutilizzabile. La spugna di ferro, fram-

mista a scorie, deve essere battuta ad una temperatura alla quale le scorie possano fuoriuscire e ottenere così una massa malleabile.

Vengono così realizzati semilavorati che possono essere poi uniti mediante brasatura (saldandoli insieme) per formare dei blumi o dei lingottini di forma prevalentemente bi-piramidale (Fig. 13). Questi prodotti giungono alle molteplici officine dei fabbri, nelle cui fucine si realizzano diversissimi manufatti con sofisticatissime tecniche che coinvolgono: trattamenti termochimici di diffusione del carbonio (cementazione), saldatura con brasatura di parti caratterizzate da differente composizione chimica, raffreddamenti dalle alte temperature con modalità diverse in funzione degli scopi da raggiungere.

Riassumendo: per produrre il ferro è occorsa la messa a punto di un duplice processo: la riduzione del minerale a spugna di ferro e una operazione di battitura per separare le scorie.

Anche se il ferro è, per qualche secolo, ampiamente noto e la sua diffusione generalizzata, le più significative innovazione nei processi tecnologici avvengono soltanto nel XII e XI secolo a.C. poiché i minerali di ferro sono più diffusi e comuni di quelli del rame e dello stagno e quindi per l'approvvigionamento della materia prima non sono più indispensabili complesse reti di traffici. Una volta appresa la tecnica di riduzione degli ossidi di ferro, è stato possibile utilizzare il metallo su scala relativamente ampia, anche per l'economia primaria ma in particolare solo e soltanto quando

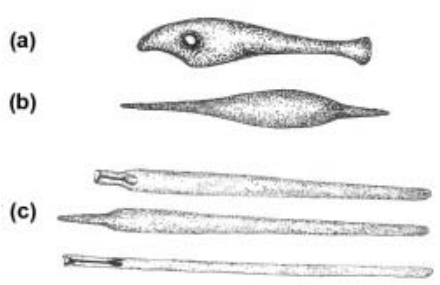


Fig. 13 - Primitive forme di barre d'acciaio nell'Europa: (a) saumon, (b) piramidali, (c) currency bars

verrà individuato l'importante effetto della diffusione del carbonio. Disponendo di una estesa e sofisticata gamma di prodotti si possono costruire strumenti migliori, facilitando tutte le attività in cui è necessario l'utilizzo di utensili. Le popolazioni che per prime hanno saputo trarre vantaggio da questa rivoluzione tecnologica sono senza dubbio i Fenici e i Greci.

Di tutta questa filiera produttiva, poca o nulla è rimasto; solo pochi prodotti finiti: attrezzi, strumenti, armi e oggetti ornamentali, dai quali è possibile formulare delle ipotesi di cicli produttivi alla luce delle moderne conoscenze scientifiche

Come esempio di primi oggetti cementati si può citare il famoso piccone (Fig. 14) ritrovato in Palestina durante lo scavo della fortificazione sul Monte Adir e studiato a fondo a R. Maddin. Dagli esami metallografici e dalla misurazione delle durezze è stato accertato che nella parte tondeggiante la struttura è martensitica e che la parte acuminata, saldata mediante martellatura alla restante, è in acciaio cementato e temprato.

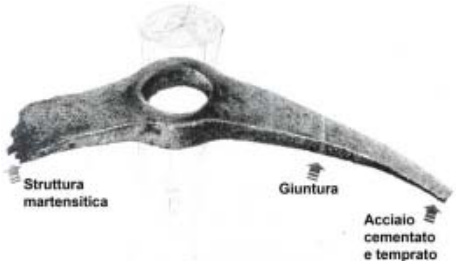


Fig. 14 - Studio di R. Maddin su un piccone ritrovato in Palestina nel XII a.C

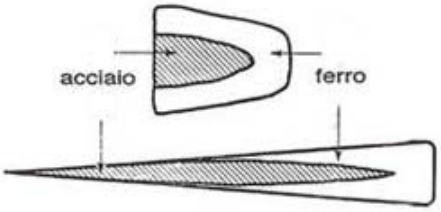


Fig. 15 - Schema della probabile tecnica seguita per preparare la lama ritrovata a Chiusi: sbozzato bimetallico di partenza (sopra), sezione della lama finita (sotto)

Sempre della stessa epoca (XII° sec. a.C.) un pugnale ritrovato a Pella in Giordania ha mostrato un acciaio con struttura bainitica.

Attorno al X sec. a.C. si è quindi diffusa la pratica di carburare i prodotti ricavati dalla spugna di ferro martellata con due distinti obiettivi:

- produrre lame in un materiale, acciaio diremmo oggi, con caratteristiche notevolmente superiori a qualsiasi altro metallo o lega allora esistente;

- realizzare una diffusione del carbonio anche unicamente in determinate zone dove erano richieste le migliori prestazioni.

Indagine metallografiche iniziate a metà del secolo scorso da Panseri e collaboratori[6,7,8], e continuate successivamente[9,10] su reperti ferrosi, strumenti vari e soprattutto armi, hanno gettato nuova luce sulle tecniche siderurgiche etrusche confermando che i fabbri di quelle zone conoscono perfettamente i vantaggi derivati da quella tecnica che è in grado di realizzare materiali ferrosi compositi, tecnica talvolta denominata del damasco saldato: dall'unione per bollitura di più strati di acciai variamente carburati (Fig. 15), si viene ad assommare in un unico pezzo le caratteristiche di resistenza agli urti di un acciaio a basso carbonio con la durezza di un acciaio ad elevato tenore di questo elemento. I prodotti così ottenuti, oltre ad una notevole rigidità, posseggono un ottimo comportamento agli urti. Questi studi hanno accertato che già dal VII secolo a.C. molte armi e manufatti in ferro sono forgiati utilizzando questa tecnica e dimostrano che i fabbri che li realizzano posseggono una profonda esperienza nella tecnologia del ferro. E' molto probabile che questa tecnologia fosse giunta in Etruria ad un livello già notevolmente progredito. Ma se la conoscenza della tecnica della produzione dei materiali ferrosi compositi non può essere considerata una prerogativa della metallurgia etrusca, quel che è certo è che con gli etruschi raggiunge un livello tecnologico straordinariamente elevato, la cui massima diffusione la si troverà in epoca romana con un generalizzato impiego in molteplici applicazioni mentre presso altre popolazioni sembra subire un notevole decadimento fino ad essere quasi del tutto ignorata.

Un esempio dell'alto livello di sviluppo raggiunto dalla tecnica composita

emerge dagli accurati esami[11,12,13] svolti su chiodi rinvenuti, agli inizi degli anni sessanta del secolo scorso, a Inchtuthil, Perthshire (Scozia). Circa 875000 chiodi furono accuratamente nascosti nell' 87d.C. dai legionari romani di Agricola a oltre tre metri di profondità, per sottrarli ad un possibile riutilizzo.

I chiodi si sono potuti suddividere in 6 diverse tipologie secondo la dimensione (da 40 a oltre 300mm) e la forma, sia della testa che del gambo. E' interessante constatare che aumentando le dimensioni i chiodi, anziché essere prodotti utilizzando un unico acciaio a basso carbonio, vengono uniti mediante bollitura acciai ad alto e a basso tenore di carbonio per impartire al prodotto maggiori proprietà resistenziali unitamente a una superiore rigidità (Fig. 16).

Da esemplare a esemplare, da luogo a luogo e da artefice ad artefice variano la scelta e la qualità degli acciai, il numero di saldature realizzate, la complicazione delle ripiegature e di conseguenza il numero e la disposizione degli alterni strati diversamente carburati ma è fuor di dubbio che questa tecnologia abbia messo a disposizione dell'uomo un'innovazione di straordinaria importanza.

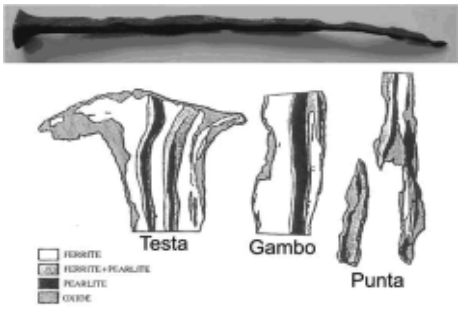


Fig. 16 - Particolare delle strutture presenti in un chiodo romano ritrovato presso Inchtuthil; tali chiodi sono esempi di prodotti compositi

Conclusioni

Ci sembra superfluo ribadire l'importanza delle innovazioni tecnologiche nella storia dell'uomo: deformazione plastica, ricristallizzazione, riduzione dei metalli, alligazione, trattamenti termochimici, saldatura e messa punto di materiali compositi; Si riporta quindi solo un passo tratto dalla Naturalis Historia di Plinio il Vecchio che dimostra il ruolo del ferro nell'antichità: "Il ferro è il migliore e il peggiore strumento di vita, poiché con questo metallo ariamo la terra, tagliamo gli alberi, potiamo i cespugli, costringiamo le viti, dopo che abbiamo tagliato via i rami secchi, a ringiovanire ogni anno, con esso costruiamo edifici, tagliamo le rocce e usiamo il ferro per altri impieghi, ma utilizziamo lo stesso metallo per guerre, stragi e rapine, non lo usiamo solo nei duelli corpo a corpo, ma anche come missili volanti, ora lanciato da strumenti di guerra, ora con forza delle braccia, non solo, ma ora viene anche dotato di ali, cosa che considero la più criminale perfidia dell'ingegno umano, poiché per far giungere più in fretta la morte all'uomo, l'abbiamo fatto volare e abbiamo dato le ali al ferro."[14]

[1] E. FORMIGLI, *I grandi Bronzi antichi*, Siena, Ed. NIE, 1999.

[2] E. FORMIGLI, *I grandi Bronzi* (cit), p. 67.

[3] G.FOTI, C. SABBIONE, *I Bronzi di Riace*, Novara, Istituto Geografico De Agostini, 1981.

[4] R. PETRIAGGI, *Il satiro danzante*, Milano, Leonardo International, 2003.

[5] W. NICODEMI, *La civiltà del ferro, dalla preistoria al III millennio*, Milano, Ed. Olivares, 2004.

[6] C. PANSERI , *Ricerche metallografiche sopra una spada da guerra del XII secolo*, " Quaderno 2", 1954, 1.

[7] C. PANSERI et al. , *Esame metallografico di un'ascia in ferro del VII-VI secolo a.C.*, "La Metallurgia Italiana", 11, 1960, pp. 229-236.

[8] C. PANSERI, M.LEONI, *Esame di una cuspide di lancia del IV secolo a.C.*, "La Metallurgia Italiana", 10, 1966, pp. 381-389.

[9] C. MAPELLI, R. RIVA, R. VENTURINI, *Metallurgical Investigations on Two Sword Blades of 7th and 3rd Century B.C. Found in Central Italy*, "ISIJ Int.", 45, 2005, pp. 1358-1367.

[10] C. MAPELLI, W. NICODEMI, R. RIVA, *Microstructural Investigation on a Medieval Sword Produced in 12th Century A.D.*, "ISIJ Int.", 47, 2007, pp. 1050-1057

[11] N.S. ANGUS, G.T. BROWN, H.F. CLEERE, *The iron nails from the Roman legionary fortress at Inchtuthil, Perthshire*, J. Iron Steel Inst.", 200, 1962, pp-956-968.

[12]M.BONIARDI, E. GARBOLDI, M. VEDANI, Metallographic studies on an ancient Roman nail, "Metallurgical Science and Technology", 10, 1992, pp. 28-38.

[13] C. MAPELLI, W. NICODEMI, M.VEDANI, *Development of analysis on the nails from the Roman legionary at Inchtuthil*, "Steel research" in press.

[14] PLINIO, *Naturalis Historia*, 34.

Lia M. Papa

Logica ed evoluzione delle strategie descrittive

La formazione dell'ingegnere e la sua attività operativa è stata sempre permeata dalla primaria esigenza di controllare lo spazio e, conseguentemente, di acquisire e consolidare la necessaria padronanza dei fondamenti scientifici della rappresentazione grafica. Ciò ha motivato anche la ricerca delle strategie più efficaci per la descrizione dell'oggetto nella sua genesi configurativa, spaziale, e nelle sue fasi realizzative.

In realtà tutte le discipline che concorrono alla formazione di questa figura di tecnico colto hanno avuto motivazioni pratiche e spesso origini empiriche. Anche la matematica si è sviluppata come scienza nata per risolvere problemi di carattere sovente ingegneristico, dando quindi importanza all'aritmetica pratica ed alla misurazione[1] .

Nell'evolversi di concrete azioni, procedure ed esperienze la rappresentazione grafica ha avuto alcune tappe significative con l'ampliarsi degli orizzonti tecnico-scientifici da un lato e delle problematiche operative, in relazione alle scale, agli obbiettivi ed agli utenti, dall'altro; esse hanno visto via via una più attenta e mirata definizione della struttura logica del discorso grafico anche nei suoi aspetti divulgativi e nell'impiego dei suoi strumenti più allusivi.

L'efficacia e l'immediatezza del processo comunicativo richiede la preliminare semplificazione nel messaggio da un sistema complesso di dati ad una serie ordinata di schemi. La formazione del modello descrittivo scaturisce cioè dal compromesso tra l'*enfatizzazione* di alcuni elementi e l'*esclusione* di altri. È evidente che questo compromesso è efficace nella misura in cui è *comune* e *comunicabile*, quindi strutturato secondo regole condivise che riconducono al legame comune a tutti i processi comunicativi, tra ciò che deve essere *mostrato* e ciò che serve a *mostrare*.

Le varie tecniche utilizzate nel disegno nel corso della sua evoluzione e definizione in termini espressivi hanno tentato di rispondere a tale esigenza, identificandosi talvolta con la delineazione del contorno apparente di meccanismi e volumi, talaltra invece sono state attente alla descrizione delle superfici dell'oggetto, fornendo informazioni sulle tessiture dei materiali, sui colori e sul gioco dei solidi sotto la luce, al fine di rendere il disegno più verosimigliante ad un'idea di progetto o ad un oggetto concreto

L'esigenza di legare un corpus organico di fondamenti alla soluzione di problemi pratici e costruttivi ha sostanziato anche la definizione di una produzione scientifica e trattatistica la cui impostazione ha seguito un percorso teso a delineare lo stretto rapporto tra il *sapere* ed il *saper fare*[2].

Un esempio che in questa sede mi sembra calzante è dato dal complesso di volumi di teoria e di tavole correlate del *Cours de Mathematiques a l'usage de l'ingénieur civil*, di J. Adhémar, che presentano, non a caso, il sottotitolo *Applications de Géométrie descriptive*, pubblicate nel decennio tra il 1860 ed il 1870. In essi l'autore affronta in maniera articolata e sistematica, dal punto di vista teorico e pratico, la prospettiva, le ombre, il taglio delle pietre, con approfondimenti di carpenteria.

L'approccio metodologico, come chiaramente enfatizzato nel titolo di ogni volume, è di tipo matematico. Il discorso si dispiega legando i fondamenti teorici alle applicazioni ricorrenti nelle competenze dell'ingegnere che deve utilizzare il disegno per esplorare, controllore e verificare concretamente.

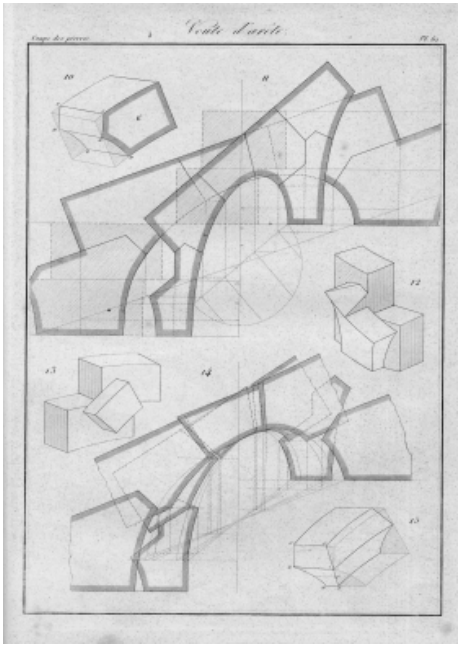


*Fig. 1 - J. Adhémar,*Voute d'arete, *pl. 61. In:* Cours de Mathematiquess a l'usage de l'ingénieur civil, *sottotitolo:* Applications de Géométrie descriptive, *1865*

In particolare, le tavole relative al volume intitolato *Traité de la coupe des pierres*, due delle quali sono riportate esemplificativamente nelle immagini in figura 1 e 2, dispiegano un discorso grafico-descrittivo sulla genesi geometrica dei singoli elementi che compongono una partizione architettonica in pietra, evidenziando la giacitura dei piani che li definiscono, necessaria per pervenire alla configurazione oggettiva degli stessi.

Non è un caso, quindi, che largo spazio venga dato alla Stereotomia la cui *tecnica aedificandi*, nota come una pratica di cantiere utile alla costruzione, crea una forma dell'architettura ontologicamente aggettivata, in quanto è al tempo stesso struttura fondamentale e sostanza; essa offre cioè risposte geometriche tese a garantire la continuità plastica dei volumi che costruiscono lo spazio e, nel progettare la conformazione dello stesso, si fa pensiero costruttivo della forma.

In effetti la Stereotomia è intesa, durante tutto il Settecento, come un compendio di più tecniche, alla cui base vi erano i *traits*, ossia quei disegni adottati per consentire un taglio preciso dei blocchi, utilizzati per la realizzazione di antiche fabbriche in pietra il cui statuto scientifico aveva avuto già una prima sistematizzazione metodologica nel Cinquecento grazie soprattutto a Philibert de l'Orme[3]. Nei libri III e IV della sua opera *Le Premier Tome de l'Architecture*

vi sono infatti i prodromi dello sviluppo scientifico della disciplina, se è vero infatti che nei trattati successivi, fino a quello di Frézier, la Stereotomia da originaria *arte del taglio delle pietre* è riguardata come *scienza del taglio delle pietre* ed assume pertanto i connotati di una disciplina necessaria alla formazione tecnica.

Condurre dei ragionamenti per forme che oggettivizzano la natura logica dell'architettura, attraverso lo sviluppo topologico del materiale e della struttura, è ciò che viene indicato nell'evoluzione storica del percorso formativo dell'ingegnere, ed in particolare in alcune Scuole, come quella di Napoli, laddove vengono proposti e studiati quei trattati che si accompagnano allo studio dell'architettura del passato fornendo la possibilità di far fronte, attraverso il ridisegno di tipologie ed ordini classici, alla esigenza di conoscere e di acquisire una base di riferimento stilistica, nella direzione di una cosciente, intenzionale maturazione estetica[4] e di padroneggiare le indagini geometriche sulla compenetrazione tra i corpi solidi e sulle loro proporzioni, evidenziando lo stretto legame esistente tra forma e materia, nella riproposizione unitaria del concetto di opera *architettonica* che è radicata nella cultura originaria di tecnico colto tanto da giustificare una sua formazione e competenza come *ingegnere-architetto*[5].

Il linguaggio grafico si evolve confermandosi come strumento necessario per prendere conoscenza degli statuti indispensabili per organizzare i fondamenti o per renderli confrontabili con gli eventuali processi di sviluppo, comprensione e sperimentazione della forma. Esso rivela l'invito ad un uso non acritico, ma addirittura coinvolgente, grazie anche all'impiego delle ombre e del colore.

I modelli grafici delle superfici voltate costituiscono una significativa, ricorrente esemplificazione di un tema costruttivo fortemente presente quindi anche nella didattica.

I programmi di Geometria descrittiva affrontano sistematicamente i diversi metodi di rappresentazione; tuttavia, "*dopo aver reso familiari gli allievi alle soluzioni dei problemi fondamentali nei diversi sistemi*"[6], viene dato il

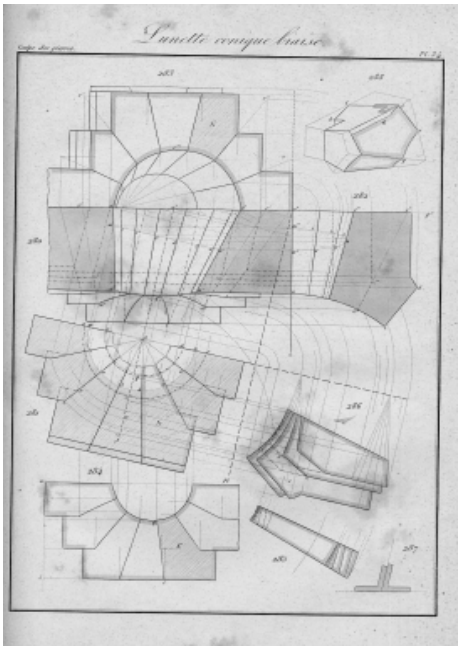


Fig. 2 - J. Adhémar, Lunette conique biaise, *pl. 34. In:* Cours de Mathematiquess a l'usage de l'ingénieur civil, *sottotitolo:* Applications de Géométrie descriptive, *1865*

maggior sviluppo a quello di Monge, in relazione soprattutto alla Stereotomia[7] , come scrive Francesco Paolo Tucci nelle *Nozioni Preliminari* al suo testo sulle volte[8], nel quale sottolinea come "*la stabilità della fabbrica, ed insieme l'esattezza e l'economia del lavoro esigono ancora che i cunei dei quali deve comporsi la volta abbiano una figura determinata, scoperta generalmente da Monge, ed i cui particolari si esaminano nella stereotomia*".

Monge insegna anch'egli Stereotomia presso la Scuola del Genio Militare di Meziéres, dal 1770 al 1784[9]. Come lui gli studiosi che trattano la disciplina, ad esempio De La Rue e Frézier, affrontano un corpus di fondamenti riguardanti la geometria, ai quali far seguire le sue specifiche applicazioni, tra cui appunto il taglio delle pietre[10]. Le modalità descrittive sono ad un tempo puntuali e sintetiche nei continui rimandi tra partizioni geometriche e contesto costruttivo. Peraltro le proiezioni mongiane, gestite con grande padronanza nella definizione delle varie *viste* piane, rimandano quasi sempre alla sintesi volumetrica fornita dal modello assonometrico.

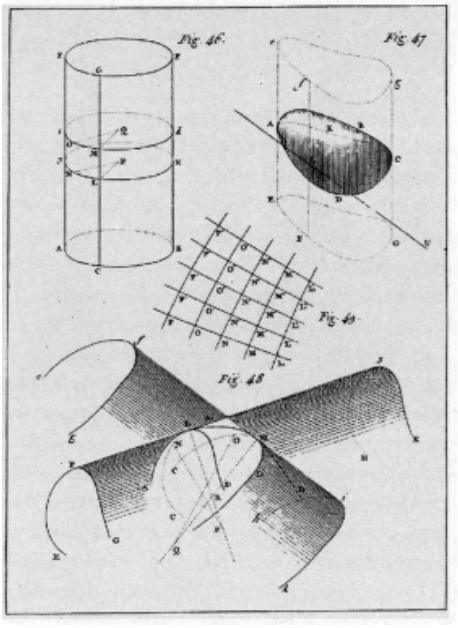


Fig. 3 - J.P. De La Rue, Traité de la coupe de pierres, *Paris, 1728*

A differenza del metodo delle doppie proiezioni ortogonali il metodo di rappresentazione che M. H. Meyer nel 1852 chiamò assonometria, determina infatti una visione più immediata della configurazione spaziale dell'oggetto rappresentato.

I principi matematici e geometrici della rappresentazione assonometrica affondano le loro radici del Seicento allorquando se ne definiscono le prime regole.

Bonaventura Cavalieri, matematico ed astronomo, fornisce un fondamentale contributo alla definizione di quella che inizialmente viene chiamata *prospettiva parallela*, costruita grazie ad un *occhio geometrico* posto all'infinito; nello stesso periodo, Gerard Désargues pone le basi della Geometria proiettiva con la definizione di punto all'infinito.

Nel 1635 esce la *Geometria indivisibilibus continuorum nova quadam ratione promota* che si propone di promuovere la geometria col nuovo metodo degli "*indivisibili*".[11]

L'opera di Cavalieri, ancorché recentemente rivisitata, porta a collocare le sue idee tra quelle che anticipano, genialmente, sviluppi recenti del pensiero matematico. Si tratta della presa in con-

siderazione dell'*infinito*, definito come *molteplicità* di infiniti elementi, raccolti mentalmente in base a una loro proprietà caratteristica. In tal verso Cavalieri è, ci sembra, il primo pensatore che distingua nettamente tra *somma* di elementi di un continuo, nel senso della misura, e *insieme* di elementi del continuo stesso. Egli non asserisce mai che un continuo è *somma* dei suoi indivisibili - punti, segmenti, o regioni piane -; dice soltanto che tutti i piani di un solido sono insiemi perfettamente definibili e pensabili, benché composti da infiniti elementi: definibili e pensabili perché esiste in ogni caso un criterio preciso che ci permette di dire se un elemento appartiene o no all'insieme in questione.

Molti sono gli studiosi di formazione matematica che si dedicano alla teorizzazione del metodo assonometrico, come Tramontini[12], che relaziona la prospettiva centrala a quella parallela, Farish[13] che evidenzia le connotazioni volumetriche di una rappresentazione da direzioni improprie, e Pohlke al quale si deve il teorema generale sull'assonometria obliqua. Sempre più esso trova la sua più valida collocazione nell'espilicitazione del percorso descrittivo che lega l'idea alla sua concretizzazione materica ed alle problematiche realizzative connesse.

Notoriamente un momento cruciale nello sviluppo dell'espressione grafica di tipo tecnico è legato all'azione di Gaspard Monge che, tra l'altro, fu tra i fondatori, nel 1795, dell'Ecole Polytecnique, dal cui modello è derivata, nel 1811, la Scuola di Applicazione, poi Ingegneria di Napoli[14].

In questo periodo si determina anche una distinzione sempre più marcata tra ingegneri militari e ingegneri civili che nell'Ottocento si separano da quelli industriali anticipando quella frammentazione del sapere che via via tenderà a forme anche esasperate. Rispetto al secolo precedente, quindi, i disegni si realizzano mediante una vasta pluralità di intenti riconducibili tuttavia alla imprescindibile *ricodificazione* del disegno, che si definisce mediante la produzione di una serie di modelli grafici, di tipo affine, che consentono di valutare i procedimenti di *riduzione* e *astrazione* applicati agli elementi del reale.

Il primato del disegno ne esce rafforzato, così pure l'indispensabilità della

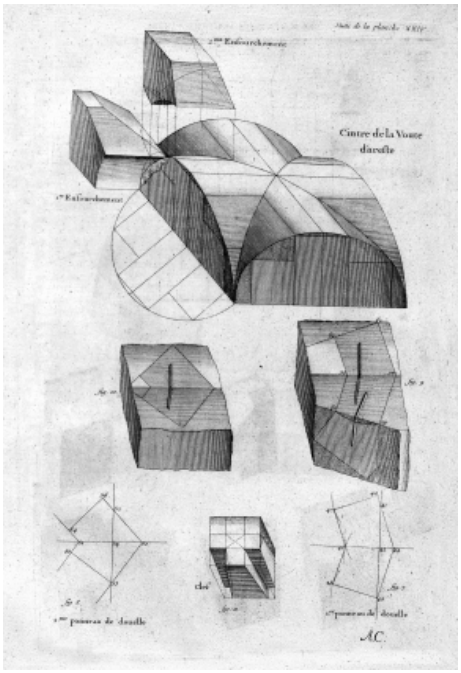


*Fig. 4 - G. Monge, S*tudi di superfici e loro intersezione. *In:* Géométrie Descriptive, *Pargi, 1838*

geometria e l'utilità degli studi che su di essa e tramite essa possono condursi[15]. La rappresentazione grafica segue quindi una logica correlazione descrittiva nella quale i fili del discorso tecnico e specialistico si intrecciano con quelli scaturiti dai ragionamenti intorno al possibile impiego delle singole tecniche ed alla valorizzazione delle conoscenze.

Indubbiamente la maggiore attenzione alla potenzialità espressiva del disegno si lega alla sua riproducibilità e quindi diffusione. Lo sviluppo della stampa e il progresso della tecnica di incisione hanno avuto un ruolo fondamentale per la compiutezza descrittiva. L'ambito accademico costituisce una cassa di risonanza sia per la costruzione delle opere che per i modi di presentazione delle stesse.

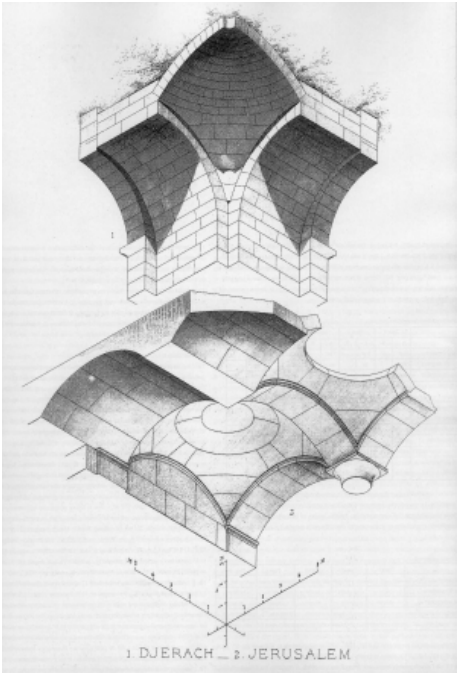


Fig. 5 - A. Choisy, Voutes d'arete. Voutes sur nervures diagonales triples. Palatin.
In: L'Art de batir chez les Romains*, Tav. VIII, Ducher et Cie Paris, Paris, 1873*

Tuttavia la produzione trattatistica, intesa come opera scritta nella quale si espongono sistematicamente e con ordine gli argomenti relativi a una disciplina di studio, viene via via emarginata a fronte di una produzione dalla più forte valenza divulgativa.

In tale contesto l'opera di A. Choisy, che è stata letta quasi sempre in chiave storicistica, ma poco indagata dal punto di vista delle linguaggio descrittivo utilizzato, si pone forse come una delle ultime produzioni trattatistiche che esprime chiaramente queste accezioni, conferendo al disegno la sua collocazione centrale nella ricerca costruttiva, recuperando il contributo della storia dell'architettura in un quadro formativo unitario attraverso anche l'uso di strategie descrittive atte ad evidenziare le forti relazioni tra apparati e organizzazione distributiva.

Choisy nasce nel 1821 in un piccolo centro del dipartimento della Marna. La prima giovinezza viene formata anche dall'ambiente familiare poichè il padre era architetto e tecnico della viabilità. Dopo il collegio il giovane si trasferisce a Parigi per preparare il suo ingresso al Politecnico dove viene ammesso nel 1861. Si diploma diciannovesimo nel 1863 per poi iscriversi al Genio Civile.

Finiti gli studi viene nominato ingegnere ordinario di terza classe ed ottiene come sua prima sede operative il canale delle Ardenne. dove rimane fino alla guerra. Al suo ritorno, dopo essere stato insignito della Legion d'onore, è

finamente trasferito a Parigi dove può dedicarsi agli studi di Storia dell'architettura ed all'insegnamento di questa disciplina, prima presso la scuola del Genio Civile e poi, dal 181 al 1901, al Politecnico. Diventa quindi capo del servizio cartografico della scuola del Genio Civile e svolge contemporaneamente attività di insegnamento a Versailles.

Nel 1899 pubblica la sua opera più conosciuta, *l'Histoire de l'architecture*[16], grazie alla quale intende dimostrare che solamente nel momento in cui si realizzi un preciso e necessario accordo fra tipologia architettonica, tipologia struttuale e tecnologia costruttiva, allora si può assistere alla nascita di una nuova *grande architettura*, richiamandosi chiaramente ai principi vitruviani[17].

Egli espone storie dell'architettura viste da ingegnere colto, maturate in Scuole di ingegneria e rivolte ad un pubblico di ingegneri. Era infatti necessario che quei tecnici nella loro professione e nella pratica costruttiva nel campo civile avessero una preparazione ed una cultura non esclusivamente centrata sulle discipline matematiche ma anche sensibile ai principi propri dell'architettura che vengono desunti dallo studio di determinate epoche architettoniche e dall'analisi degli edifici che le hanno contraddistinte.

Temi quali tipo, costruzione, forma e decoro, e ancora misura, unità e armonia, rapporto con il luogo e rapporto tra le parti per Choisy sono le chiavi attraverso cui leggere le diverse tappe dell'evoluzione costruttiva.

Più volte egli sottolinea la relazione che deve esistere tra forma e struttura, ossia che "*la forma sta alla struttura come l'espressione all'idea*".

Nella prefazione all'*Histoire de l'architecture* scrive: "*Les documents graphiques, quelquefois simplifiés par la suppression de détails superflus sont, pour le plus grand nombre, présentés en projection axonométrique, systéme qui a la clarté de la perspective et se prète a des mesures immediates.*

Dans ce systeme, une seule image mouvementée et animée comme l'é-

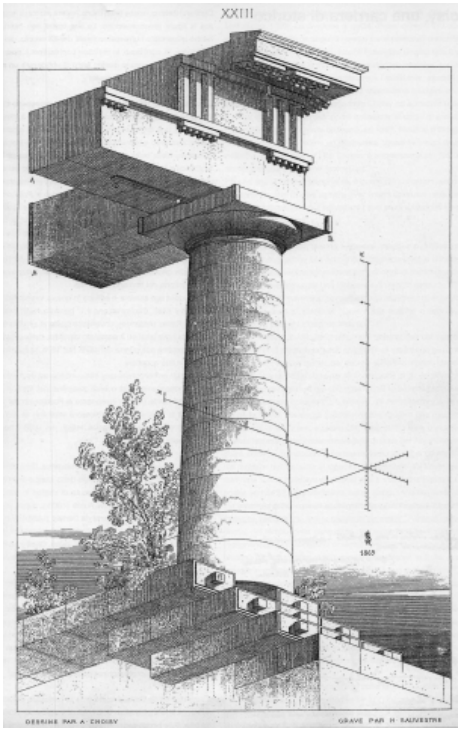
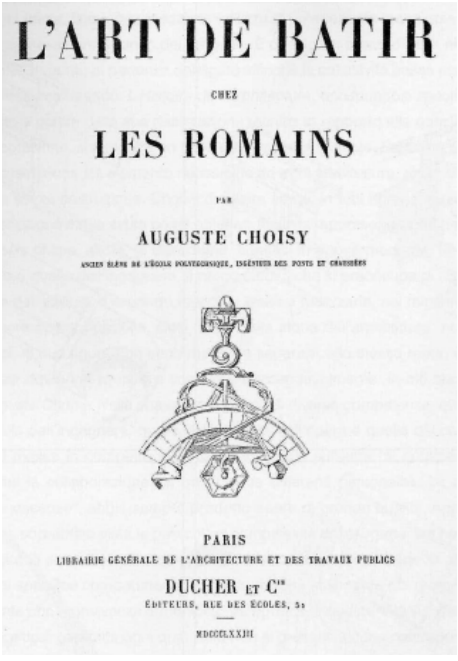


Fig. 6 - A. Choisy, Organisation des chartiers. Grecques des methodes romains. U temple grec a l'eta l'etat d'épannelage. Segeste. *In:* L'Art de batir chez les Romains, *Tav. XXIII, Ducher et Cie Paris, Paris, 1873*

difice luimeme, tien lieu de la figuration abstrate, fractionnée par plan, coupe et elevation. Le lectuer a sous les yeux, a la fois, le plan, l'exterieur de l'edifice, sa coupe et ses dispositions interieures. Toutes ces figures sont accompagnees d'echelle".

Il testo si dimostra estremamente attuale, occupandosi specificamente del progetto a partire dalla sua realizzazione tecnica in rapporto alla questione del tipo e della decorazione; Choisy dimostra come, in tutti i grandi momenti della storia, la costruzione abbia avuto come obiettivo finale la rappresentazione del senso della costruzione e del suo significato.

Il richiamo in questa sede al trattato è relativo anche al largo impiego delle


L'ART DE BATIR

CHEZ

LES ROMAINS

PAR

AUGUSTE CHOISY

ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

PARIS

LIBRAIRIE GÉNÉRALE DE L'ARCHITECTURE ET DES TRAVAUX PUBLICS

DUCHER ET Cie

ÉDITEURS, RUE DES ÉCOLES, 54

MDCCCLXXXIII

*Fig. 7 - Frontespizio dell'*Art de Batir chez les romains, *di Auguste Choisy, Parigi 1883*

assonometrie - ortogonali ed oblique - nelle sue tavole illustrative. Il metodo, nella sua connotazion isometrica, aveva avuto un'applicazione originaria in campo militare e, dagli inizi dell'Ottocento, un rinnovato impulso, con il diffondersi dell'industrializzzione e la conseguente necessità di disegni funzionali alla realizzazione ed all'assemblaggio di oggetti.

In tale contesto, a partire dalla fine del secolo, in Italia i manuali diffondono un complesso di esperienze tecniche, già largamente sperimentate all'estero, contribuendo a colmare il divario tra il nostro paese e le altre nazioni europee, a scapito sovente della riproposizione di quella rigorosa filiera esistente tra conoscenza ed attività pratica.

Di conseguenza i testi subiscono una negativa trasformazione: se la scrittura era veicolo di insegnamento costruttivo inquadrato in un sapere ampio, progressivamente la pubblicazione si svuota degli opportuni risvolti teorici.

I manuali registrano e codificano con intenti divulgativi il sapere teorico-pratico e con esso le condizioni storiche e gli stadi di sviluppo delle varie società, i modelli di comportamento e le istanze delle classi dominanti, come i problemi nascenti con l'emergere di nuovi bisogni. Essi riportano i tipi costruttivi più diffusi, l'uso di materiali e di tecniche, in riferimento alle risorse ambientali locali, che si rapportano direttamente ai modi di insediamento e di produzione sul territorio.

Il disegno non è più solo la sintesi di una speculazione teorica: la rappresen-

tazione a fini tecnici, che discretizza le forme grazie all'impiego di una codificazione normalizzata, mostra progressivamente un'espansione del dato esclusivamente grafico che determina talvolta la perdita delle tecniche e del senso figurativo, indugiando spesso al gesto creativo illusorio.

Sempre più spesso l'esercizio grafico tende ad abbandonare alcuni principi esplorativi, o almeno sembra voler smarrire le sue normative più solide, che nel passato sono stati cardini sicuri di un modo di investigare la materia e le forme: dal significato del disegno e della rappresentazione del progetto, alle competenze pratiche e costruttive relazionate a scelte formali giustificate, fino alla necessità di governare il pensiero teorico e l'idea dell'architettura, al di là delle sue naturali declinazioni stilistiche..

In tal verso la ricerca sperimentale sull'aggiornamento e rinnovamento della Stereotomia, anche con il supporto delle più aggiornate tecnologie, rappresenta un tema attuale; essa tra l'altro focalizza l'attenzione su di un obiettivo di natura epistemologica, con la definizione degli statuti necessari per consolidare un aspetto fondativo e scientifico condiviso nella formazione e nella pratica professionale, nella quale il progetto ed il prodotto sono due aspetti fondamentali.

[1] Cfr. V. Ferone, G. Trombetti, *Matematica e Ingegneria: convergenze parallele*, in A. Buccaro, G. Fabricatore, L.M.Papa (a cura di), *Storia dell'Ingegneria*, Tomo I, Napoli, Cuzzolin, 2006, pp.39-48.

[2]Ad esempio il *Trattato generale di costruzioni civili, con cenni speciali intorno alle costruzioni grandiose*, di Gustav Adolf Breymann, già consigliere delle Pubbliche Costruzioni e professore nel Politecnico di Stoccarda, pubblicato per la prima volta nel 1884 in 5 volumi, è stato di riferimento per la formazione di molte generazioni di ingegneri ed architetti europei a partire dalla seconda metà dell'Ottocento.

[3] Nel Cinquecento Philibert de l'Orme (1510-1570) era stato tra i primi ad occuparsi dei sistemi voltati ed in particolare delle volte sferiche, con riferimento, in particolare, alle volte a vela su vano quadrato, rettangolare, triangolare.

[4] Nella predilezione per le rovine del passato si avvertono i prodromi di quella nuova sensibilità proto romantica che tinge di particolare luce tutte le manifestazioni più significative di fine Settecento.

[5] Cfr. L.M.Papa, *Linguaggio e modelli grafici nell'evoluzione delle conoscenze-competenze dell'ingegnere*, in A. Buccaro, G. Fabricatore, L.M.Papa (a cura di). *Storia dell'Ingegneria*, op.cit., Tomo I, pp. 243-256.

[6] Cfr. G.Torelli, *Sei lezioni di Geometria Descrittiva, contenenti la risoluzione dei problemi fondamentali col metodo delle Proiezioni Centrali*, Napoli, Libreria Scientifica e Industriale di B. Pellerano, 1977, pp. 55.

[7] Numerosi libri diffusi in Italia in ambito accademico sono traduzioni di testi francesi. Un esempio significativo è rappresentato dal *Trattato di Stereotomia* di C.F.A. Leroy, professore della Scuola Politecnica e della Normale, e cavaliere della Legion d'Onore. La prima traduzione, edita a Napoli nel

1847, dalla Real Tipografia Militare, è opera di Salvatore D'Ayala e Francesco Paolo Tucci, il primo capo di dipartimento del Ministero di Guerra, il secondo professore di Geometria descrittiva nella Scuola di Applicazioni di Ponti e Strade. Il loro lavoro mette in luce lo stretto legame esistente, nell'ambito dei percorsi formativi degli ingegneri, tra i fondamenti geometrici del disegno come momento di analisi, e la morfologia e dimensione dei materiali impiegati, fin dall'antichità, nelle costruzioni civili.

[8] Cfr. F.P. TUCCI, *Della misura delle volte rette ed oblique. Trattato teoretico e pratico di FRANCESCO PAOLO TUCCI, socio ordinario dell'Accademia pontaniana, professore di Calcolo differenziale ed integrale nel Real Collegio militare, e di Geometria descrittiva nella Scuola di Applicazioni di Ponti e Strade*, Napoli, della Tipografia Sangiacomo, 1832.

[9] Cfr. V. CARDONE, *Gaspard Monge, scienziato della rivoluzione*, Cuen, Napoli, 1996.

[10] Cfr. J.P. DE LA RUE, *Traité de la coupe de pierres*, Paris, 1728, pp. 167-183. Cfr. A.F. FRÉZIER., *Le Theorie et le pratique de la coupe des pierres et des bois, pour la constructions des voûte et autres perties des bâtiments civilies et militaires, ou traité de la steréotomie, a l'usage de l'architecture*, par M.F., J.D.Daufseker figlio, Strasburgo, 1739.

[11] Cfr. L. LOMBARDO-RADICE, *Geometria degli indivisibili di Bonaventura Cavalieri*, Torino, Classici U.T.E.T, Unione Tipografico – Editrice – Torinese, 1966.

[12] Cfr. G. TRAMONTINI, *Delle proiezioni grafiche e delle principali applicazioni*, Modena, Società Tipografica, 1811.

[13] Cfr. W. FARISH, *On Isometrical Perspective*, Cambridge, 1820.

[14] Cfr. L.M.PAPA, *La cultura del disegno nella Scuola napoletana di Ingegneria.Origini ed evoluzione*, in L.M.PAPA (a cura di), *Il disegno nella facoltà di Ingegneria, tra didattica e ricerca*, Cuen, Napoli, 2007.

[15] Cfr. G. LORIA, *Storia della geometria descrittiva dalle origini sino ai giorni nostri*, Hoepli, Milano, 1921.

[16] Choisy pubblica, tra l'altro, nel 1883, *L'Art de batir chez les byzantins*, e *L'Art de batir chez les* romains e, l'anno successivo, *Etudes épigraphique sur l'architecture grecque.*

[17] Cfr. M. D'OCTOGNE, *Auguste Choisy e l'art de batir les Anciens*, Vannes, Lafolye, 1930. Cfr. M. AUBERT. AUGUSTE CHOISY, *Zeitschrift fur Geschichte del Arhitektur*, n.3, 1910, pp.55-61.

Zaira Dato, Stefania Di Pietro, Antonio Perretti

Il ruolo dell'ingegneria strutturale nella creazione di nuove spazialità

La fondazione dell'Ecole Polytechnique sancisce, nel 1795, la fine dell'artifex polytechnes rinascimentale, personaggio di cultura poliedrica di concezione vitruviana. Nei decenni successivi, necessità politiche e militari impongono, nella Francia post rivoluzionaria, la nascita della moderna figura dell'ingegnere; a partire da quel momento, tutte le innovazioni tecnologiche introdotte dall'ingegneria sembrano siano state recepite nel tempo, trasformate, fagocitate dall'architettura e, attraverso l'opera originale di alcuni architetti, siano diventate grammatica nella composizione architettonica successiva. Dai primi anni dell'800, infatti, in alcuni episodi, sfruttando il rapido progresso della tecnica, sembra che l'ingegneria abbia determinato autonomamente nuove spazialità ed elementi compositivi rispetto ai canoni classici dell'architettura. Dopo la rivoluzione francese, si evidenzia e accentua l'asincronismo tra la cultura tecnica e quella architettonica così da imputare all'architettura talora la funzione sola estetico-decorativa.

La capacità dell'ingegneria di soddisfare in maniera chiara ed immediata i bisogni della società ottocentesca, genera quindi una nuova filosofia che mette in dubbio la funzione classica dell'architettura. All'inizio dell'800 K.F. Schinkel dichiara: "Trasformare qualcosa di utile, pratico, funzionale in qualcosa di bello: questo è il compito dell'architettura"[4].

Le più importanti opere dell'ingegneria costruite a partire dalla fine del '700, da tempo sono state collocate nel quadro unitario del movimento moderno, insieme alle grandi architetture. Tuttavia, affrontando il tema dell'evolvere del concetto di *spazio in architettura*, in analogia alla classificazione di Giedion[7], ci si è interrogati sull'effettivo contributo dell'*ingegneria strutturale* nella creazione di nuove spazialità. Luoghi, geometricamente innovativi, spesso legati alla poetica della grande dimensione, sono prevalentemente nati da necessità utilitaristiche (come le stazioni) o rappresentative (come i padiglioni) ma, di fatto, oltre a creare nuovi spazi fisici hanno creato nuove spazialità di difficile e immediata percezione antropologica. Non ci si vuole riferire al concetto classico di spazialità in architettura, collocata in tre fasi storiche dall'antichità



Fig. 1 – Schinkel, Bauakademie, 1832

ad oggi da Giedion, piuttosto del nuovo concetto di spazialità nato con l'*architettura dell'ingegneria*[7]. Si vuole parlare di spazialità, scevra da eclettismi classici o gotici, nata per opera di tecnici che cercavano, funzionalmente, di assolvere i nuovi bisogni della nascente società globalizzata, più colta e mobile del passato - la borghesia illuminata - che dalla fine del Settecento darà sostanza alla rivoluzione industriale.

Per non sminuire *l'architettura dell'ingegneria* a mero tecnicismo, occorre collocare temporalmente l'esigenza collettiva di nuove spazialità che ha portato alla creazione d'inedite volumetrie. La necessità di un affrancamento dai vecchi stilemi, nasce alla fine del '700 con la crisi d'identità compositiva che gli architetti vivono contestualmente allo sviluppo della corrente illuminista. Nella storia del vecchio continente non ancora allargato e privo di confini stabili, gli edifici pubblici che dovevano comunicare attraverso un linguaggio comune e immediato, non potevano non ispirarsi allo stile classico. In tutte le facciate rappresentative imperavano colonnati, lesene e capitelli così come catalogato da Diderot nell'*Enciclopedia* del 1780. Queste accomunavano tutti i Paesi europei e tali caratteristiche classicheggianti non erano solo decorative, ma anche planovolumetriche, con una percezione spaziale collaudata per oltre un millennio. Alla fine del '700 il classicismo era applicato anche in maniera decorativa a tutti gli ambienti ed oggetti tanto da dare un'unità stilistica a tutto quanto visibile e fruibile e, probabilmente, era tale da non soddisfare più i gusti della borghesia, che cominciava a chiedere una nuova identità architettonica alle proprie residenze. È ad un ricco inglese, Horace Valpole, che nel 1747 si attribuisce la prima richiesta di una residenza in stile neogotico che rompe con la classicità e la manualistica ad essa ispirata. Col progetto di questa residenza si crea la rottura con lo stile passato e ad essa seguirono sperimentazioni in altri stili architettonici, inclusi quelli orientaleggianti. I primi tentativi appaiono fondamentalmente restyling stilistici senza creazione di nuove spazialità e volumetrie, anche perché legate prevalentemente al tema dell'abitazione. Sono i decenni successivi a far maturare l'esigenza di innovativi spazi per le esposizioni universali e soprattutto per le stazioni della nascente rete ferroviaria europea. "Questo processo genera il successo di una nuova "razza" di uomini, gli ingegneri, che mettono a tacere le discussioni sulla bellezza in architettura. Padroni della tecnologia del ferro, del cristallo e del cemento, suscitavano interesse e incutevano rispetto con i loro ponti, hangar ferroviari, acquedotti, banchine portuali. I nuovi uomini di scienza si dimostrarono capaci di costruire le strutture più impressionanti (e in molti casi, anche le più seducenti) della loro epoca confusa"[4].

L'evoluzione delle tecniche costruttive, spinta dai tecnologi post-rinascimentali, prima di trasformarsi in composizione architettonica, attraversa alcune tappe fondamentali in particolare in Inghilterra e Francia; soprattutto

l'ingegneria d'oltremanica trova grande impulso nel rapido sviluppo delle acciaierie.

Nel 1796 sono prodotte le prime colonne in ghisa a sezione quadrata che già nel 1801, per merito di Watt, divengono a sezione circolare cava. Il perfezionamento di questo subcomponente strutturale è fondamentale nella creazione della pianta libera e le applicazioni riguardano magazzini e depositi multipiano, dove in ogni modo è conservata l'ancestrale solidità delle pareti di cortina che mantengono l'impostazione classica formale e strutturale.

L'elemento strutturale colonna, deputato alla conformazione di canali statici filiformi, vede rafforzato il suo ruolo compositivo con il perfezionamento delle travi in ghisa, di luce sempre più ampia quando diventa a doppio T nel 1830 per opera di Hodgkinson[9]. Quest'evoluzione non è immediata, durerà almeno un ventennio ma, con le travi a doppio T di ghisa prima e poi di lamiera composta nel 1850, le potenzialità di conformazione degli spazi interni raggiungeranno un elevato grado di maturazione che i grandi architetti quali Hortà o Behrens rielaboreranno autonomamente in opere quali la *Maison du Peuple* o la *Turbinenfabrik AEG*. Le colonne e le travi in ghisa o in lamiera chiodata consentono la rielaborazione anche del cassettonato ligneo che assume un'innovativa tessitura grazie all'adozione di voltine estremamente ribassate in mattoni pieni.

Contemporaneamente in Francia, di formazione culturale teorico matematica più avanzata rispetto a quella inglese, si sviluppa anche il settore delle travi reticolari e in particolare, nel 1840 nasce la trave Polenceau. Tale subcomponente giocherà un ruolo fondamentale nella progettazione delle grandi coperture per mercati e stazioni ferroviarie. Solo un successivo sforzo tecnologico nel campo delle strutture metalliche indirizzerà l'architettura (spontanea) dell'ingegneria verso campi totalmente innovativi; ci si riferisce alla creazione del collegamento rigido tra colonne e travi. Infatti, fino alla metà dell'800, il collegamento a cerniera tra gli elementi verticali ed orizzontali rendeva necessaria la presenza delle pareti di cortina per assicurare la stabilità globale dei manufatti.

Nel 1851 la realizzazione del Crystal Palace con struttura metallica a nodi rigidi sancisce la nascita delle strutture a telaio propriamente dette e di conseguenza si concretizza la possibilità di realizzare una struttura priva di tutti i maschi murari (fig.2). Questa tappa è fondamentale perché, con approccio esclusivamente tecnologico, nasce il fabbricato a pianta e facciata libera che consente la realizzazione di finestre a nastro, del piano terra interamente porti-



Fig. 2 - Crystal Palace, interno, Londra 1851



Fig. 3 – Richardson, magazzini Marshall

cato e del tetto piano, elementi che, arricchiti di sintassi compositiva costituiranno, i cardini dell'architettura di *Le Corbusier.*

L'innovativa spazialità creata dalla serra di Paxton, con le grandi superfici vetrate, dove l'interno e l'esterno si fondono, si è aperta la strada verso una diversa percezione del gigantismo architettonico. Non si trattava però solo di un nuovo principio costruttivo, così come fu per l'altrettanto innovativo schema a "scheletro metallico", rimasto talora un asemantico complesso sistema trilitico. La rivoluzione industriale favorisce la presa di coscienza che, contrariamente ai principi vitruviani, grazie al contributo dell'ingegneria industriale e strutturale, potevano nascere eccellenti opere basate sul solo requisito dell'*utilitas*. Tuttavia i pareri non erano unanimi; infatti, così come testimoniato dalla letteratura del tempo a commento della neonata costruzione di Mr. Paxton, gli elogi per l'eccellente alta ingegneria erano seguiti da considerazioni negative circa la possibilità di appartenenza del Crystal Palace alle opere d'architettura[5].

Sul territorio europeo l'*architettura dell'ingegneria* gode per circa mezzo secolo di uniforme e diffuso successo. Solo oltre oceano si assiste ad altre due nuove sperimentazioni: una è legata al tema dell'edificio alto (con i magazzini Marshall di H. H. Richardson del 1847 si gettano le basi dell'*American Style* - (fig.3), l'altra è l'invenzione del filo spinato.

I primi grattacieli sono tecnologicamente innovativi giacché realizzati con struttura portante in acciaio; tuttavia, in termini planovolumetrici e soprattutto nell'involucro esterno, sono ancora intrisi di classicismo, sia formale sia decorativo, tanto da dare un reale contributo alla nuova spazialità solo attraverso la pianta libera.

Per quanto riguarda il secondo elemento tecnologico - il filo spinato - invenzione della nascente ingegneria meccanica sviluppato al di fuori dei confini europei, questa crea nelle praterie dell'america dei pionieri, un'incon-sueta ed inaspettata ripartizione dello spazio.

Nella storia della tecnologia, anche se può apparire marginale, poiché l'architetto è anche antropologo, la nascita del filo spinato rappresenta in maniera esplicita la creazione di nuove spazialità per l'umanità.

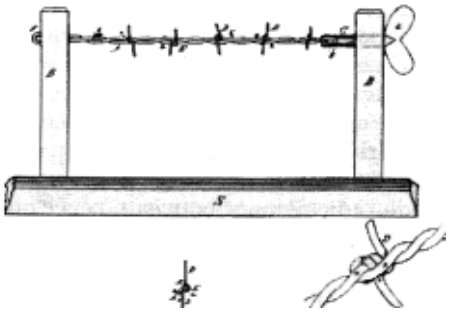


Fig. 4 – Filo spinato, Gliddendel, Brev.1874



Fig. 5 – Les Grandes Halles, Parigi, 1853

Per l'indigeno americano, le invisibili frontiere create dagli europei, non costituiscono solo la delimitazione di uno spazio per la caccia, ma determinano l'imposizione di una dolorosa percezione dell'uso e dell'indissolubile rapporto tra l'uomo e la natura.

Nel filo spinato non c'è *firmitas*; infatti nasce con lo scopo della rapida trasformabilità e riparabilità, per creare nuovi e innumerevoli confini a basso prezzo e in tempi brevissimi. In esso non c'è neppure *venustas*; anzi tutt'altro: ha le spine proporzionate per dissuadere qualsiasi animale allevato, ma senza ferirlo, mentre è in grado di lacerare gravemente le carni di qualsiasi intruso in fuga precipitosa. Ma chi è l'intruso, dov'è l'interno e l'esterno in appezzamenti grandi migliaia di ettari?[10] La percezione dello spazio a due dimensioni nasce innanzi tutto da ragioni ancestrali e poi culturali, il filo spinato è il primo confine artificiale in grado di mutarlo a scala territoriale.

Contemporaneamente in Europa, quanto accaduto nel settore del ferro si ripete con le dovute proporzioni, nel settore del cemento armato. Si è affermato che la pianta libera ha le sue origini tecnologiche nell'impiego delle colonne che sostituiscono i maschi murari, fino a diventare filiformi grazie all'elevata resistenza a compressione del ferro.

Nell'800 e nella prima metà del '900 la resistenza unitaria a compressione della ghisa é circa dieci volte maggiore di quella del cemento armato e dunque tale rapporto di resistenza si riscontra chiaramente anche negli elementi costruttivi e compositivi. La dirompente capacità espressiva e compositiva del cemento armato è data pertanto, non dalla resistenza a trazione disponibile già negli elementi costruttivi in ferro, ma dalla continuità materica. Nasce un prodotto lapideo artificiale che, posto in opera allo stato fluido, elimina discontinuità materiali e concettuali negli elementi, rimuovendo la rigida gerarchia strutturale[8]. Esemplare il caso di Maillart, che nel 1908, con la creazione del *pilastro a fungo*, unifica concettualmente il pilastro e la trave con approccio quasi organico (fig.6). Dunque il fattore dirompente a livello ingegneristico e poi compositivo è la continuità negli elementi monodimensionali e bi-

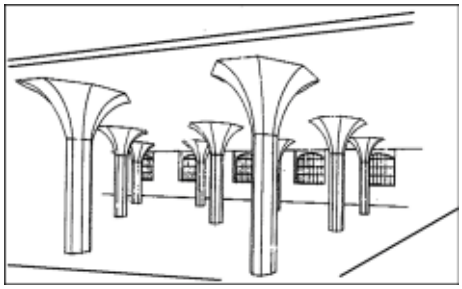


Fig. 6 – Pilastri a fungo, Maillart, 1908



Fig. 7 – Zementhalle, Maillart, 1939

dimensionali: l'arco non è più una successione di conci scabri, le volte o le cupole non sono una successione o intersezione di archi. La continuità strutturale si evidenzia anche in un altro elemento: lo sbalzo, con il quale vengono creati i primi porticati privi di colonnato. Mentre gli sbalzi d'acciaio e voltine in mattoni pieni, a causa delle limitate dimensioni, possono considerarsi degli elementi decorativi, con gli sbalzi in cemento armato si possono raggiungere notevoli luci come nella casa Kaufmann (*Fallingwater*) di Wright.

La grande forza espressiva e compositiva degli elementi bidimensionali viene sperimentata nel 1939 sempre da Maillart che realizza la Zementhalle, un guscio a botte alto dodici metri di soli sei centimetri di spessore (fig.7). Questa è una tappa fondamentale sia dal punto di vista ingegneristico che architettonico in quanto, fino ad allora, il c.a. era stato usato come un materiale tradizionale con una rigida gerarchia pilastro-trave-solaio.

Si potrebbe affermare che sono le innovative membrane (settori di paraboloidi iperbolici, ellittici, etc.) realizzate intorno alla metà del secolo scorso da Maillart, Torroja, Candela, a creare autentiche ed innovative spazialità in architettura. L'opera dei grandi strutturisti italiani, quali Nervi, Morandi, Zorzi, necessita invece di una diversa collocazione architettonica e strutturale in quanto si rileva un contrasto tra lo stadio avanzato delle teorie strutturali e il carattere artigianale del cantiere del c.a. in Italia. Di Nervi ammirevoli, ad esempio, gli hangar (Orvieto 1937) e la cupola del Palazzetto dello sport (Roma 1957). Tuttavia, il sistema costruttivo del Palazzetto, che sembra uscito da un colossale stampo, è in realtà ottenuto con un assemblaggio a mano che si riallaccia alla grande tradizione italiana delle cupole a conci (fig.8). Anche nell'opera di Morandi i sistemi più evoluti della costruzione metallica sono reinterpretati con la tecnica del c.a. precompresso. Il congegno meccanico di puntoni e tiranti assume così una forma plastica omogenea e continua, interamente gettata in opera, che della costruzione muraria evoca tutta l'artigianalità. La precompressione, insomma, è intesa come versione evoluta della muratura armata che idealmente si collega all'esperienza antonelliana[11].



Fig. 8 – Palazzetto dello sport, P.L.Nervi, 1957

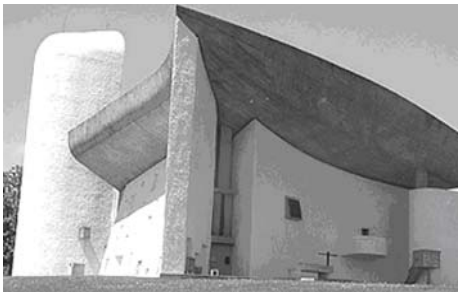


Fig. 9 – Le Corbusier, Cappella di Ronchamp

Come già avvenuto con il sistema trilitico prima in acciaio e poi in c.a., con uno sfasamento temporale di circa un ventennio, le superfici in c.a., liberate dal carico matematico e tecnologico, acquistano una loro indipendenza linguistica e compositiva. Ad esempio, nella cappella di Ronchamp (fig. 9) di Le Corbusier (1950-55), le sue forme non sono esibite come spettacolarizzazione strutturale, così come accade per le più ardite strutture di Felix Candela (fig.10).

Nella Cappella, il simbolismo religioso, il ribaltamento della concezione della cupola come volta celeste ed il rapporto con la morfologia del luogo, priva di ogni riferimento scientifico e tecnologico ogni elemento costruttivo. La metamorfosi degli elementi strutturali bidimensionali in chiave compositiva, ha molti altri esempi eloquenti e, nel campo dei monodimensionali, un analogo processo. Si possono citare i casi della Tour Eiffel e del monumento alla Terza Internazionale socialista di Tatlin; la Tour rappresenta una necessaria estrema sperimentazione delle potenzialità del traliccio tridimensionale metallico e, senza sminuirne la grandezza, essa assume il suo forte significato rappresentativo solo negli anni successivi alla costruzione. Un semplice traliccio, una volta assolte le sue funzioni di contributo al progresso dell'ingegneria, diventa un elemento dalla esclusiva carica simbolica. Opposta è la genesi dell'opera di Tatlin, principale rappresentante del *costruttivismo* sovietico. Il suo monumento ha una morfogenesi esclusivamente rappresentativa, non costituisce un'esercitazione di tecnica costruttiva, anzi con essa si enfatizza il mito della costruzione perfettamente comprensibile in relazione ai significati che assumevano le macchine e la produzione industriale al tempo della Rivoluzione d'Ottobre.

Le strutture basate sul telaio tridimensionale, poiché rappresentano un *sistema* carico d'implicazioni compositive, subiscono un percorso di trasformazione più lungo degli altri. L'originale precursore del pensiero corbusiano è August Perrett definito *poeta del c.a.*, che nella sua opera più nota - la casa di rue Franklin del 1903 - enfatizzando la divisione di ruoli tra elementi portati e portanti, anticipa i famosi *cinque punti*. L'evoluzione del sistema a telaio, dopo le tappe fondamentali del Crystal Palace, le strutture di Perret, la casa Do-



Fig. 10 – F. Candela, Ristorante a Xochimilco

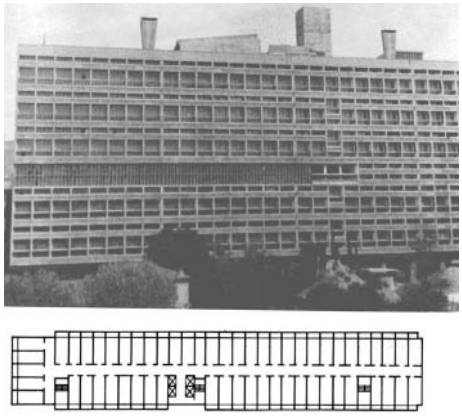


Fig. 11 – Le Corbusier, Casa Domino,1914-15

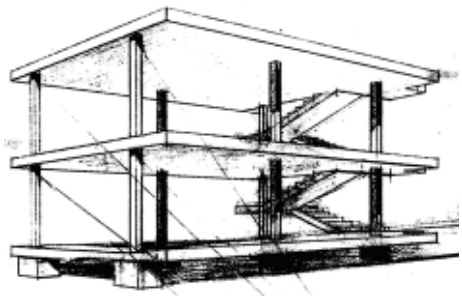


Fig. 12 - Le Corbusier, Unitè d'habitation di Marsiglia, 1946-52

mino di Le Corbusier del 1915 (fig.11), si sviluppa ancora di più in chiave compositiva nell'unità d'abitazione di Marsiglia del 1946. Qui lo spazio interno non è la somma geometrica di segni elementari, ma diviene un unico macrosegno: con questa struttura si supera il concetto di telaio tridimensionale per passare alla macro struttura, all'ipertrofia architettonica (fig.12).

Nella seconda metà del '900, l'incremento di resistenza a trazione dell'acciaio, il perfezionamento delle tecniche di produzione delle funi e l'introduzione dei materiali sintetici indirizzano l'ingegnere strutturale verso un nuovo orizzonte compositivo, quello delle tensostrutture.

Le coperture curve da sempre convesse diventano concave; il peso proprio e la forza di gravità con la quale l'uomo si è dovuto sempre confrontare e scontrare, sembrano annullarsi. Le colonne, alle quali, in quanto verticali è demandato il compito di trasferire al suolo i carichi, grazie alle tensostrutture si inclinano vertiginosamente per contrastare e trasferire forze non più verticali ma inclinate quasi casualmente, assumendo così una nuova dinamicità e creando inaspettati ed originali ambulacri. Esemplari le strutture dell'Expo '67 di Montreal di Frei Otto o i progetti per le applicazioni delle coperture a vela su scala urbana. L'impiego dei materiali sintetici, associato alle strutture reticolari tetraedriche, consentono a Fuller di effettuare un salto di scala nella geometria delle cupole, che negli utopici progetti degli anni '50 sono in grado di de-

terminare micro-cosmi capaci di includere Manhattan con i suoi grattacieli in un'atmosfera artificiale (fig.13).

Decisamente originali, anche se rimasti allo stadio progettuale, sono le strutture ipotizzate dal movimento delle avanguardie radicali europee negli anni '60, come il gruppo *Archigram* che, in chiave utopistica, utilizza immagini di macchine zoomorfe per configurare edifici e macrostrutture semoventi, capaci di adattarsi fisicamente alle mutevoli esigenze urbane della società del ventesimo secolo (fig.14). Le utopiche strutture-macchine di *Archigram* non nascono dal soddisfacimento di un bisogno concreto. Infatti, la tematica fu-turista (movimento e velocità) si riscontra negli enunciati programmatici del Gruppo, i cui membri sono "alla ricerca di un'idea, di un nuovo linguaggio, di qualche cosa da allineare con le capsule spaziali, le calcolatrici elettroniche, gli imballaggi a perdere dell'età elettro-atomica"[3].

Nel giungere ai nostri giorni, parlando di strutture ancora in costruzione, si può tracciare un bilancio dell'evoluzione che la poetica della serra ha raggiunto nel corso di un secolo, grazie anche all'ingegneria strutturale. Dal punto di vista tecnologico l'evoluzione è chiara e ben definibile; mentre dal punto di vista della percezione, si è giunti al preoccupante concetto di non-luogo.

Parafrasando Augè[1], con questo termine si definiscono due concetti affini ma distinti: da un lato quegli spazi recenti e costruiti per un fine non ben specifico come trasporto, esposizione, commercio e, dall'altro il rapporto che viene a crearsi tra i fruitori e questi spazi. I *nonluoghi*, in contrapposizione ai luoghi antropologici, sono tutti quegli spazi che hanno la prerogativa di non essere identitari, relazionali e storici; spazi in cui innumerevoli individualità si incrociano senza entrare in relazione reciproca[2]. Sempre secondo l'antropologo francese, *i nonluoghi* sono prodotti della società, della (sur) modernità, incapaci di integrare in sé i luoghi storici, in quanto confinati e banalizzati in posizioni limitate e circoscritte, alla stregua di curiosità o di oggetti interessanti.



Fig. 13 – Fuller, Cupola geodesica

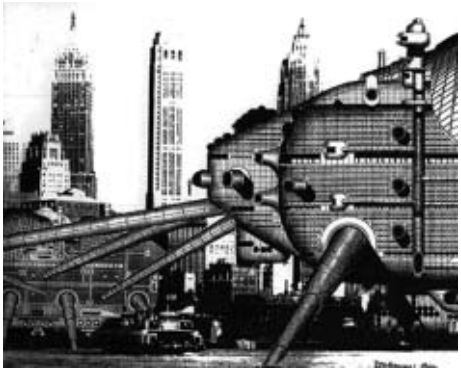


Fig. 14 –Plug in city, gruppo Archigram, 1964

La storia recente e contemporanea sembra attestare che l'ingegneria delle strutture - e più in particolare "l'ingegnere" - hanno avuto un unico ed originale momento storico di vitalità e certamente di supremazia sull'architettura.

Favoriti dalla padronanza della tecnologia e della scienza delle costruzioni, gli ingegneri hanno avuto la possibilità di gestire autonomamente la composizione di nuovi spazi ed opere e quanto avvenuto nell'Ottocento, con le stazioni, ponti e gallerie, sarà probabilmente irripetibile.

Oggigiorno è sempre meno probabile che l'ingegneria strutturale possa creare originali spazialità: l'estrema specializzazione di tutte le fasi progettuale rende sempre più raro che un atto creativo sia basato sull'abilità di gestire la tecnologia e sulla carica compositiva intrinseca alle strutture. Un esempio eloquente è tutta l'opera di Gaudì.

Bibliografia

M. Augè, *Non-lieux*, 1992, Ed. Seuil – trad. it. Elèuthera Editrice, 1993.

M. Augè, *Rovine e macerie il senso del tempo*, Bollati Boringhieri editore, Torino, 2004.

L. Benevolo, *Storia dell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1966.

A. de Botton, *Architettura e felicità*, Ugo Guanda, Parma, 2006.

R. De Fusco, *Storia dell'Architettura contemporanea*, Laterza, Bari, 1974.

R. De Fusco, *Il progetto d'architettura*, Laterza, Bari, 1984.

S. Giedion, *Lo spazio in architettura, GreciaRoma la contemporaneità*, Flaccovio editore, Palermo, 2001.

A. Perretti, *Breve storia del Cemento Armato* in A. Ghersi, *Il cemento armato. Dalle tensioni ammissibili agli stati limite: un approccio unitario*, Flaccovio editore, Palermo, 2005.

V. Nascè, *La progettazione strutturale e la costruzione metallica dalle origini al periodo1850-1860*, in *Contributi alla storia della costruzione metallica*, Firenze, Alinea editore, 1982.

R. Olivier, *Storia politica del filo spinato*, Ombre Corte, Verona, 2001.

S. Poretti, *L'ingegneria e la "scomparsa delle lucciole*", atti del primo Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, Cuzzolin editore, Napoli, 2006.

Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini

La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria

Introduzione

I materiali cellulari, comunemente indicati col nome di schiume, sono generalmente definiti come materiali bifasici, in cui una fase solida coesiste con una fase gassosa. In particolare, il termine "cellulare" indica aggregati di celle adiacenti, che hanno spigoli e eventualmente facce in comune, assemblate in maniera tale da riempire uno spazio tridimensionale. Si tratta, in pratica, di strutture come ne esistono diverse in natura quali il legno, il sughero, le spugne, il tufo, i coralli, gli alveari, le ossa (Fig. 1).

L'accoppiamento di una fase solida ad una fase gassosa dà origine a strutture con elevate prestazioni specifiche in termini di rapporto tra proprietà e peso. La struttura cellulare conferisce proprietà uniche quali leggerezza, isolamento termico, assorbimento acustico, galleggiamento, assorbimento di energia a impatto. Nella storia, l'uomo si è servito da secoli dei materiali cellulari naturali per le più svariate applicazioni: il sughero, ad esempio, per le sue proprietà di isolamento termico, veniva utilizzato già nell'antica Roma per tappare le bottiglie di vino. Ma i materiali cellulari hanno trovato largo impiego nella storia soprattutto nel settore civile-edile: il legno è uno dei principali materiali utilizzati per le costruzioni di case e imbarcazioni, fin dalla preistoria; manufatti in legno risalenti ad almeno 5000 anni fa sono stati trovati all'interno delle piramidi egiziane. La realizzazione di opere di grandi dimensioni è stata possibile solo grazie all'utilizzo di materiali alleggeriti: i famosi Moai, le statue giganti a forma di testa dell'isola di Pasqua, sono strutture monolitiche ricavate da un unico blocco di tufo vulcanico (1000 d.C.).

Proprio il tufo è uno dei materiali cellulari più utilizzati nelle costruzioni nell'area di Napoli sin dai primi insediamenti antropici di epoca greca. Il tufo è una roccia sedimentaria lapidea

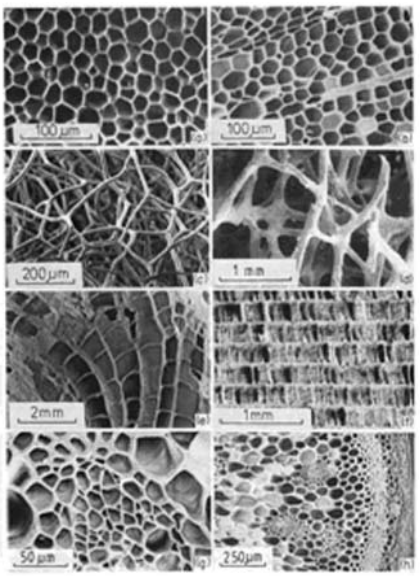


Fig. 1 - Materiali cellulari naturali: (a) sughero, (b) legno, (c) spugna, (d) osso trabecolare, (e)corallo, (f) osso di seppia, (g) foglia, (h) pianta (immagine tratta da Cellular Solids di L.J.Gibson e M.F.Ashby)

tenera, leggera e con buone proprietà meccaniche. È prodotta dall'attività esplosiva dei vulcani che durante la loro eruzione, producono materiale piroclastico (ceneri, pomici e lapilli) che viene proiettato nell'ambente circostante ove si deposita.

La pietra pomice, è un altro esempio di materiale cellulare naturale: è un magma vulcanico che durante il processo di solidificazione ha perso rapidamente i gas in esso contenuti producendo blocchi di pietre estremamente porose e leggere. Anche le argille espanse, sono da considerarsi un altro esempio di materiale alleggerito, molto utilizzato nel settore edile, come inerte "leggero" per la produzione di calcestruzzi cellulari.

Nel corso del tempo, l'uomo ha poi iniziato a riprodurre artificialmente tali materiali ed i polimeri espansi sono attualmente i materiali cellulari sintetici più utilizzati. Le tappe fondamentali dello sviluppo commerciale dei polimeri espansi vengono riportate in Tabella 1 (tratto da Thorne). La sintesi dei primi materiali cellulari è dovuta a Wyndham.R. Dunstan, che nel 1906 riuscì a riprodurre artificialmente la gomma. La Bayer, nel 1910, ha poi messo a punto il processi di polimerizzazione a livello industriale.

La svolta nella produzione di polimeri espansi arrivò nel 1942, sempre grazie alla Bayer, con la realizzazione del poliuretano espanso, che è tuttora il materiale cellulare più diffuso grazie alla sua versatilità. Ad oggi è teoricamente possibile espandere qualsiasi materiale plastico attraverso tecnologie che prevedono l'uso di agenti espandenti. Inoltre le tecnologie attuali permettono di ottenere schiume a partire anche da altre classi di materiali come ceramici, metalli, vetri ma anche classici materiali da costruzione quali cementi e calcestruzzi. In definitiva, quindi, l'attenzione dell'ingegneria è stata a lungo rivolta verso queste strutture espanse reticolate, costituite cioè da materiale interconnesso ad elevate prestazioni, per le applicazioni più svariate che spaziano dall'edilizia d'avanguardia, ai processi chimici, al controllo delle emissioni, al riscaldamento industriale ed alle applicazioni biomedicali. Gli studi futuri di maggior interesse sembrano riguardare la realizzazione di materiali cellulari ibridi costituiti simultaneamente da fasi organiche e inorganiche.

Tecniche di espansione

Esistono diverse tecniche per produrre materiali cellulari.

PRODOTTO	ANNO
Gomma	1910
PVC, rigido e flessibile	1942
Poliuretano rigido	1942
Polistirene	1944
Polietilene	1944
Poliuretano (spray)	1951
Siliconi	1952
Polistirene (estrusione)	1952
Poliuretano flessibile	1952
Polietilene bassa densità	1958
Polipropilene reticolato	1963
Poliimmide	1978
Policarbonato	Anni 90
PET	Anni 90

Tab. 1– Storia dei principali polimeri espansi

L'espansione dei *polimeri* avviene per introduzione di gas nel polimero allo stato fuso; le bolle di gas vengono poi fatte crescere fino alla dimensione richiesta e, infine, l'intero sistema viene stabilizzato solidificando il polimero. Il gas può essere introdotto miscelando un agente espandente nel polimero: in tal caso si parla di *espandente fisico*. L'espandente fisico può essere un gas inerte (anidride carbonica o azoto) che viene forzato nel polimero fuso ad alta pressione: il gas espande in bolle al momento della riduzione di pressione. Un'altra tecnica di espansione fisica consiste nell'utilizzare un liquido basso bollente (es. clorofluorocarburi), nella miscela polimerica liquida: con l'aumento di temperatura l'agente espandente passa allo stato gassoso generando le bolle. Un gas può anche essere generato nella miscela liquida utilizzando un *espandente chimico*. Gli espandenti chimici sono additivi che liberano gas per decomposizione termica o per reazione chimica.

Le schiume *metalliche* vengono prodotte miscelando al metallo fuso particelle organiche (carbone), che vengono poi bruciate lasciando dei pori nel sistema finale.

I *calcestruzzi* cellulari si ottengono facendo espandere, con gas o aria, la miscela delle materie prime (con acqua) utilizzate per la produzione di un calcestruzzo tradizionale. L'adozione di gas o di aria identifica due diversi procedimenti di fabbricazione del calcestruzzo cellulare. Il gas è ottenuto dalla reazione chimica prodotta dalla polvere di alluminio quando è introdotta nella miscela di calcestruzzo. La miscela così composta si espande generando il calcestruzzo leggero. Il calcestruzzo espanso con aria è ottenuto con l'aggiunta di un legante aereo nella miscela di reazione, oppure più semplicemente facendo gorgogliare aria nella miscela di reazione.

Il *vetro* cellulare si ottiene con tecniche simili ai polimeri espansi con agenti fisici.

Le schiume *ceramiche* vengono ottenute infiltrando sospensioni di polveri ceramiche in spugne polimeriche di supporto; il sistema viene poi passato in forno ad alte temperature: il polimero brucia e si volatilizza mentre la polvere ceramica si compatta come nei tradizionali processi di produzione di materiali ceramici. La schiuma risultante sarà il "negativo" della schiuma polimerica di supporto.

Tipologie di schiume

A seconda del tipo e delle quantità relative dei reagenti e additivi nella miscela di partenza è possibile ottenere una enorme varietà di schiume.

Generalmente esse sono distinte in base alla morfologia e possono essere suddivise in due classi:

- schiume a celle chiuse
- schiume a celle aperte

Le *schiume a celle chiuse* (Fig. 2) sono costituite da sfere chiuse adiacenti contenenti gas. Il polimero è confinato principalmente negli spazi tra tre o più sfere adiacenti. Le pareti di due sfere adiacenti sono separate da una sottilissima membrana di polimero.

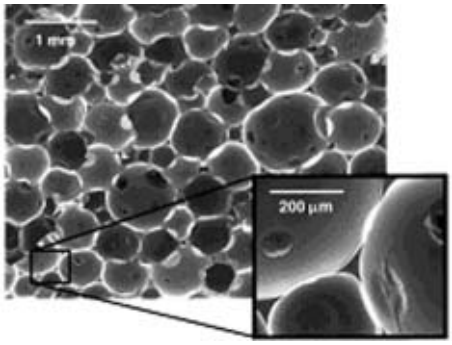


Fig. 2 - Micrografia di una schiuma a celle chiuse

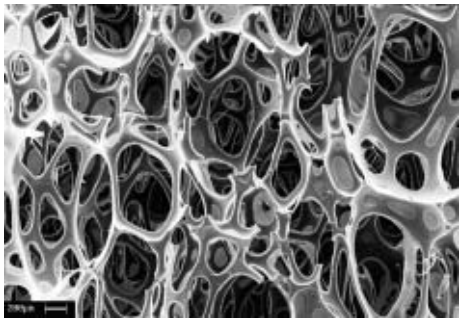


Fig. 3 - Micrografia di una schiuma a celle aperte

Nelle *schiume a celle aperte* (Fig. 3) le sfere sono interconnesse. La sottile membrana presente nella struttura a celle chiuse viene forata durante il processo di espansione e stabilizzazione. In realtà, la maggior parte delle schiume ha una morfologia intermedia e si parla quindi di percentuale di inter-connessione. Naturalmente, al variare della struttura variano le caratteristiche fisiche e meccaniche dell'espanso finale indipendentemente dalle proprietà intrinseche del polimero.

Le schiume a celle chiuse presentano proprietà meccaniche superiori in quanto le pareti cellulari, seppur sottilissime, forniscono un contributo aggiuntivo alla rigidità. La morfologia della schiuma influenza notevolmente anche le proprietà di isolamento termico e acustico: le schiume a celle aperte hanno ottime proprietà fonoassorbenti mentre quelle a celle chiuse sono utilizzate per l'isolamento termico.

Proprietà

Le proprietà macroscopiche di una schiuma dipendono fortemente dalla sua densità e dalle caratteristiche morfologiche della struttura cellulare (dimensione media delle celle e loro distribuzione dimensionale, spessore delle pareti, eventuale grado di intercon-nessione tra le celle). Attraverso una opportuna combinazione tra il materiale che costituisce il bulk e l'architettura cellulare è possibile ingegnerizzare sia le proprietà strutturali (rigidezza, resistenza, capacità di assorbire elevate energie da impatto) che quelle funzionali (isolamento termico, assorbimento acustico). Di seguito verrà mostrato come la struttura cellulare influenzi notevolmente soprattutto le proprietà di isolamento termico e assorbimento acustico dei polimeri espansi.

Isolamento termico

L'isolamento termico è una proprietà comune a tutti gli espansi, in particolare alle strutture cellulari con celle non interconnesse. I fattori che contribuiscono a limitare il flusso termico sono:

- la bassa frazione volumetrica di fase solida
- la ridotta dimensione delle celle
- la bassa conducibilità del gas intrappolato nelle celle.

La conducibilità termica è definita dalla legge di Fourier:

$$q = -\lambda \cdot \nabla T$$

q: flusso termico
ë: conducibilità termica
T: temperatura

La conducibilità termica di una schiuma polimerica è la somma di 4 contributi:

$$\lambda = \lambda_s + \lambda_g + \lambda_c + \lambda_r$$

in cui:

- λ_s è dovuta alla conduzione attraverso il solido,
- λ_g è dovuta alla conduzione attraverso il gas,
- λ_c è dovuta alla convezione all'interno delle celle,
- λ_r è dovuta all'irraggiamento attraverso le pareti cellulari.

Negli espansi polimerici, in genere, le proprietà sono riferite alla densità relativa ρ^*/ρ_s dove ρ^* indica la densità della schiuma e ρ_s indica la densità del polimero solido di cui è costituita la schiuma. La conducibilità attraverso il solido λ_s è data dal prodotto della conducibilità del solido costituente la schiuma per la frazione volumetrica del solido stesso (ρ^*/ρ_s) nella schiuma per un fattore di efficienza che tiene conto della forma dei muri cellulari attraverso cui deve avvenire la conduzione. Questo valore è molto basso per due motivi:

1. la conducibilità termica della fase polimerica è intrinsecamente bassa (per il poliuretano è 0.25 W/(m·K) [7])
2. la fase polimerica occupa solo una piccola frazione del volume totale della schiuma (per un poliuretano espanso è generalmente inferiore al 10%).

La convezione è generalmente trascurabile. Essa è un contributo non trascurabile solo nel caso di celle di dimensioni molto grandi (nell'ordine dei centimetri).

Il contributo dell'irraggiamento dipende dalle dimensioni delle celle e dallo spessore delle pareti: schiume costituite da molte celle di piccole dimensioni trasferiscono meno calore per irraggiamento rispetto a schiume con poche celle di grandi dimensioni. In particolare λ_r aumenta esponenzialmente al diminuire della densità relativa ρ^*/ρ_s ed è un contributo non trascurabile per la conducibilità termica della schiuma.

Il maggior contributo, in ogni caso, è fornito dalla conduzione attraverso il gas che è data dal prodotto tra la conducibilità del gas per la frazione volumetrica di gas nella schiuma (1- ρ^*/ρ_s).

La conducibilità termica varia quindi con la densità relativa. Nelle schiume poliuretaniche a celle chiuse presenta un minimo per un valore di densità relativa tra 0.03 e 0.07. I

l solo modo per ridurre ulteriormente la conducibilità è sostituire la CO_2 all'interno delle celle con un altro gas con conducibilità minore come ad esempio triclorofluoro-metano CCl_3F, tramite un'espansione di tipo fisico. Tuttavia, nel corso del tempo, il gas all'interno delle celle tende a diffondere verso l'esterno; ciò causa un decadimento delle proprietà di isolamento termico del materiale.

Indicando con I_r, I_a e I_t le intensità sonore delle tre componenti e con I_i quella dell'onda incidente, si ha:

Assorbimento acustico

Quando un'onda sonora prodotta all'interno di un ambiente incontra una parete, la sua intensità sonora viene in parte riflessa, in parte assorbita dal muro stesso ed in parte è trasmessa nell'ambiente adiacente (Figura 4).

$$I_r + I_a + I_t = I_i$$

Dividendo ambo i membri per I_i si ha:

ovvero

$$r + a + t = 1$$

dove r, a e t sono i coefficienti di riflessione, assorbimento e trasmissione.

Indichiamo inoltre con á il coefficiente di assorbimento apparente:

$$\alpha = a + t = 1 - r$$

cioè tutta l'intensità sonora che non viene riflessa.

Infine si definisce potere isolante il valore R =-log t [dB] (il segno meno permette di ottenere valori positivi di R poiché t < 1). Il potere fonoisolante indica l'abbattimento in decibel che il suono subisce passando attraverso una parete. α e R sono i due parametri che definiscono le proprietà di assorbimento e isolamento acustico.

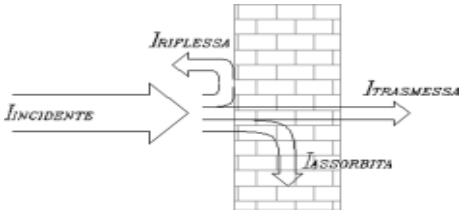


Fig. 4 – Scomposizione dell'onda sonora

Sono fonoassorbenti quei materiali caratterizzati da un alto valore á, ovvero quei materiali solitamente leggeri e con impedenza simile a quella dell'aria: il massimo assorbimento si ha quando l'impedenza dei due materiali è uguale (α =1, per una finestra aperta, ad esempio). Sono invece fonoisolanti i materiali con alto valore R, ovvero quei materiali duri e pesanti come lastre di piombo o muri spessi.

I materiali porosi come i poliuretani espansi sono materiali fonoassorbenti. Le onde sonore incidenti mettono in vibrazione le particelle di aria all'interno del materiale. Gli attriti interni tra molecole d'aria e tra aria e pareti producono la dissipazione dell'energia sonora proveniente dall'esterno e quindi determinano l'assorbimento. Naturalmente le strutture a celle aperte sono più efficaci all'assorbimento perché permettono il movimento di aria necessario alla dissipazione al loro interno.

La ricerca e l'innovazione nel settore delle schiume

La possibilità di combinare le proprietà di una matrice continua e di bolle di gas in una elevata varietà di morfologie è uno strumento potente per la progettazione e la realizzazione di manufatti le cui proprietà possono essere ottimizzate per virtualmente qualsiasi applicazione in cui il basso peso specifico si combina a prestazioni strutturali e/o funzionali. In questo ambito, la recente ricerca si concentra da un lato sullo sviluppo di nuovi materiali come ad esempio sistemi biodegrada-

bili ottenuti da risorse rinnovabili quali polisaccaridi e/o proteine e materiali ibridi, dall'altro sullo studio e la modellazione degli aspetti fondamentali che governano lo sviluppo ed il controllo delle morfologie delle strutture cellulari.

In particolare, lo studio dei principi che governano sia la formazione delle bolle (nucleazione) che la loro crescita all'interno di una fase solida e/o liquida richiede competenze multidisciplinari di chimica, di fisica e di ingegneria in quanto l'ottimizzazione dei processi di trasformazione di tali materiali richiede lo studio delle proprietà reologiche di materiali viscoelastici macromolecolari in cui sono solubilizzati gas ad elevate concentrazioni. La nucleazione e la crescita delle bolle, che determinano la morfologia finale delle schiume, oltre a dipendere dalle condizioni termodinamiche che promuovono fenomeni di separazioni di fase, sono inoltre legate a proprietà fisiche e reologiche quali la tensione superficiale, la viscosità elongazionale, la solubilità e la diffusività dei gas nel fuso.

Tra i più recenti risultati di interesse per il settore delle costruzioni e dell'ingegneria in generale vi è lo sviluppo di nuovi materiali ibridi (HYPUCEM), oggetto di un premio internazionale per iniziativa dei distretti tecnologici Veneto Nanotech e IMAST.

Questa nuova classe di materiali combina in maniera sinergica le proprietà già citate dei polimeri espansi con quelle dei materiali inorganici. Attualmente i sistemi isolanti sono essenzialmente pannelli espansi in poliuretano o polistirene utilizzati principalmente per l'isolamento termico e acustico di solai, pavimenti e soprattutto pareti. Tuttavia, nelle applicazioni in campo edile il solo polimero espanso presenta grossi svantaggi: scarsa aderenza verso materiali a base cementizia, tipo malte e calcestruzzi, che rende necessaria la realizzazione di complessi sistemi di ancoraggio dei pannelli alle pareti ed a strati di cartongesso; bassi valori di traspirabilità; fenomeni di imbarcamento, dovuti all'instabilità dimensionale dei rivestimenti delle strutture sandwich (le lastre di poliuretano vengono applicate come core tra due strati di rivestimento). Inoltre, le proprietà meccaniche a compressione non sono tali da permetterne un utilizzo di tipo strutturale, molto importante per specifiche applicazioni nel settore edile.

L'ibrido espanso poliuretano-cemento, invece, è caratterizzato dalla co-continuità delle fasi organica espansa (poliuretano) e inorganica (cemento). L'ibrido, in un'accezione più generale, indica la contemporanea esistenza di due fasi legate intimamente attraverso forte interazioni covalenti o mediante le-

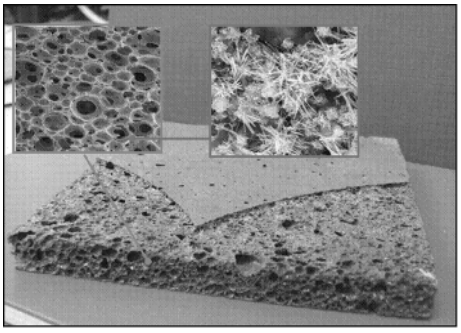


Fig. 5 - HYPUCEM

gami a idrogeno. In questa ottica, i materiali ibridi possono essere distinti dai materiali compositi, in cui le due fasi sono disperse solo fisicamente e le interazioni sono blande e deboli ed in alcuni casi inesistenti.

Il materiale ibrido presenta molti vantaggi dovuti al contributo sinergico delle diverse fasi presenti: polimero poliuretanico, cemento e gas di espansione (CO_2). La fase cementizia contribuisce in maniera consistente nel determinare specifiche proprietà dell'ibrido, rendendolo traspirante al vapore acqueo, resistente al fuoco (anche in assenza di ritardanti di fiamma), aderente verso i materiali lapidei (intonaci, malte) e dotato di buone proprietà meccaniche. Le fasi poliuretano e gas, invece, contribuiscono a rendere l'ibrido fonoassorbente (schiuma a celle aperte) e/o isolante termicamente (celle chiuse), nonché conferiscono proprietà di leggerezza come quelle di un calcestruzzo cellulare (dovuto alla bassa densità) e di facile processabilità (messa in opera).

Questa ultima caratteristica del materiale si riflette nella possibilità di produrre pannelli o semilavorati in fabbrica, da montare successivamente in cantiere, oppure di produrre il materiale direttamente sul cantiere (attraverso uso di tecnica spray), con la possibilità, in questo ultimo caso, di riempire cavità con geometrie non planari, spruzzare la mescola in situ, oppure colarla in casseforme. Infine, questo materiale può essere applicato come consolidante di infrastrutture e terreni, per iniezione. In tutte queste applicazioni, rispetto al poliuretano tal quale questo prodotto, data la presenza della fase inorganica cementizia, presenta la caratteristica di essere più inerte dal punto di vista chimico, da cui ne risulta una maggiore stabilità nel tempo ed una migliore compatibilità con i terreni e le infrastrutture.

Per questi motivi la schiuma ibrida poliuretano-cemento può essere applicata come sistema a cappotto per l'isolamento termico sia negli edifici di nuova costruzione che di vecchia costruzione dove l'intervento, in questo ultimo caso, è finalizzato al restauro o alla risoluzione di problemi inerenti a quadri fessurativi con infiltrazioni d'acqua in facciata, dove si necessita di tecnica spray. In tal modo si migliora il comfort abitativo conferendo al tempo stesso sia un risparmio energetico che una soluzione alla formazione di condensa di vapore acqueo, macchie e muffe sulle superfici interne delle pareti.

I sistemi d'isolamento a cappotto tradizionali vengono applicati attraverso il loro fissaggio all'esterno delle pareti, tramite collanti e tasselli, e successivamente gli stessi vengono rasati con una speciale colla ed armati con una rete in fibra di vetro (alcali-resistente) prima dell'applicazione finale del rivestimento, tali sistemi, però presentano l'inconveniente di non essere traspiranti al vapore acqueo.

Tale procedura viene semplificata con l'uso dei pannelli ibridi poliuretano-cemento, in quanto data l'ottima compatibilità ibridoparete cementizia non si rendono necessari i complessi sistemi di ancoraggio (collanti, viti ecc.).

Conclusioni

I materiali cellulari trovano applicazioni e sviluppi in molti settori dell'ingegneria grazie alla possibilità di progettare il materiale sulla base di requisiti di carattere sia funzionale che strutturale. L'impiego di questi materiali nel settore edilizio sta ricevendo un impulso non trascurabile in questi ultimi anni, principalmente grazie alle recenti normative sull'efficienza energetica degli edifici, sia storici che di nuova costruzione, che impongono interventi mirati al miglioramento dell'isolamento termico delle strutture. La loro progettazione deve quindi tenere conto non solo delle variabili tecniche e tecnologiche legate alla specifica applicazione ma anche di quegli aspetti che concorrono a definirne l'impatto ambientale. Per questo motivo variabili legati alla eco-compatibilità ed al loro ciclo di vita diventano indispensabili nella definizione delle diverse fasi progettuali.

Bibliografia

L. J. Gibson, M. F. Ashby, *Cellular Solids: Structure & Properties*, Pergamon Press, 1988.

J. Throne, M. F. Ashby, *Thermoplastic Foams*, Sherwood Publishers, 1996.

S. Cotugno, E. Di Maio, S. Iannace, G. Mensitieri, L. Nicolais, *Biodegradabile foams* "Handbook of Biodegradabile Polymeric Materials and their Applications", Ed. B. Narasimhan e S.K. Mallapragada, American Scientific Publishers, 2005,

L. Verdolotti, E. Di Maio, M. Lavorgna, S. Iannace, L. Nicolais, *Polyurethane-cement based foams: characterization and potential uses*", J. Appl. Polym. Sci. 107 (1): 1-8 JAN 5 2008

www.hypucem.com

www.venetonanotec.it

www.imast.it

www.imcb.cnr.it/biofoams2007

GIOVANNI CALABRESI, GIUSEPPE SCARPELLI

La geotecnica e l'evoluzione della progettazione nell'ingegneria civile

Nello straordinario sviluppo della geotecnica nell'ultimo mezzo secolo, in particolare in Italia, emergono alcuni aspetti dell'evoluzione dell'ingegneria civile e dell'atteggiamento degli ingegneri progettisti, che meritano qualche considerazione critica.

Il dilatarsi e la crescente complessità della normativa da un lato e la nascita e lo sviluppo straordinario del calcolo numerico, che permette ora la modellazione matematica delle strutture e del loro comportamento nel tempo e per qualsiasi condizione di sollecitazione, dall'altro, hanno progressivamente industrializzato i processi progettuali dell'ingegneria civile. La trasformazione della pratica professionale e del modo di progettare le opere di ingegneria determinata da questi ed altri fattori, è ormai evidente ed è stata ampiamente discussa anche in ambito AISI.

Il progettista si è progressivamente allontanato dall'atteggiamento tradizionale, che lo coinvolgeva personalmente e direttamente nella concezione di un'opera, per delegare a collaboratori (generalmente più giovani), interagenti con un computer, lo sviluppo delle analisi e delle verifiche di soluzioni spesso adottate acriticamente e poco meditate. A questo proposito occorre anche considerare che nella analisi numerica dei problemi di ingegneria si utilizzano modelli matematici della realtà fisica sempre più complessi, definiti da numerosi parametri, spesso difficilmente determinabili sperimentalmente o non deducibili dall'esperienza, che hanno però una grande influenza sul risultato finale.

In questa evoluzione dell'ingegneria civile, la geotecnica, pur avendo largamente beneficiato dello sviluppo dell'analisi numerica e della ricerca sulle caratteristiche meccaniche dei terreni, con un progresso straordinario nell'ampiezza e nell'affidabilità delle previsioni del comportamento delle opere, è stata progressivamente ridotta ad una schematica o formale definizione delle condizioni al contorno nella soluzione di un problema di analisi, estranea al nucleo concettuale dell'attività di progetto. Molto spesso la definizione quantitativa dei parametri che descrivono il comportamento dei terreni viene delegata ad altri operatori, estranei al processo centrale della concezione di un'opera, e la soluzione dei problemi costruttivi è direttamente affidata all'impresa esecutrice.

Le ragioni di fondo del fenomeno sembrano evidenti. Se è vero che la più forte differenza tra l'ingegneria civile e quella industriale è che nella prima si progettano sempre prototipi, perché la varietà delle condizioni ambientali ren-

dono diverso ogni problema, è anche chiaro che questa specificità deriva essenzialmente dagli aspetti geotecnici della progettazione, a causa della infinita varietà delle condizioni nelle quali un'opera di ingegneria civile è vincolata al terreno. Sono gli aspetti geotecnici che costituiscono perciò il principale ostacolo alla industrializzazione della progettazione in ingegneria civile.

Le modifiche dell'ordinamento universitario hanno facilitato questo processo, nel momento in cui si è preferito creare un indirizzo separato in ingegnera geotecnica, anziché sviluppare all'interno dei percorsi tradizionali le necessarie conoscenze del settore disciplinare. Al risultato positivo di un notevole progresso della ricerca nel settore, oggi certamente al più alto livello sul piano internazionale, ha purtroppo corrisposto un distacco crescente dalla cultura e dalla formazione del progettista strutturale.

Altro fattore decisivo di questa evoluzione è la sempre maggiore possibilità di superare le difficoltà poste dalle condizioni ambientali e dalle caratteristiche dei terreni nello sviluppo tecnologico delle costruzioni. È oggi possibile modificare sostanzialmente le proprietà dei terreni, tanto da poter adattare il terreno al progetto, anziché l'inverso. Si sostiene, talvolta ma non sempre a ragione, che qualsiasi difficoltà geotecnica si può superare, evidentemente ad un certo costo, modificando le proprietà meccaniche del terreno interagente con la costruzione. Non soltanto nel settore dei lavori pubblici, dove nonostante numerosi tentativi, non si è mai riusciti a far prevalere la qualità della progettazione su tutti gli altri fattori nella scelta delle soluzioni e degli operatori, anche nel settore privato una sorta di pigrizia intellettuale nell'atteggiamento dell'ingegnere civile, che si aggiunge alla naturale diffidenza verso la geotecnica, considerata materia difficile, se non astrusa, mantiene ad un livello modesto la qualità delle soluzioni adottate per gli aspetti geotecnici. L'attuale situazione sembra del resto derivare da atteggiamenti già emergenti dal dopoguerra nel settore edilizio.

Può sembrare paradossale ma lo sviluppo recente della normativa, che ormai investe ogni aspetto della progettazione, ha influito negativamente sulla qualità della progettazione. La norma dovrebbe costituire una guida nella progettazione, indirizzando il progettista nell'adozione dei metodi di analisi, dei modelli di riferimento più affidabili, dei valori dei parametri, senza tuttavia sovrapporsi alla sua libera ed autonoma capacità di scelta. Accade invece che le norme tecniche, che in Italia hanno valore cogente, per legge, vincolano il progettista, limitandone fortemente la libertà di scelta. D'altra parte l'adozione di soluzioni progettuali verificate analiticamente, che rispettino formalmente i requisiti normativi, costituiscono una sua implicita protezione rispetto a contestazioni, anche legali, di sempre possibili insuccessi.

Il cambiamento del regime normativo in ambito nazionale ha certamente promosso la progressiva industrializzazio-

ne del processo di progettazione delle più importanti infrastrutture ed opere di ingegneria. In questo contesto, il termine industrializzazione va inteso, con un'accezione negativa, come la causa della progressiva perdita di qualità nella progettazione per l'ingresso di un certo livello di automatismo nella concezione del progetto dove, alla figura centrale del progettista, che definisce l'ampiezza e gli obbiettivi di un'indagine geotecnica in funzione delle specificità del problema progettuale da risolvere e sceglie la soluzione e le metodologie costruttive per attuarla minimizzando il rischio di insuccesso ed i costi, si è oggi sostituita la figura di un responsabile della progettazione, un organizzatore, che nel concreto gestisce e controlla la qualità del processo, in modo del tutto formale.

Il ruolo della normativa, con le importanti modifiche introdotte a partire dalla Legge Quadro in materia di Lavori Pubblici, sull'affidamento dei servizi di ingegneria, in questa presunta "rivoluzione industriale" della progettazione nell'ingegneria civile, è stata particolarmente negativa proprio per la qualità della progettazione geotecnica.

Qualche considerazione

- Le amministrazioni pubbliche, per contenere i costi della progettazione, tendono ad affidare i progetti agli uffici tecnici dell'amministrazione stessa; infatti, gli incentivi previsti, nell'ordine del 2% dell'importo delle opere in progetto, sono all'apparenza di certo inferiori ai costi stabiliti in base ai minimi tariffari (la cui esistenza è da più parti ritenuta una violazione delle norme sulla libera concorrenza nei paesi europei e oggetto di contenzioso comunitario). La prassi che si è stabilita di conseguenza è che i tecnici pubblici tendono a sviluppare i progetti di importanti infrastrutture affidando a professionisti di loro fiducia lo sviluppo di specifici aspetti progettuali, parcellizzando il progetto in un insieme di consulenze specialistiche. In questa segmentazione della progettazione, viene però a mancare una figura responsabile della ideazione dell'opera. Ciò è particolarmente negativo proprio per la progettazione geotecnica, perchè la programmazione delle indagini, la sintesi dei risultati e la definizione dei parametri geotecnici, il dimensionamento delle opere che interagiscono con il terreno, la scelta delle metodologie costruttive e dei controlli in corso d'opera, sono affidate a figure professionali diverse, non sempre in sintonia ed in comunicazione fra loro.

- Quando è necessario avvalersi di professionisti esterni, vi è il ricorso alle gare di progettazione, dove risultano favorite le società di ingegneria; per queste, la segmentazione delle competenze progettuali è strumentale alla buona organizzazione del lavoro e ad una presunta qualità della progettazione; le società di ingegneria costituzionalmente, propendono per la quantità piuttosto che per la qualità, per contenere costi che sono vitali alla qualità del prodotto e proporre consistenti ribassi nelle gare senza riduzioni dei margini di profitto. In tale corsa al ribasso sono sempre inclusi anche i costi delle indagini geotecniche,

talvolta addirittura offerte a costo zero per aggiudicarsi una gara…

- In una gara per l'affidamento di servizi di progettazione, il giudizio per la scelta del progettista viene ridotto alla valutazione della migliore offerta economica. In sostanza, tutti i progetti sono uguali. La qualità si misura con il prezzo. Se ciò può essere comprensibile quando si opera in un quadro progettuale ben definito, dove l'oggetto del progetto è univoco e l'autonomia nelle scelte estremamente limitata, questo non è certamente il caso della progettazione geotecnica, dove ogni opera costituisce un prototipo, ed un progetto che preveda una soluzione intelligente e particolare può essere ben diverso da un progetto normale ed ordinario, con influenze importanti sul costo finale e sulla qualità delle opere realizzate.

- In questa logica di rinnovo del quadro normativo di riferimento, un altro aspetto che tende a produrre perdita di qualità nella progettazione è l'istituto dell'appalto integrato. Con l'appalto integrato, un progettista partecipa ad una gara per la redazione di un progetto esecutivo unitamente all'appaltatore, rielaborando un progetto definitivo in genere predisposto dall'amministrazione, dove si presume che il suo compito sia "limitato all'ingegnerizzazione" delle lavorazioni. Prima dell'appalto, il progetto definitivo deve essere "validato" per accertare la fattibilità tecnica ed economica dell'intervento; in tale validazione si deve verificare l'esistenza di un'indagine geotecnica e la congruenza delle scelte progettuali ai risultati dell'indagine. Istituzionalmente quindi, la progettazione esecutiva di un'opera è considerata come un compito finale e conclusivo dell'attività progettuale e non costituisce un aspetto che condiziona la stessa concezione dell'opera. Nell'appalto integrato, l'amministrazione può sì imporre studi ed indagini di maggior dettaglio rispetto a quelli utilizzati per la redazione del progetto definitivo, ma senza che ciò comporti un compenso aggiuntivo a favore dell'appaltatore che ha già vinto la gara al massimo ribasso.

- Infine, la validazione dei progetti è un'attività che viene affidata, preferibilmente, alle strutture tecniche della stazione appaltante o a strutture cosiddette accreditate, con una gara al massimo ribasso; ne risulta che il controllo di qualità si riduce ad un'attività burocratica e formale, che tende a deresponsabilizzare chi progetta e chi controlla e sfavorisce la ricerca di soluzioni progettuali innovative. Negli appalti pubblici, dove la principale preoccupazione degli incaricati della validazione è quella di ridurre ogni rischio, si perviene spesso all'approvazione di soluzioni antieconomiche e poco logiche.

Il furore rinnovatore degli ultimi tempi ha riguardato non solo le procedure e l'organizzazione della progettazione ma anche gli aspetti più strettamente tecnici, con la completa ristrutturazione delle Norme Tecniche sulle Costruzioni, promossa dall'introduzione degli Eurocodici. I codici europei hanno modificato l'impostazione tradizionale delle normative italiane nella definizione della sicurezza, ma allo stato attuale non è chiaro

quanto che questo cambiamento possa influire sulla prassi progettuale.

In primo luogo, gli Eurocodici nascono con il carattere di linea guida, cioè come un insieme di raccomandazioni da seguire e non come una norma. La maggior parte dei paesi europei infatti, non vincolano il progettista ed il costruttore a seguire un particolare corpo di regole tecniche, ma lasciano libera la scelta delle procedure, ponendo vincoli contrattuali sul livello di qualità e sulle prestazioni attese. In altri termini, le regole tecniche non possono condizionare le scelte progettuali più di tanto, mentre vale il principio di responsabilità sul risultato finale.

Se, ad esempio, si fa riferimento all'ingegneria geotecnica, l'introduzione dell'Eurocodice 7 rappresenta un importante passo nella direzione di una progettazione geotecnica di qualità; con tale documento risultano ben definiti i requisiti e le procedure per la progettazione geotecnica e si evidenzia, in modo particolare, l'imprescindibile connessione fra indagini geotecniche e progettazione. La maggiore novità è l'importanza che si attribuisce alla definizione del modello geotecnico; a questo fine, la norma rappresenta una linea guida per inquadrare e risolvere un particolare problema progettuale, dalla definizione del programma delle indagini alla valutazione dei risultati per la scelta dei parametri geotecnici, dalla individuazione delle situazioni limite alla scelta dei modelli di analisi, dei parametri da controllare e del programma di costruzione e di monitoraggio. Con l'Eurocodice 7, le indagini geotecniche assumono un ruolo centrale nella progettazione; la sicurezza di un'opera geotecnica presuppone che la campagna di indagine, fatta di osservazioni e misure, in sito ed in laboratorio, sia condotta secondo elevati standard di qualità e, soprattutto, che l'articolazione dell'indagine sia motivata dallo specifico problema progettuale che deve essere risolto. L'aumento delle responsabilità del progettista, determinato dal cambiamento della filosofia normativa, che perde il suo carattere prescrittivo in favore di un approccio decisamente prestazionale, implica che ogni progettista assuma direttamente l'onere di stabilire, con precisione, il quadro di riferimento per la soluzione dei problemi geotecnici di un progetto.

Secondo l'Eurocodice 7, al crescere della complessità dell'opera il progettista geotecnico è sempre meno vincolato nella scelta delle procedure e dei metodi di analisi. Anzi, per promuovere la riduzione dei costi, viene esplicitamente consentito di elevare la categoria di complessità del progetto per adottare procedure e regole che sono diverse da quelle definite per analizzare le opere più semplici.

Nel nostro paese, l'Eurocodice 7 in quanto tale, non è stato ancora adottato. In particolare non è stata divulgata la sua traduzione in lingua italiana e le appendici normative, con i valori dei fattori e coefficienti che stabiliscono il livello di sicurezza da adottare, saranno pubblicati solo a seguito della promulgazione definitiva delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Le nuove Norme, in tutto e per tutto coerenti con i metodi e le procedure progettuali fissate dagli Eurocodici, costituiscono però la trasformazione del documento europeo da semplice procedura metodologica a un corpo di regole cogenti per il progettista. La norma diventa così uno strumento complesso e corposo, in un certo senso, troppo vincolante per un progettista alla ricerca di soluzioni intelligenti e di qualità, costretto a molti adempimenti formali che non lasciano spazio alla fantasia progettuale e, sostanzialmente, deresponsabilizzano.

L'insieme di queste considerazioni sull'impatto della recente normativa sulla qualità della progettazione giustifica probabilmente anche l'abbassamento generale della età dei progettisti che partecipano attivamente alle riunioni ed alle discussioni che gli Ordini Professionali stanno promuovendo su questi temi, in varie regioni d'Italia. In una professione in cui l'esperienza è un elemento fondamentale per la qualità del prodotto, da trasmettere senza soluzioni di continuità fra le generazioni di progettisti che si susseguono, anche questo dato costituisce un aspetto critico che non può essere sottovalutato.

In sintesi, la perdita di qualità della progettazione può essere attribuita ad una serie di fattori fra cui

- la de-responsabilizzazione del progettista per effetto della suddivisione del progetto fra figure professionali distinte e separate
- l'automazione nel calcolo che sposta l'attenzione del progettista sui problemi di modellazione distogliendolo dalla ricerca di soluzioni funzionali, economiche e meno rischiose
- la complessità formale ed il numero elevato di verifiche e dei casi da analizzare per il dimensionamento di ogni singola opera
- l'introduzione delle gare di progettazione con la minimizzazione dei costi del progetto e delle indagini e la riduzione estrema dei margini di guadagno per i professionisti

che concorrono a determinare, progressivamente, la scomparsa della figura del progettista classico in favore dello sviluppo di nuove forme di associazione fra professionisti e soprattutto delle società di ingegneria, dove l'esigenze di mercato prevalgono e, per lo più confliggono, con quelle della progettazione di qualità.

NORME TECNICHE DELLE COSTRUZIONI, documento in corso di approvazione, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Luglio 2007.
LEGGE QUADRO IN MATERIA DI LAVORI PUBBLICI, n. 109, 11 febbraio 1994.
EUROCODE 7: Geotechnical Design – Part 1: General Rules. CEN European Committee for Standardization. Brussels.2004.

GIULIO FABRICATORE

La lampadina elettrica: una storia anche italiana

La lampadina elettrica costituisce certamente uno dei *topoi* più universalmente acquisiti nella storia della tecnica e delle invenzioni, accompagnata dalla generale consapevolezza del suo ormai insostituibile ruolo nella nostra vita.

Tra i luoghi comuni più pervicacemente legati alla storia di questa umile ma fondamentale compagna delle nostre ore notturne va certamente annoverato quello che la attribuisce all'ingegno di quel certamente geniale americano che fu Thomas Alva Edison, destinatario di vero culto popolare.

Si intende qui ripercorrere la storia delle condizioni che resero possibile l'invenzione della lampadina e delle sue prime evoluzioni.

Ma si vuole anche mettere in evidenza un "lato" italiano di questa storia, ricordando il contributo di un creativo contemporaneo di Edison: Alessandro Cruto, da Piossasco, inventore e realizzatore di un interessante e sofisticato procedimento di produzione della lampadina, agli albori dell'invenzione. A questo inventore è oggi dedicato l'Eco-Museo di Alpignano (TO).

Il problema del vuoto

Uno dei problemi fondamentali, chiaro quasi immediatamente a quanti cercavano di pervenire alla illuminazione elettrica a incandescenza, era quello della breve durata dell'elemento radiante: la presenza dell'ossigeno, insieme alla temperatura elevata, ne determinava ossidazione e rottura in tempi troppo brevi.

Si capì, allora, che occorreva asportare al meglio possibile l'aria dall'ampolla di vetro che ospitava il filamento, così da creare un vuoto affidabilmente spinto.

Una soluzione efficiente sembrò quella offerta dalla pompa a vuoto realizzata dal chimico tedesco Hermann Sprengel nel 1865. Ma la pompa di Sprengel comportava un "trattamento" lento (una per ogni lampadina da trattare), troppo lento per essere compatibile con una produzione anche solo approssimativamente "industriale". La pompa di Sprengel presentava, inoltre, gravi e già noti rischi per la salute degli operatori, esposti a letali vapori di mercurio.

Un deciso passo avanti fu reso possibile dall'idea avuta da Arturo Malignani, fotografo friulano appassionato di chimica e fisica, il quale propose e realizzò un processo semplice e di notevole efficacia.

Egli intuì che, per un funzionamento duraturo del filamento (di qualunque materiale fosse) occorreva espellere dalle ampolle non solo l'aria ma anche i gas che, adsorbiti dal filamento stesso, venivano liberati durante il suo riscaldamento, i prodotti del cosiddetto "degassaggio" che Malignani definì come "gas

blu". Dopo la solita serie di prove e tentativi infruttuosi, il fotografo inventore raggiunse l'obiettivo immettendo nelle ampolle di vetro dei vapori di fosforo che, combinandosi con il "gas blu", davano luogo a un precipitato inerte che lasciava un vuoto praticamente perfetto (per gli scopi) e permanente. Il procedimento poteva essere applicato a più ampolle contemporaneamente, offrendo, così, una soluzione anche al problema di una eventuale produzione di massa. La trovata di Malignani divenne ben presto nota e apprezzata: lo stesso Edison si mostrò interessato al punto da inviare ad Udine alcuni tecnici, con l'intento di verificare l'efficienza del procedimento proposto ed invitare l'italiano in America per una eventuale collaborazione.

I primordi

Ben prima dell'invenzione della lampada a incandescenza si possono registrare molti casi (soprattutto in ambito industriale) di illuminazione con lampade ad arco elettrico. Questo tipo di illuminazione era stato messo a punto e progressivamente migliorato in numerose applicazioni che sfruttavano l'invenzione dell'arco elettrico da parte di Humphrey Davy (intorno al 1809). Allo stesso periodo può essere ascritta la prima apparizione pubblica di una sorgente luminosa di natura "elettrica" in occasione della dimostrazione della lampada ad arco dello stesso Davy.

Nel corso della sua ricerca, fra il 1802 e il 1808, Davy scoprì anche che una corrente elettrica poteva essere impiegata per portare all'incandescenza una strisciolina metallica allo scopo di sfruttarne gli effetti luminosi; molto discussa è l'attribuzione della stessa scoperta al francese Louis Jacques de Thenard della scoperta, nel 1801.

La scarsa efficienza delle sorgenti a incandescenza e la modesta durata delle sorgenti allora disponibili (rudimentali pile) lo indussero a concentrare i suoi sforzi sulla lampada ad arco con elettrodi in carbone. L'illuminazione così prodotta risultava assai poco adatta ad usi domestici a causa di costi ed ingombri proibitivi delle batterie richieste oltre che della elevatissima intensità della luce prodotta, certamente poco confortevole. Questo tipo di lampade era particolarmente adatto alle applicazioni che richiedevano elevata potenza luminosa, come i fari, in sostituzione delle lampade a petrolio o a gas.

La diffusione, piuttosto rapida, delle lampade ad arco aveva favorito lo sviluppo di una fiorente industria già dai primi decenni del XIX secolo: per limitarci a un solo esempio, basti ricordare che un'azienda leader del settore fornisce di lampade ad arco le grandi arterie stradali delle capitali di tutto il mondo. Il suo direttore, Charles Francis Brush, è il primo ad aver installato un sistema di illuminazione elettrica permanente in un luogo pubblico, la Public Square della sua città, Cleveland, ove ha sede la sua azienda.

La lampada a incandescenza

Per i primi filamenti furono impiegati il platino e l'iridio, entrambi scelti per

le loro elevate temperature di fusione (1768,4°C e 2446°C rispettivamente).

Sembra certo che sia stato il già citato sir Humphrey Davy, intorno al 1805, a individuare il platino come il materiale più adatto allo scopo. In Svizzera, nel corso del 1820, August de la Rive impiegò una spirale di filo di platino in un tubo di vetro parzialmente svuotato di aria. D'altra parte, nel 1838, in Belgio, Jobard mostrò che un bastoncino di carbone bruciava più a lungo in un ambiente privo di aria. Nel 1840 Warren De La Rue mostrò che la presenza anche minima di aria in una lampada a platino ne avrebbe impedito la utilizzabilità pratica. Una spirale di filo di platino fu usata anche da William Grove per dimostrare l'efficienza della sua batteria. In America, nel 1848, un brevetto fu riconosciuto all'inglese W. E. Staite per i suoi filamenti di iridio a ferro di cavallo. Un altro americano, J. W. Draper, produsse nel 1846 una lampada a filo di platino. Si ricorda anche che proprio con questo tipo di lampada Moses G. Farmer di Salem, Mass. USA, noto per un rilevante progetto di dinamo, già dal 1858 aveva illuminato una camera della sua casa per un periodo di diversi mesi, il che attribuisce a questo episodio il più che probabile merito di costituire il primo caso di illuminazione domestica ad incandescenza.

Un orologiaio tedesco, Heinrich Goebel, emigrato in America nel 1848, fu forse il primo a produrre e utilizzare lampadine elettriche a filamento di carbone incandescente nel 1854. Da notare che si guadagnava da vivere girovagando con il suo vagone per offrire, a pagamento, la visione attraverso il suo telescopio. Per attrarre i suoi potenziali clienti, illuminava il vagone e, più tardi, la vetrina della sua gioielleria a Newark con lampadine alimentate a batteria e prodotte artigianalmente con bottiglie di acqua di colonia parzialmente svuotate d'aria e dotate di un filamento a striscia di bambù. Da notare che solo nel 1893 fu legalmente riconosciuta la sua precedenza su Edison.

Una lampada a filamento "esposto", dovuta a de Changy, fu usata in Francia in alcune miniere nel 1856.

In Russia il porto di S. Pietroburgo fu illuminato nel 1872 da Lodyguine con circa 200 lampade a incandescenza, realizzate con un blocchetto di carbone in un'ampolla di vetro riempita di azoto. Ma la lampadina non costituiva ancora una proposta pratica o commercialmente interessante, almeno fino alle modifiche introdotte successivamente da due inventori operanti indipendentemente in Inghilterra e in America, Joseph Swan e Thomas Alva Edison), che resero la lampadina affidabile e adatta a una produzione di massa.

Thomas A. Edison

Della sua lunga e interessante biografia mette conto ricordare qui solo quanto attiene strettamente alla nascita della lampadina ad incandescenza. Già nel 1878, in occasione di una sua visita ai laboratori elettrici di Mr. William Wallace ad Ansonia, nel Connecticut, USA, si rese conto dell'importanza di sviluppare l'idea di una lampada a incande-

scenza "realizzabile" per fini pratici. Sulla scia di quanti avevano già lavorato a questa idea, cominciò a speculare sulla possibilità di impiegare conduttori di platino. Progettò, perciò, un filamento di platino che evitasse di cortocircuitare sé stesso quando si allungava per effetto del riscaldamento. Il progetto, tuttavia, non risultava affatto pratico: ad ogni impiego, il filo doveva essere sottoposto ad una piccola trazione, ciò che richiedeva una frequente regolazione dei contatti. Quando i dettagli del progetto divennero di pubblico dominio, fu facile notare che era piuttosto simile a quello di J. W. Draper del 1847 e a quello di Hiram Stephen Maxim. Inoltre si è già prima ricordato che la lampada con la quale Moses G. Farmer illuminò per un lungo lasso di tempo la sua casa nel 1858 era proprio a filamento di platino ed "autoregolante"

Senza scomporsi, Edison continuò a sperimentare col filo di platino, fino a produrne numerose versioni; a partire dal dicembre del 1879, iniziò, inoltre, a sperimentare l'impiego di fibre organiche (vegetali) carbonizzate. Una di queste lampade a filamento di carta carbonizzata aveva la forma di una colonna piuttosto alta, con la parte superiore tonda; il tutto era, poi, fissato a una base di legno con morsetti a vite.

I reofori interni erano di platino, con piccoli morsetti pure di platino per collegare e supportare il filamento a forma di ferro di cavallo; nell'ampolla di vetro veniva praticato il miglior vuoto possibile prima di essere sigillato alla base. Edison stesso capì subito che la carta carbonizzata non era di certo il materiale migliore come filamento. Ben presto cominciò, allora, a sperimentare numerosi altri materiali. Il 19 ottobre del 1879 notò che un filamento di cotone carbonizzato si era rotto solo dopo aver resistito per ben due giorni di impiego continuo. La lampada che presentò in pubblico il 31 dicembre dello stesso anno 1879 aveva il filamento di carta di alta qualità carbonizzata; e fu proprio questo tipo di lampada che cominciò a produrre nel 1880, con una società che chiamò *Edison Lamp Company*.

Alla ricerca continua di materiali sempre migliori, trovò che il bambù era particolarmente adatto. Organizzazione di tipo industriale e disponibilità finanziaria gli consentirono di ottenere ben 16mila campioni di bambù di varie specie e di provarli quali filamenti in altrettante lampadine finché non trovò il tipo che risultasse il più idoneo. Per un buon numero di anni Edison, convinto di questa sua scelta, continuò a usare il bambù, finché, nel 1894, oltre un decennio dopo, si convertì al filamento metallico della lampada di Swan

Verso il miglioramento della durata

Benché il miglioramento delle tecniche di produzione dei filamenti di carbone avesse consentito la realizzazione di lampade che sembravano robuste e durevoli, gli industriali cercavano di migliorarne i rendimenti ottenendo, anche, una resa cromatica più simile a quella della luce diurna attraverso un aumento della temperatura di funzionamento dei filamenti



Fig. 1 - Lampada a carbone

A tale scopo venivano seguite due vie:

- la messa a punto di filamenti metallici idonei
- la ricerca di miscele gassose capaci di limitare l'evaporazione del filamento, causa di annerimento del bulbo di vetro e di rottura del filamento assottigliato.

Nel 1902 l'ingegner Werner Bolton riuscì a fabbricare un filamento in tantalio (temperatura di fusione a 2996°C): la lampada che lo utilizzava poteva vantare un rendimento luminoso di circa 7 lm/W, ben 5 volte superiore rispetto alla lampada con filamento in carbone.

L'attenzione si concentra, però, sempre di più sul tungsteno, per i 3480°C del suo punto di fusione.

Dopo decenni di tentativi infruttuosi da parte di numerosi ricercatori in tutto il mondo, l'austriaco Alexander Justt e il suo assistente Franz Hanamann riescono, nel 1904, ad agglomerare la polvere di tungsteno per produrre un filamento che poteva raggiungere temperature molto elevate senza rimanerne rapidamente distrutto.

Ma è solo nel 1909 che William D. Coolidge (1873-1975) mette a punto un procedimento per la trafilatura del tungsteno ad alta temperatura, destinato a diventare il materiale definitivo per la costruzione di filamenti efficienti e duraturi, usati ancora oggi nelle lampade a incandescenza.

Potenza delle lampade e rendimento (elettrico e luminoso)

Le prime lampade prodotte industrialmente erano penalizzate da "rese" luminose (lumen/watt) decisamente modeste.

Trascurando la primitiva unità di misura del flusso (espresso in "violle"), e riferendoci, piuttosto, alla cosiddetta "candela" (cd) ancora oggi impiegata, (1 violle = 20,17 cd), si può quantificare l'efficienza luminosa delle prime lampadine.

La lampada di Edison a filamento di carbone richiedeva 50 W elettrici per 16 cd, corrispondenti a 0,32 cd/W!

Le lampade a filamento metallico consentirono un deciso miglioramento:

- un filamento al tantalio da 25 cd consumava circa 40 W (circa 0,63 cd/W)
- un filamento di tungsteno offriva 40 cd per soli 40 W (1 cd/W)

Queste cifre, insieme alla durata assai maggiore del tungsteno, spiegano la ragione del successo definitivo di questo tipo di filamento.

La lampadina di Cruto

In questa lunga e piuttosto tormentata storia, piena di contrasti anche giudiziari, un posto a sé è occupato da una singolare figura di ricercatore autodidatta: Alessandro Cruto.Nato a Piossasco (TO) il 18 marzo 1847 (stesso anno della nascita di Edison!), Alessandro Cruto non seguì un corso regolare di studi e gli "esperimenti" ai quali si dedicò con fervore erano supportati soltanto da una innata, costante e profonda curiosità.

Tra gli obiettivi primari che si pone già dall'età di vent'anni c'è l'ottenimento del diamante artificiale per usi industriali. Dai testi che trova a portata di mano apprende che, per lo scopo, è necessario disporre di elevate pressioni. Con sacrifici dell'intera famiglia, riesce a farsi costruire a Torino una pompa capace di produrre le pressioni richieste. Nel settembre 1873, Cruto scopre che il riscaldamento di etilene ad alta pressione ha prodotto del carbonio che, lontano dall'essere il desiderato diamante, appare, tuttavia, piuttosto interessante.



Fig. 2 - Fotografia di Alessandro Cruto (1900 circa)

In maniera alquanto fortuita inizia, così, una serie di avvenimenti che finirà per condurre il giovane inventore a occuparsi, e con successo, di una versione personale della lampadina elettrica.

Nel 1876 (come riportano i sempre accurati taccuini dell'inventore), Cruto riesce ad ottenere del carbonio in forma di lamine lucenti ed elastiche come l'acciaio. Ma nel 1879 si verifica l'avvenimento destinato a fare da catalizzatore per l'invenzione decisiva, come lo stesso racconta:

"Era sul principio dell'anno 1879 aveva letto qualche cosa sui tentativi che faceva Edison per una lampadina a incandescenza a spirale di platino. In seguito, e più precisamente la sera del 24 maggio stesso anno andai ad assistere a quella delle conferenze che dava allora il professor Galileo Ferraris nel museo industriale italiano.

Una grande folla si piggiava in quella sala, io, per mia disgrazia, arrivai un poco in ritardo, non potei apprendere gran che, ma tuttavia vi appresi la parte storica della lampada ad incandescenza. Storia che risale dal 1845.

Il principio dell'invenzione della lampada ad incandescenza trovandosi nel dominio del pubblico, mi fece pensare all'applicazione delle lamine

di carbonio che imparai a fabbricare fin dall'anno 1876".

L'idea di applicare il materiale che andava studiando alla lampadina sembra, quindi, decisamente fortuita!

Ma il processo si era ormai avviato. La sua ricerca sul carbonio si sarebbe svolta parallela a quella sulla illuminazione elettrica. I primi passi sono difficili soprattutto a causa di una quasi assoluta mancanza di finanziatori. L'incontro con un certo prof. Siacci, dal quale Cruto sperava di ottenere una qualche forma di utile riconoscimento delle sue scoperte, lo lascia piuttosto deluso e sconfortato.

Nonostante ciò, non demorde e scrive nel suo diario:

"*… pensai che coi limitati mezzi di cui poteva ancora disporre avrei potuto fare la spesa di costruire qualche lampada onde pormi trovare un socio o dei soci capitalisti. Per ciò fare avrei fors'anche potuto ottenere il permesso di fare uso delle pneumatiche e di pile della Regia Università di Torino*".

Con un po' di fortuna (finalmente) e l'interessamento di qualche estimatore (come un certo signor Fast), riesce nel suo intento e può annotare nel diario:

"*Il 1° esperimento d'illuminazione elettrica allestito nel laboratorio della Regia Università di Torino si è fatto il 5 marzo 1880.*"

E scrupolosamente precisa e descrive:

"*Il vuoto si era fatto colle pneumatiche ordinarie del gabinetto, la corrente elettrica fornita da una batteria di pile Bunsen pure del gabinetto. In tale esperimento si constatò la perfetta omogeneità delle mie lamine di carbonio, ma la durata dell'illuminazione non fu lunga, pochi minuti, ciò perché il vuoto fatto colle pneumatiche a doppio cilindro, ancorché abbastanza buone e con rubinetto di Babinet, tuttavia come ben si comprende non era buono."*

La cosa accadeva nello stesso 1880 in cui Edison, dall'altra parte dell'oceano, avviava la produzione industriale delle sue lampade, che erano, però, a carbone vegetale, completamente diverse da quelle di Cruto.Il quale continua a sperimentare in modo quasi febbrile, arrivando a progettarsi anche una pompa a vuoto che fosse adeguata ai suoi scopi. Il 1882 è l'anno della svolta: comprende la necessità di un salto di livello e chiede alla prefettura "*… la privativa industriale sopra i perfezionamenti da me ottenuti*" in vista di uno sviluppo applicativo di tipo industriale.

Alla ricerca di continui miglioramenti, comprende che le lamine di carbone, pur se di ottima qualità, non fornivano il materiale più adatto all'elemento cruciale di una lampada ad incandescenza:

"*… Convinto poi che quella forma dei carboni non era la più appropriata e che la forma a filamento meglio si addiceva allo scopo, studiai il modo di ottenerlo in filo. Trovai il modo di ottenerlo facendo depositare il carbonio sopra un filo finissimo di platino, percorso da una corrente elettrica da portarlo al rovente in un'atmosfera di idrogeno bicarbonato. Per la fabbricazione di questi filamenti ho dovuto immaginare e costruire un tutto speciale.*"

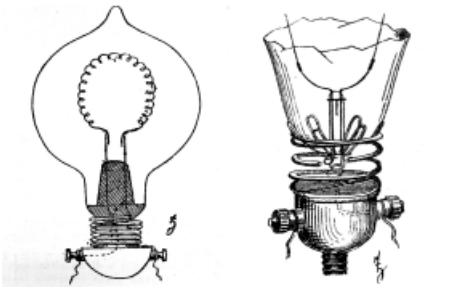


Fig. 3 - Lampada a filamento Cruto: prospetto e sezione. Xilografia, su disegno Zuccaio, in "Gazzetta del popolo", Torino, 21 ottobre 1883

Ecco l'idea vincente: il filamento è ancora di carbonio ma il procedimento di Cruto consente di ottenerlo sotto forma di sottilissimo tubicino: è il primo filamento interamente sintetico e con caratteristiche controllate e programmabili.

L'inventore non tarda a rendersi conto che una lampadina elettrica, nella sua solo apparente semplicità è, invece, un insieme piuttosto complesso di parti che presentano problemi non banali di costruzione ed assemblaggio, in vista di un funzionamento duraturo ed efficiente. Dopo le difficoltà nel reperimento di un buon soffiatore di vetro, Cruto si concentra sul problema delle saldature del filamento ai reofori metallici:

"*Questa saldatura elettrica che a giusta ragione deve chiamarsi per incandescenza, costituiva una vera invenzione, che poi ho compreso nel mio primo brevetto del 1882…*"

La neonata realizzazione funziona così bene da consentire al suo inventore di ben figurare alla "*Esposizione di Elettricità*" di Monaco di Baviera che si teneva quello stesso fatidico anno.

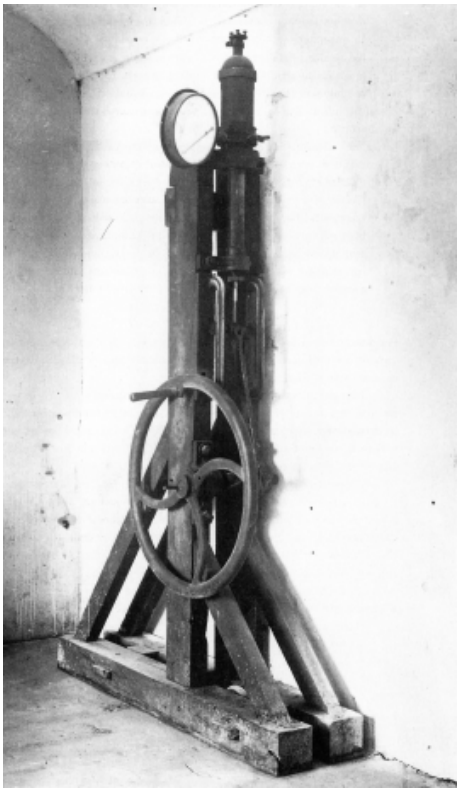


Fig. 4 - Pompa a vuoto progettata e realizzata da Cruto

Si comincia a diffondere la fama del'ex capomastro di Piossasco, al punto che un reportage di "Cosmos Le Monde" riferisce che:

"*Mons. Cruto de Piossasco viene a modificare onorevolmente la famosa scoperta di Edison … questa invenzione è destinata certamente ad un grande avvenire*".

E il comune di Piossasco, dando prova concreta di fiducia nelle capacità del suo non più oscuro concittadino, fa installare un impianto di pubblica illuminazione con le lampade Cruto: la piccola cittadina di provincia può rivendicare,

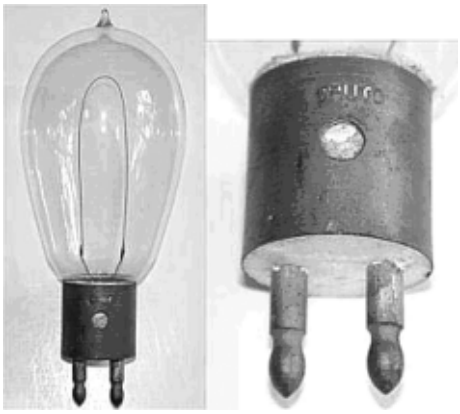


Fig. 5 - Lampada di Cruto: sullo zoccolo si legge il nome dell'inventore

così, di essere stata, il 16 maggio 1883, la prima città d'Italia ad essere illuminata con lampadine elettriche, un anno prima del preteso primato di Parigi, ove la luce elettrica avrebbe rischiarato la notte di Place de la Concorde solo nel 1884!

Nella lunghissima disputa fra Cruto ed Edison, sulla reale paternità dell'invenzione della lampadina, mette conto sottolineare la assoluta superiorità tecnica del "modello Cruto". A implicito e importante riconoscimento di questo primato (fondato sulla qualità "ingegneristica" della realizzazione), vale la pena di citare un passo dello stesso Cruto:

"… la società Vestinghouse che aveva comprato il mio primo brevetto degli Stati Uniti di America …".

Non abbisogna di commenti la circostanza che la potente e rinomata Westinghouse abbia acquistato il brevetto Cruto pur avendo "in casa" il grande e famoso Edison! La lampada di Cruto si avvia ad una "carriera" piena di soddisfazioni, confortate e rafforzate da numerose, continue e rigorose prove alle quali viene regolarmente sottoposta.

Mette conto citare l'esito del test condotto dall'autorevole prof. H. F. Weber nel laboratorio di fisica del Politecnico di Zurigo. A conclusione delle prove, si dice, tra l'altro che: "… il filo presentava, per aumenti diversi di temperatura nelle sue variazioni di resistenza, un po' le proprietà del platino e un po' quelle del carbonio puro."

Il vantaggio del filamento di Cruto su quello di Edison era evidente e notevole: la sostanziale omogeneità dimensionale e fisica del filamento di Cruto, con una resistività assolutamente uniforme e una resistenza costante nei vari tratti, erano i fattori che garantivano migliore qualità della luce prodotta e una maggiore durata.

A sancire definitivamente il grande successo dell'invenzione di Cruto, la Gazzetta Piemontese del 2 novembre 1884 dava conto della diffusione dell'invenzione ben oltre i confini d'Italia: "A Ginevra … venne illuminato colle sue lampade il grandioso salone del battello Mont Blanc che fa servizio di trasporto su quel lago.

Da alcuni mesi poi si stanno fabbricando su vasta scala lampade a sistema Cruto dalla casa Mildé di Parigi, concessionaria del brevetto per la Francia.

Anche nella lontana America, a Cuba e New York, la lampade Cruto sono favorevolmente conosciute e apprezzate, e la Società ricevette da quei paesi offerte per i brevetti."

Cruto si dedica, ormai, anche agli aspetti economico-industriali della sua realizzazione: nell'aprile del 1885 costituisce la "Società Italiana di Elettricità Sistema Cruto" alla quale è affidato il compito di "… esercitare i brevetti della Società … colla fabbricazione e collo smercio di lampade elettriche…"

La nuova prospettiva induce Cruto ad abbandonare l'angusto spazio del suo laboratorio artigianale a Piossasco e, dopo una lunga ricerca, individua in Alpignano il luogo adatto per il suo stabilimento industriale, spinto dalla necessità di "… *portare la fabbrica in località dove si avesse una sufficiente forza idraulica, il che non poteva aversi in Piossasco*", come racconta lo stesso inventore.

La "grandiosa fabbrica" viene terminata nel 1886 e viene così descritta da Cruto: "… occupa un'area degli antichi fabbricati del molino, fucina, pesta da olio e da canapa e buona parte del letto del fiume, ingombrando (sic!) una pittoresca veduta … La produzione giornaliera è di 1000 lampade di varia intensità; gli operai erano 26 e lavoravano per una lira al giorno. I maestri vetrai venivano in parte da Venezia, in parte dall'Olanda".

È l'inizio di una fortunata parabola industriale, che si arresta solo nel 1922, allorché la Edison Clerici (che aveva acquistato gli stabilimenti di Alpignano nel 1910 per la produzione e la diffusione internazionale della cosiddetta "lampada Z") decide di concentrare la sua produzione a Milano, a causa della crisi industriale nazionale.

L'ing. Silvio Marietti riesce, nel 1927, a vendere alla Philips gli stabilimenti di Alpignano, che riprendono la propria attività nel 1928, con 300 operai; la parte più vecchia del complesso industriale è trasformata in dopolavoro e mensa.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Comune di Alpignano, nella persona del suo sindaco, per la sensibilità e la prontezza con le quali ha reso disponibile prezioso materiale sulla figura, la storia e le opere di Alessandro Cruto.



Fig. 6 - Opificio Cruto ad Alpignano (TO)



Fig. 7 - Operai nell'opificio Cruto di Alpignano: reparto lavorazione filamenti e lampadine

Bibliografia

G. ARBILE, *La lampadina elettrica è italiana?*, Tipolito Subalpina, 1990

ASSOCIAZIONE FRA ESERCENTI IMPRESE ELETTRICHE IN ITALIA, *Notizie sui principali impianti elettrici d'Italia*, Milano, Tipografia Industriale Giovanni Pizzi, 1910

M. BAUDRAZ E L. PALMUCCI (a cura di), *Alessandro Cruto ad Alpignano. Nasce una fabbrica si illumina un paese*, Alpignano, Tipografia FB, 1998

M. C. CORTI, *La lampada sopra il moggio*, Tivoli, Progetti Museali Editore, 1995.

E. PIAZZOLI, *Impianti di illuminazione elettrica*, Hoepli, 1893

E. PIAZZOLI, *Impianti ed esercizi di illuminazione elettrica*, Hoepli, 1910

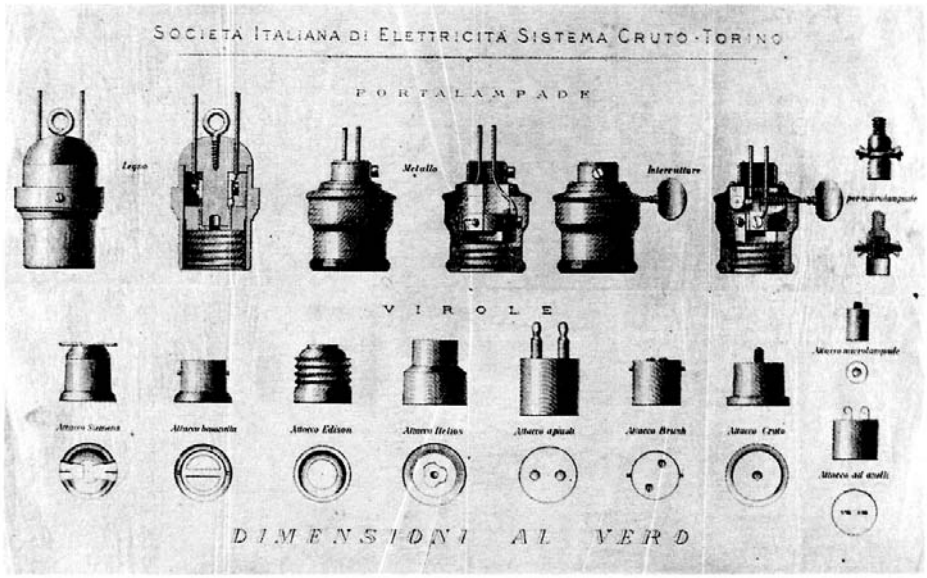


Fig. 8 - Società Italiana di Elettricità Sistema Cruto. Portalampade e Virole. Litografia, 1884 (Collezione privata)

EMILIO MARAINI

L'elettrificazione delle ferrovie italiane. Una storia di coraggiosa intraprendenza e di incapacità a seguire una coerente politica industriale

"*Sbucato dalla galleria delle Pievi, l'elettrico scivola già col pantografo dentro il fornice della successiva, portandovi la sua corsa inderogabile, illividita da scintille violette…Isolatori bianchi alle sandaline dei sostegni, fanno un'allineata di perle: come a voler agghindare la riviera*".[1]

Questa bella pagina, sebbene un po' enfatica, scritta nel 1936 da Carlo Emilio Gadda, ingegnere e scrittore, potrebbe essere assunta a simbolo dell'entusiasmo che l'elettrificazione delle ferrovie suscitò nel nostro Paese, assieme ad una particolarità tutta italiana di privilegiare l'enfasi poetica alla costante e, per certi versi persino pedante, ricerca della coerenza fra le scelte tecnologiche, la politica industriale e la compatibilità economica.

Alla fine del secolo XIX ed all'inizio del XX la applicazione dell'energia elettrica alla trazione ferroviaria suscitava notevoli discussioni e dibattiti sia di natura tecnica che economica ed industriale. I sistemi allora utilizzati per la trazione elettrica appartenevano a tre famiglie.

1. trazione elettrica a corrente continua a media tensione (500 – 600 volt) per tranvie e ferrovie secondarie e ad alta tensione (1500 – 3000 volt) per applicazioni ferroviarie.

2. trazione elettrica trifase a bassa frequenza (15 Hz poi 16 e 2/3 Hz) con tensione di linea di 3400 – 3600 volt.

3. trazione monofase a bassa frequenza (15 Hz poi 16 e 2/3 in Europa e 50 Hz negli Stati Uniti) ad alta tensione di alimentazione (11000, 15000 e successivamente 25000 volt). Non sfuggiva però l'interesse sotto l'aspetto pratico che avrebbe avuto l'utilizzazione della corrente a frequenza industriale (45 poi 50 Hz in Europa).

Ponendosi quindi il problema di affrontare in modo sistematico e possibilmente unificato il nodo dell'elettrificazione delle ferrovie, e, si deve riconoscere, con notevole lungimiranza, il Governo di Rudinì nominò nel 1897 una Commissione per lo studio della applicazione della elettrificazione nelle Reti ferroviarie in regime di concessione su linee a carattere secondario (era allora comune convinzione che la trazione a vapore presentasse vantaggi sia tecnici che economici che la rendevano insostituibile nelle linee principali).

Furono proposti tre esperimenti che furono portati a termine:

- il primo con automotrici ad accumulatori sulla linea Milano – Monza (2 febbraio 1899) e sulla Bologna – S. Felice (1° dicembre 1900).

- Il secondo a corrente continua a

650 volt terza rotaia, sulla Milano – Varese (11 ottobre 1901).

- Il terzo con trazione trifase a 3000 volt e frequenza 15,8 Hz sulla linea Lecco-Colico-Chiavenna (della Valtellina) portato a termine il 1° settembre 1902.

È ragionevole affermare che la storia dell'elettrificazione delle ferrovie in Italia, ha inizio con l'elettrificazione della linea della Valtellina.

Da qui infatti prende origine l'applicazione della corrente alternata trifase a frequenza industriale che giungerà a rappresentare una parte assai consistente dell'elettrificazione delle ferrovie italiane fino alla ricostruzione postbellica degli anni '50.

Non si può tuttavia non ricordare seppure brevemente il ruolo fondamentale della scuola italiana di ingegneria nelle nascita e nello sviluppo delle trazione elettrica.

Nel 1888 Galileo Ferraris dava notizia all'Accademia delle Scienze di Torino di una sua invenzione che risaliva a tre anni addietro: *"Per mezzo di una semplice corrente alternata, operante in spirali immobili, è possibile produrre un campo magnetico rotante ed ottenere con questo tutti gli effetti che si potrebbero ottenere dalla rotazione di una calamita"*.



Fig. 1 - Prototipo del motore di Galileo Ferraris

L' importanza dell'invenzione è ben nota e non vale aggiungere alcunché.

Questa targa commemorativa, in italiano e ungherese, si trova al binario 1 della stazione di Colico per ricordare il ruolo dell'ingegnere ungherese Kalmán Kandó.

Interessa l'economia del nostro lavoro mettere in evidenza il ruolo di Kalmán Kandó.

Egli nasce a Budapest, da nobile famiglia ungherese, 1l 10 luglio 1869. Si laurea in ingegneria meccanica presso la Reale Università Tecnica Palatina nel 1892. Come giovane ingegnere fa le sue prime esperienze in Francia, presso la



Fig. 2 - Targa commemorativa dell'opera di Kalmán Kandó per l'elettrificazione della linea della Valtellina

Compagnie de Fives Lille dove collabora allo sviluppo del motore elettrico a induzione di Tesla[2]. Richiamato in patria presso la fabbrica Ganz, nel 1894, intuisce la possibilità dell'applicazione alla trazione ferroviaria della corrente alternata polifase usando sui locomotori motori asincroni trifase. Nel 1906 si trasferisce con la famiglia a Vado Ligure presso la Società italiana Westinghouse che acquista i suoi brevetti e gli affida la direzione tecnica della costruzione di locomotive (note come Sistema italiano).

Con lo scoppio della prima guerra mondiale e come cittadino di un Paese nemico, Kandó rientra in Ungheria dove, dopo un breve periodo di servizio militare, riprende a prestare la sua opera presso la Ganz di cui diventerà nel 1917 direttore tecnico e successivamente direttore generale. Il suo interesse si spostò dall'alimentazione elettrica tri-fase a quella mono-fase, e la linea ferroviaria Budapest-Hegyeshalom, da lui progettata, fu la prima al mondo ad adottare l'alimentazione a corrente alternata mono-fase a 15 kV e 50 Hz. Le locomotive della Ganz progettate per questa linea sono rimaste in servizio fino al 1967.

Kalmán Kandó muore il 13 gennaio 1931. L'elettrificazione della linea della Valtellina con corrente trifase e la costruzione delle Locomotive fu affidata alla Ganz & C. ungherese su progetto del Kandò che seguì personalmente sia i lavori di elettrificazione che la realizzazione delle locomotive.

Ne furono ordinate due dalla Rete Adriatica, che aveva l'esercizio della linea ed ebbero la numerazione RA34.1 e RA34.2, dopo la nazionalizzazione del 1905 passarono alle Ferrovie dello Stato con la numerazione finale di E430.1 ed E430.2. Furono ritirate dall'esercizio nel 1928.



Fig. 3 - Locomotiva elettrica E 430 della Valtellina Costruita nel 1905 resterà in servizio fino al 1928

Le locomotive della Ganz progettate e costruite per la linea della Valtellina sono il primo vero esempio mondiale di locomotive alimentate a corrente trifase dotate di motori asincroni. La potenza totale istallata era di 440 Kw, su quattro motori direttamente montati sui singoli assi.

L'elettrificazione della Valtellina aprì la strada ad una fase importante del processo di elettrificazione della rete italiana e, soprattutto dopo l'elettrificazione della linea dei Giovi, e l'impiego di locomotive costruite nello stabilimento della Westinghouse di Vado Ligure, pose il nostro Paese in posizione di avanguardia in Europa e nel mondo.

Vale la pena di ricordare che ai lavori per l'elettrificazione della Valtellina parteciparono maestranza e tecnici non solo ungheresi ma anche italiani, ponendo così le basi per la nascita di alcune

delle più antiche imprese italiane di elettrificazione ferroviaria.

Va detto che l'esercizio della linea della Valtellina presentò sin dall'inizio notevoli difficoltà dovute in gran parte all'alimentazione con doppia linea aerea dei locomotori. Inoltre per la natura stessa dei motori asincroni utilizzati non era possibile variare la velocità di trazione che pertanto restò fissata a circa 29 km/h.

La possibilità di variare la velocità di rotazione dei motori e quindi la velocità di trazione continuando ad utilizzare motori a corrente alternata costituirà una della sfide maggiori dei progettisti nei primi anni del secolo XX. Esse saranno parzialmente risolte (trascuriamo soluzioni chiaramente antieconomiche come l'utilizzo di motori ausiliari) collegando i motori in serie e dimezzando la velocità rispetto al collegamento in parallelo e modificando il numero dei poli.

L'avvento degli "inverter" (convertitori statici) associati a motori asincroni trifase farà sì che questo motore, abbandonato per anni, possa lavorare a tensione e frequenza variabile e pertanto con la stessa versatilità dei motori a corrente continua.

L'elettrificazione della Rete, diverse scelte tecnologiche

Abbiamo già visto come nel 1897 il Governo istituisse una Commissione per studiare le diverse scelte tecnologiche relative alla trazione ferroviaria elettrica. Se tralasciamo la prima delle soluzioni immaginate (quella ad accumulatori che rivelò immediatamente la sua incapacità ad assicurare un grande servizio ferroviario) le altre due soluzioni, quella a corrente continua e quella a corrente alternata trifase, furono oggetto di sperimentazioni che portarono in un primo tempo all'adozione della corrente alternata trifase soprattutto nei casi in cui si richiedevano considerevoli potenze per superare acclività notevoli per il trasporto delle merci.

La prima sperimentazione in corrente continua a 650 volt e terza rotaia fu realizzata sulla cosiddetta linea Varesina nella periferia di Milano ed ebbe un discreto successo.

La sperimentazione con la corrente trifase a 15 Hz (successivamente 16 e 2/3) interessò la linea della Valtellina e subito dopo la linea dei Giovi. Va detto che mentre ebbero un discreto successo le soluzioni adottate per il traffico merci, le automotrici per servizio passeggeri, con motori asincroni trifase, utilizzate per la linea Lecco-Colico- Chiavenna crearono non pochi problemi e furono presto sostituite con servizi a vapore e poi diesel.

Successivamente i notevoli problemi tecnici posti dalle particolari caratteristiche geometriche del tratto Pontedecimo-Busalla della linea Genova-Torino (pendenze massime del 35‰, la galleria dell'Appennino di circa quattro km ed una pendenza del 29‰) furono affrontati e risolti con l'elettrificazione della linea con sistema trifase a 16 e 2/3 Hz, con un traffico di circa 3000 carri al giorno e l'impiego delle locomotive E 550. I lavori iniziarono nel 1907 e l'esercizio venne attivato il 1° marzo 1911 per essere poi esteso a tutta la linea la cui

elettrificazione fu completata nel 1916. La locomotiva E 550, fu progettata, per la parte meccanica dall'ufficio studi del Servizio Materiale e Trazione delle Ferrovie dello Stato, e, per la parte elettrica dalla Società Italiana Westinghouse di Vado Ligure, sotto la direzione dell'ing. Kalman Kandó.

Lo scoppio della prima guerra mondiale, e le difficoltà che ne derivarono nell'approvvigionamento di carbone accelerò il processo di elettrificazione.

L'estensione delle linee alimentate con corrente trifase può così essere riassunto nelle sue tappe principali:

- 1917 Torino-Pinerolo
- 1919 Torino-Bussoleno-Susa
- 1924 Torino-Ronco, Alessandria-Voghera, Novara -Tortona e Arquata-Tortona.

Di notevole importanza per l'approfondimento dei problemi legati alla captazione di corrente fu l'attivazione sperimentale con alimentazione a 50 Hz e tensione di 10.000 volt della linea Roma-Sulmona nel 1927.

L'elettrificazione della rete ferroviaria a corrente alternata trifase procede celermente fino al 1930.

L'estensione della rete elettrificata comporta come è ovvio la costruzione di un grande numero di locomotive elettriche e l'evoluzione dei precedenti modelli.

Un ruolo fondamentale nel processo di elettrificazione della rete ferroviaria è svolto dall'ing. Giuseppe Bianchi, laureato in ingegneria meccanica elettrotecnica a Torino nel 1912. Assunto dalle Ferrovie dello Stato è assegnato all'unità speciale di elettrificazione di Roma e successivamente trasferito al Servizio Materiale e Trazione a Firenze.

Sino all'adozione definitiva della trazione a corrente continua 3000 volt, da lui fortemente voluta, contribuì al miglioramento delle locomotive esistenti (ad esempio con la E 551, evoluzione della E 550) e la progettazione di nuovi tipi E 432 ed E 554. Bianchi lasciò le Ferrovie dello Stato nel 1937 sotto la pressione dei suoi oppositori politici e industriali e fu assunto dalle Ferrovie Nord Milano dove rimase fino al pensionamento. Fu richiamato dalle FS fra il 1945 ed il 1946 per seguire il progetto di elettrificazione globale della rete.

Sono questi, anni di grande entusiasmo per la trazione elettrica trifase in Italia e vengono sviluppate e costruite nuove locomotive per un totale di oltre 500 unità.

È probabile che proprio in questo periodo di tempo si debba identificare un evento che ebbe un'importanza fondamentale nei successivi sviluppi del processo di elettrificazione e le conseguenze da esso avute sull'adeguamento tecnologico della nostra industria ferroviaria.

Abbiamo ricordato come Kandó, rientrato in Ungheria avesse iniziato a lavorare sull'ipotesi di abbandonare la corrente trifase in favore della corrente alternata monofase a frequenza industriale. I vantaggi di disporre di impianti fissi a frequenza industriale erano evidenti e la conversione della tensione da monofase a trifase o polifase poteva essere vantaggiosamente effettuata a

bordo delle locomotive. Viene così progettato un sistema di alimentazione che anticipa i moderni sistemi di conversione oggi effettuati grazie all'elettronica di potenza. La locomotiva progettata è di fatto la prima locomotiva politensione e polifrequenza. I rapporti fra il Kandó e l'industria italiana, interrotti per gli eventi bellici, riprendono attraverso una intensa corrispondenza con alcuni ex-collaboratori della Westinghouse, ora impiegati dalle officine di Saronno dell'ingegner Romeo. A queste officine viene affidata dalle Ferrovie dello Stato, nel 1920, una commessa di 15 locomotive trifase classificate E-552, su progetto Kandó. Si tratta in realtà di locomotive policorrente e polifrequenza. Se le Ferrovie dello Stato avessero compreso l'importanza innovativa di questo mezzo di trazione probabilmente la storia della trazione elettrica in Italia avrebbe preso un altro indirizzo, in linea con quanto avvenne in altri importanti paesi europei e coerente con i successivi sviluppi del trasporto ferroviario. Così non fu. I rapporti fra le Officine di Saronno ed il servizio Materiale e Trazione di Firenze, allora diretto dall'ingegner Giuseppe Bianchi, erano molto tormentati anche a causa di una diversa impostazione di politica industriale.

Le Ferrovie dello Stato desideravano conservare l'assoluta indipendenza nella progettazione del materiale rotabile per poi affidarne la realizzazione all'industria nazionale. A questo stato di fatto non fu probabilmente estranea da un lato, l'inimicizia personale fra il Bianchi ed il Kandó legata alla proprietà di alcuni brevetti, dall'altro le pressioni esercitate sulle Ferrovie dello Stato dalla Breda. Sta di fatto che alcune difficoltà furono riscontrate nel funzionamento delle locomotive. Tali difficoltà avrebbero potuto essere superate in uno spirito di maggior collaborazione. Al contrario esse furono prese come una notevole opportunità per rifiutare la commessa. Il danno economico che ne seguì fu tale da generare una crisi della società Officine di Saronno, che dopo un cambio di proprietà fu costretta a cessare l'attività nel 1929.

Nel 1928 era stata attivata l'elettrificazione della linea Benevento-Foggia a 3 kV corrente continua.

Erano allora in atto discussioni e dibattiti di natura tecnica e industriale su quale dei due sistemi (a corrente continua o alternata trifase) fosse più conveniente adottare, dibattito che dimenticava che già una gran parte della rete era stata elettrificata con il sistema trifase e diverse centinaia di locomotive erano in servizio.

I programmi di elettrificazione subirono un'accelerazione sotto la spinta delle "Sanzioni" seguite alla guerra d'Etiopia che resero problematici gli approvvigionamenti in carbone e combustibili liquidi.

Per motivi non completamente chiariti, ai quali sembra non sia stato estraneo il cambiamento dei vertici delle Ferrovie dello Stato voluto dal nuovo Regime fascista, la scelta cadde sul sistema a corrente continua, che peraltro aveva dato buoni risultati negli Stati Uniti. Fu una scelta sbagliata se non necessaria-



Fig. 4 - Cartolina commemorativa dell'inaugurazione della tranvia elettrica ad accumulatori Milano - Monza

mente da un punto di vista tecnico (l'alimentazione a corrente continua presentava alcuni indubbi punti di interesse:

- linea di contatto unipolare
- notevole distanza fra le sottostazioni alimentate dalla rete trifase industriale
- elasticità di funzionamento del materiale di trazione)

almeno dal punto di vista di strategia industriale.

Innanzitutto comportò notevoli complicazioni ed oneri nell'esercizio della rete, costrinse le Ferrovie dello Stato a dotarsi di un parco rotabili eterogeneo con conseguenti maggiori oneri di manutenzione, isolò l'industria nazionale dal resto di gran parte dei paesi europei che adottarono alimentazioni in corrente alternata monofase che si mostrarono più affidabili e meno costose quando, alla fine degli anni '70 si iniziò ad affrontare il tema delle alte velocità ferroviarie.

La decisione era comunque presa e il 4 giugno 1932 il Consiglio dei ministri vara un ambizioso piano di elettrificazione che avrebbe dovuto dotare, in 12, anni di trazione elettrica 8000 km di rete.[3]

Nel 1931 la situazione delle linee a trazione elettrica delle Ferrovie dello Stato era quella indicata nella tabella della pagina seguente.

Dall'analisi dei dati sopra riportati appare evidente tutta l'eterogeneità della nostra rete dal punto di vista dell'elettrificazione ed il gran numero di soluzioni sperimentate.

Su un totale di 1604,9 km di rete elettrificati il 77% (1237,8 km) è a corrente alternata trifase, mentre su un totale di 567,4 km in corso di elettrificazione circa il 66% è ancora a corrente alternata trifase.

La guerra ritarderà i tempi di realizzazione del progetto. Per effetto delle devastazioni belliche, alla fine della seconda guerra mondiale, risultavano in pratica distrutti tutti gli impianti di trazione elettrica, il 62% delle locomotive elettriche trifase ed il 70% di quelle a corrente continua.



Fig. 5 - Foto di copertina del libro Locomotive di sogno, *di Erminio Mascherpa, Nicolodi editore 2005*

Per fare fronte alle devastazioni causate dal conflitto su gran parte della rete ferroviaria, negli anni della ricostruzione fra il 1950 ed il 1970, nei tratti in cui lo stato delle linee non consente una riattivazione, si attiveranno linee a corrente continua, mentre sulle linee che lo consentono si riattiverà la corrente alternata trifase.

Per qualche anno il progetto di una complessiva conversione della rete alla corrente continua sembra abbandonato. Le locomotive trifase in servizio non sono tuttavia più adatte alle nuove esigenze del trasporto, soprattutto a causa delle basse velocità.

È proprio durante questo periodo che si perde l'occasione di abbandonare definitivamente la corrente continua per adottare l'elettrificazione a corrente alternata monofase sperimentata con successo in Francia, Germania, Giappone, Regno Unito, Svezia, Unione Sovietica, Cecoslovacchia, Finlandia ecc. Era una

LINEE	km	totale
A corrente trifase 3600 v		
Monza-Lecco-Sondrio	116,6	
Colico-Chiavenna	26,3	
Torino-Alessandria-Ronco-	205,0	
Genova	7,5	
Bussoleno-Susa	45,3	
Savona-Ceva	39,9	
Sampierdarena-Savona	47,7	
Torino-Torre Pellice	11,7	
Bricherasio-Barge	25,6	
Scali marittimi di Genova	6,5	
Raccordi di Torino	8,6	
Trofarello-Chieri	38,1	
Alessandria-Tortona-Voghera	20,4	
Novi-Tortona	36,3	
Tortona-Arquata-Ronco		
Genova-Spezia-Livorno	193,5	
Bologna-Firenze e raccordi		
Genova-Sampierdarena-	140,9	
Alessandria		
Bolzano-Brennero	73,7	
A corrente trifase 10000 v a frequenza Industriale	89,3	1237,8
Roma Predestina-Avezzano		
A corrente continua 650 v a terza Rotaia	103,0	103,0
Milano-Varese-Porto Ceresio		
Napoli-Pozzuoli-Villa Literno		
A corrente continua 3000 v a filo aereo	72,0	
Foggia-Benevento	37,4	
		109,4
A corrente continua 800 v a filo aereo		
Brunico-Campo Tures		
Trento-Malé (scart. ridotto)	101,0	101,0
A corrente monofase 15000 v a 16,7hz		
Domodossola-Iselle	15,3	
	59,6	74,9
Totale km		
	18,8	18,8
		1604,9

Linee elettrificate in esercizio

LINEE	km	totale
A corrente trifase 3600 v		
Cuneo-S.Dalmazzo Ventimiglia	99,3	
Savona-Ventimiglia	107,7	
Spezia-Fornovo	97,0	
		304,0
A corrente trifase 10000 v a frequenza Industriale		
Avezzano-Sulmona	68,8	
		68,8
A corrente continua 3000 v a filo aereo		
Benevento-Napoli	96,8	
Bologna-Firenze (direttissima)	97,8	
		194,6
Totale km		**567,4**

Linee in progetto di elettrificazione	km	totale
LINEE		
A corrente continua 3000 v a filo aereo		
Roma-Napoli (direttissima)	214,0	
Varie altre linee nell'Italia settentrionale	269,0	
Totale km		**483,0**

Linee in corso di elettrificazione

decisione difficile da prendersi che richiedeva una precisa linea di politica industriale da parte del governo e della committenza pubblica, e una maggiore lungimiranza da parte dell'industria nazionale che probabilmente vedeva nella corrente continua una barriera all'ingresso dei grandi gruppi stranieri.

Fu così che il primo piano quinquennale FS 1958-1962 per l'ammodernamento ed il potenziamento della rete ferroviaria, comprese, fra l'altro, la trasformazione del sistema di trazione a corrente alternata trifase in quello a corrente continua, 3000 V, delle linee a grande traffico Modane-Torino-Alessandria-Genova, Alessandria-Voghera, Vogher-Genova, e Genova-Savona.

Nelle prima metà degli anni '60 sarà praticamente completata la trasformazione della trazione elettrica a 3000 V della quasi totalità della rete ferroviaria FS e alla soglia degli anni '70 sono soltanto 433 i km di rete alimentati a corrente alternata trifase.

Ma le peripezie dell'elettrificazione ferroviaria italiana non terminano qui.

L'elettrificazione della dorsale sarda fra Cagliari e Porto Torres

Mentre in Italia l'elettrificazione delle linee ferroviarie si era ormai attestata sul 3 kV a corrente continua, nei paesi europei con i sistemi ferroviari più evoluti e sviluppati la sperimentazione di sistemi che utilizzavano tensioni molto più elevate aveva portato a notevoli progressi. In Francia e Regno Unito era ormai generalmente utilizzato il sistema di trazione a corrente alternata monofase a 25 kV e 50 periodi, mentre in Germania, Svizzera e Austria il sistema a corrente alternata monofase a 15 kV e 16 e 2/3 Hz era comunemente usato. A causa di questo, anche se non solo per questo, la nostra industria nazionale si era trovata in una situazione di scarsa competitività di fronte alle industrie francesi, inglesi, belghe e tedesche sui mercati internazionali, che avrebbero dovuto contribuire a compensare l'andamento ciclico delle commesse nazionali.

Prese così corpo l'idea di elettrificare la dorsale sarda adottando il 25 kV monofase a corrente alternata a 50 Hz (legge 17/81).

Con oltre 10 anni di ritardo, nel 1983, quando in Francia entrava in esercizio la prima linea ad alta velocità fra Parigi e Lione, fu deciso di affidare ad un consorzio (consorzio TEAM) formato da alcune società di costruzioni civili, dalla SAE Sadelmi, SASIB, SIRTI, WABCO Westinghouse, Keller Meccanica, Ansaldo e Fiat Ferroviaria, la realizzazione del progetto e la fornitura di 25 locomotive (19 E 491 per servizio merci e 6 E 492 per il servizio passeggeri). La progettazione e realizzazione delle locomotive fu affidata all'Ansaldo trasporti ed alla Fiat ferroviaria che consegnarono le 25 locomotive fra l'inizio del 1989 e la primavera del 1990, quando ormai era purtroppo chiaro che la realizzazione dell'elettrificazione non si sarebbe mai fatta. Dopo vari infruttuosi tentativi di vendere queste locomotive a reti straniere, esse giacciono inutilizzate in alcuni depositi delle Ferrovie dello Stato. Questa è una delle pagine più tristi sia per le



Fig. 6 - La locomotiva E 491

nostre ferrovie che per parte della nostra industria. Le Ferrovie che avevano "subito" il Progetto dal contesto politico-industriale non mostrarono mai alcun entusiasmo per la sua realizzazione e consentirono che esso andasse spegnendosi per problemi tecnici (l'asserita incompatibilità della linea aerea a 25 kV con i circuiti di binario del segnalamento - ma questo problema era evidentemente nelle responsabilità del Consorzio ed inoltre certamente risolvibile visto l'eccellente funzionamento di linee simili in altre parti d'Europa), ambientali (la costante pervicace opposizione alla localizzazione delle sottostazioni) e soprattutto il mutato quadro politico.

L'Alta velocità ed il rinnovamento tecnologico

L'utilizzazione del 25 kV monofase a 50 Hz per l'elettrificazione delle linee ferroviarie doveva avere maggior fortuna con la realizzazione del progetto dell'alta velocità Torino-Milano-Venezia-Bologna-Firenze-Roma-Napoli iniziato nei primi anni '90 e oggi in via di completa-mento per il percorso Torino- Milano- Napoli.

Sebbene fosse ormai ben noto che il sistema di elettrificazione a corrente continua 3000 v, presentasse delle notevoli limitazioni, se impiegato per treni ad alta velocità ed alta frequenza (l'alta velocità per rispondere a principi di economicità ed efficienza, deve essere accompagnata da un'alta frequenza dei treni), il progetto originale della rete ad alta velocità italiana nasce con un'elettrificazione a 3000 v in corrente continua. Infatti i primi 25 treni ad alta velocità (ETR 500) ordinato nel 1991 son a 3000 v corrente continua.

Nel 1992 la direzione Tecnologie e Sviluppo di sistema delle Ferrovie dello Stato, cui spettava la responsabilità della nuova impostazione del progetto Alta Velocità, indirizzò un memorandum al vertice dell'Ente, nel quale si raccomandava, per l'elettrificazione delle nuove linee ad Alta Velocità, l'adozione dell'alimentazione a 25 kV monofase a 50 Hz. La raccomandazione fu accettata.

Si trattò di una decisione molto sofferta che fu all'origine di molte polemiche e critiche accese. L'adozione di un sistema di elettrificazione diverso da quello adottato per il resto della rete si prestava a dare forza a quanti, ed allora erano in molti, vedevano nell'alta velocità ferroviaria un'impresa destinata a favorire solo una ristretta élite di utenti

creando una sorta di ferrovia di primo livello rispetto al resto della rete. Ma non mancarono anche critiche che si fondavano su considerazioni tecniche del tutto rispettabili, sul fatto per esempio che sarebbe andata dispersa un'esperienza unica e prevalentemente nazionale, di utilizzo della corrente continua per la trazione pesante, oppure sul fatto che l'adozione della corrente alternata monofase avrebbe posto l'industria nazionale in posizione di minor competitività rispetto alle grandi industrie europee.

Alcuni allora puntavano sullo sviluppo di una tecnologia che adottasse corrente continua a 12 kV, per sopperire alle note difficoltà create dalla necessaria vicinanza delle sottostazioni che il 3 kV richiedeva e dalle difficoltà di captazione alle alte velocità presentate da tale sistema.

Era un'idea affascinante, ma avrebbe richiesto costi e tempi di ricerca e sviluppo non compatibili con la realizzazione del progetto quale era allora prevista. Infine la critica che si basava sul fatto che, per forza di cose, tutto il materiale di trazione che avrebbe circolato sulla rete ad alta velocità avrebbe dovuto essere bi-corrente si infrangeva sulla considerazione che, grazie agli sviluppi dell'elettronica di potenza, il maggior costo delle locomotive bi-corrente (circa il 10%) era assai inferiore del minor costo dell'elettrificazione a 25 kV corrente alternata.

L'Italia non fu peraltro la prima nazione a dover affrontare la scelta del sistema di elettrificazione delle linee ad alta velocità adottando una tecnologia diversa da quella maggiormente diffusa nella rete nazionale.

La Spagna per esempio, che aveva inaugurato nel 1992 la linea ad alta velocità Madrid Siviglia (471 km costruiti a tempo di record in poco più di quattro anni) aveva non soltanto adottato l'elettrificazione a 25 kV corrente alternata (come in Italia, il resto della rete è elettrificato a 3 kV corrente continua) ma, cosa che aveva richiesto una ben maggiore determinazione, aveva scelto per le nuove linee ad alta velocità lo scartamento europeo standard di 1475 mm.

Analoga soluzione era stata adottata in Belgio. La decisione era stata comunque nella giusta direzione anche per un'altra ragione: la Direttiva 96/48 della Commissione europea per *"l'interoperabilità della rete trans-europea ad alta velocità"*.

La direttiva entra in vigore il 23 luglio del 1996, essa ha per scopo, fra l'altro, di fissare le specifiche tecniche di interoperabilità (STI) che dovranno essere applicate ai sistemi e sottosistemi che compongono la rete europea ad alta velocità.

Per ciascun sottosistema (infrastruttura, energia, segnalamento e controllo, materiale rotabile) vengono identificati i parametri base ai quali le specifiche tecniche di interoperabilità debbono riferirsi, fra queste il voltaggio delle linee di contatto.

Le STI sono state elaborate, con molta fatica da un organismo comune al quale partecipavano sia le ferrovie europee che le industrie, ed approvate soltanto nel 2002.

Senza entrare nel dettaglio di una sofferta trattativa che ha visto prevalere il peso delle grandi industrie francesi e tedesche e delle due società ferroviarie di quei Paesi, occorre ricordare che per quanto riguarda la tensione delle linee di contatto si prevedono, salvo alcune eccezioni per progetti la cui realizzazione sia particolarmente avanzata, solo due sistemi, uno a 25 kV CA a 50Hz, l'altro a 15 kV CA a 16 e 2/3 Hz.

Sarebbe troppo ottimistico affermare che si chiuda qui la storia tormentata dell'elettrificazione della rete ferroviaria italiana? Probabilmente si.

Sono in programma nuove linee di collegamento internazionale, come la nuova Genova-Novara, che sostituirà la vecchia linea dei Giovi e rappresenterà il tratto italiano del corridoio europeo Genova-Rotterdam, e di cui, inspiegabilmente è prevista l'elettrificazione a 3000 v a corrente continua, la tratta ad alta velocità Padova-Venezia è stata realizzata in corrente continua, così come rimane in corrente continua la direttissima Roma-Firenze.

È difficile per l'industria italiana orientarsi in un quadro così incerto. Ma forse è ormai troppo tardi. I grandi protagonisti industriali sono ormai ridotti, a livello mondiale, a tre o quattro. Alcune componenti rilevanti, dal punto di vista tecnologico, dell'industria italiana, sono ormai state assorbite da questi gruppi e quelle che ancora conservano una connotazione nazionale, non sono in grado di competere (fatta eccezione per il segnalamento e controllo della circolazione) sia per dimensioni che per prodotti sviluppati. Anche per queste ultime è quindi prevedibile l'assorbimento da parte dei grandi gruppi internazionali.

Bibliografia

Erminio Mascherpa, *Locomotive di sogno*, Nicolodi editore 2005

Valerio Castronovo, *La nascita delle ferrovie dello Stato*, Leonardo international 2005

Piero Berengo Gardin, *Ferrovie Italiane*, Ente ferrovie dello Stato 1988

AA.VV., *L'elettrificazione delle Ferrovie dello Stato*, Ferrovie dello Stato 1961

Ministero delle Infrastrutture e Trasporti-Piano Generale dei Trasporti 2001

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti-Conto Nazionale dei Trasporti 2004

Marco Doria, *ANSALDO l'impresa e lo stato*, Franco Angeli 1989

Michele Nones, *Dalla San Giorgio alla Elsag (1905–1969)*,Franco Angeli 1990

A cura di Giorgio Mori, *Storia dell'Ansaldo (1881–1902)*, Editori Laterza 1995

A cura di Peter Hertner, *Storia dell'Ansaldo (1903–1914)*, Editori Laterza 1996

A cura di Valerio Castronovo, *Storia dell'Ansaldo (1853–1882)*, Editori Laterza 1994

Incontri CESIT, atti del Convegno "lo sviluppo dell'industria italiana delle costruzioni ferroviarie", 1984

Incontri CESIT - Gli impianti tecnologici al servizio dell'alta velocità – 1992

Incontri CESIT - Organisation and regulation of European Railways, 1999

CESIT - La struttura dell'industria ferroviaria italiana, Franco Angeli Editore,1984

CESIT - Le sfide dell'Industria ferrotranviaria italiana, a cura di Riccardo Mercurio e Paolo de Vita, libri "il Sole 24 ORE", 1996

European Railway Legislation Handbook, Eurailpress, Amburgo, 2004

Trasformazione a Corrente Continua del sistema di elettrificazione trifase delle linee fra Alessandria, Voghera, Ronco e Busalla, Ferrovie dello Stato 1962

Francesco Donati, *Alcune considerazioni sulla elettrificazione delle Ferrovie dello Stato in Italia*, Istituto poligrafico dello Stato,1931

CIFI - Storia e Tecnica ferroviaria - 100 anni di Ferrovie dello Stato, 2007

Stefano Maggi, *Le ferrovie*, il Mulino 2003

Francesco Perticaroli, S*istemi elettrici per i trasporti*, Trazione elettrica, Casa Editrice Ambrosiana, 2000

[1] Citazione tratta al volume *Le Ferrovie*, di Stefano Maggi – Società editrice il Mulino 2003

[2] Nikola Tesla, Smiljan (Croazia 1856) – New York (1943), sviluppò (indipendentemente da G. Ferraris un motore elettrico ad induzione. Il brevetto fu acquistato dalla Westinghouse che ne sviluppò le applicazioni industriali

[3] Immagine tratta dall'opera *L'elettrificazione delle ferrovie dello stato* – Autori vari – Ferrovie dello Stato 1961

[4] La tabella è tratta da una comunicazione dell'ing. Francesco Donati delle FS al II Congresso Nazionale degli Ingegneri Italiani – Roma 1931

MARCO DONALD MIGLIORE, FRANCO CREMONA, FULVIO SCHETTINO, CIRO D'ELIA

La Storia della Radio nella mostra di Cassino sulla Storia dell'Ingegneria delle Telecomunicazioni



Fig. 1 – Il busto di Marconi accanto alla replica del tasto telegrafico con cui Marconi ha dato inizio all'era moderna delle telecomunicazioni (Collezione "Cremona")

La Facoltà di Ingegneria della Università di Cassino è da numerosi anni attivamente coinvolta in una attività di divulgazione della cultura scientifica. In tale contesto, per l'anno 2007 il Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni ha proposto una attività, dal titolo "Incontro con le Telecomunicazioni - La Facoltà di Ingegneria per la Città", avente come tema centrale la storia dei sistemi di telecomunicazioni. La mostra, realizzata con il co-finanziamento dell'Università di Cassino e del Ministero dell'Università e della Ricerca nell'ambito del "Progetto Galileo", e con il patrocinio scientifico del Ministero dell'Università e della Ricerca e dell'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) - Italy Section, si è tenuta il 22 Marzo 2007 presso i locali della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Cassino. In concomitanza con l'evento è stata curata la realizzazione di una pubblicazione, scaricabile gratuitamente in formato



Fig. 2 - Una vista di uno dei due banchi di accoglienze posti all'ingresso dell'esposizione per la distribuzione del libro sulla mostra, e di altro materiale informativo



Fig. 3 - L'allestimento della mostra fotografica



Fig. 4 - Il Gen. Cremona descrive i sistemi di comunicazione utilizzati da greci e romani

pdf all'URL www.telecomunicazioni.unicas.it/mostra. In questo contributo è presentata una breve descrizione della mostra e delle iniziative ad esse collegata.

L'organizzazione dell'evento

Al fine di facilitare la comprensione di un tema piuttosto complesso l'esposizione è stata divisa in più sezioni. I primi decenni dello sviluppo della radio sono stati raccontati mediante le immagini della mostra fotografica realizzata dalla Marina Militare Italiana dal titolo "La storia delle Telecomunicazioni attraverso le immagini dell'Archivio Storico della Marina Militare Italiana". Le immagini ripercorrono le tappe fondamentali dello sviluppo delle telecomunicazioni in Italia dalle origini fino alla Seconda Guerra Mondiale attraverso la documentazione fotografica, spesso inedita, dell'Archivio Storico della Marina Militare Italiana. La mostra fotografica, esposta per la prima volta presso l'Accademia Navale di Livorno, è stato oggetto di un recente articolo pubblicato dalla IEEE, che ha gentilmente concesso la ristampa nel libro realizzato per la mostra. I primi anni della radio e della televisione sono stati rivissuti tramite suoni ed immagini della cineteca della Fondazione "Guglielmo Marconi" (Pontecchio Marconi, Bologna), e di collezioni private.

In una ulteriore sezione (foto in Fig 4), più dettagliatamente descritta in seguito, sono stati esposti strumenti di notevole interesse storico messi a disposizione da collezionisti privati. La mostra ha incluso, infine, una sezione interattiva, indirizzata particolarmente a studenti di scuola media superiore. Tale sezione ha avuto il duplice obiettivo di mostrare lo sviluppo storico delle tecnologie utilizzate dai sistemi ricetrasmittenti e di spie-

gare in modo semplice il funzionamento di un sistema di telecomunicazioni. All'interno della sezione interattiva il percorso è stato diviso in varie aree tematiche (antenne, ricevitori, etc.). In ciascuna area pannelli esplicativi sintetizzavano lo sviluppo della tecnologia trattata, mentre esperimenti eseguibili direttamente dal pubblico trasformavano il visitatore da semplice osservatore in parte attiva del percorso espositivo. Un'area, allestita grazie alla collaborazione della Fondazione "Guglielmo Marconi", è stata riservata alla proiezione di filmati riguardanti la storia delle telecomunicazioni.

Hanno completato l'iniziativa alcune conferenze (foto in Fig 6): il Dr. Giuseppe Maio (NITAL, Torino) e il Dr. Gerardo Bonomo (Tutti Fotografi, Editrice Progresso) hanno presentato due contributi sulla fotografia digitale; il Generale Francesco Cremona ha trattato la figura di Guglielmo Marconi.

In concomitanza con l'evento è stata curata la realizzazione di una pubblicazione, che approfondisce alcune delle tematiche trattate in mostra, contenente alcune letture storiche:

"Dall'elettromagnetismo alle onde elettromagnetiche: la genesi delle equazioni di Maxwell", di O.M. Bucci (Università di Napoli "Federico II"), "Antonio Meucci. Una vita per la scienza e per l'Italia", di B. Catania, "Guglielmo Marconi e la nascita di un nuovo mezzo di comunicazione: la radio", di G. Pelosi (Università di Firenze), "Strane antenne per usi ancora più strani", di S. Leschiutta (Politecnico di Torino), "Breve storia della tecnologia della televisione", di I. Ghidini (RAI-Radiotelevisione Italiana, Napoli). Per motivi di spazio nel seguito è fornita una breve descrizione della sola sezione espositiva.



Fig. 5 - L'accesso alle varie aree interattive della mostra, indirizzate particolarmente a studenti di scuola media superiore



Fig. 6 - Un momento della parte seminariale. Da sinistra il Prof. Marco Donald Migliore (Università di Cassino), il Prof. Marco Dell'Isola (Università di Cassino), il Gen. Cremona, il Dr. Gerardo Bonomo (Tutti Fotografi, Editrice Progresso) e il Dr. Giuseppe Maio (NITAL, Torino)

La sezione espositiva

La sezione espositiva è stata realizzata principalmente con il contributi della Collezione "Cremona". Altri apparecchi, principalmente riguardanti la storia del-



Fig. 7 – Un momento della mostra

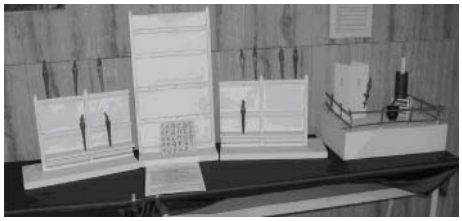




Fig. 8 - Alcuni modelli di sistemi di comunicazione utilizzati nella antichità; in alto è visibile un modello del telegrafo ottico "Pyrsia accanto ad un sistema di comunicazione utilizzante galleggianti in serbatoi d'acqua; in basso il modello di una torre di comunicazione romana (Collezione "Cremona")

la televisione, sono stati forniti dall'Ing. Italo Ghidini. I dispositivi sono stati scelti con l'obiettivo di mostrare i miglioramenti tecnologici nella realizzazione dei sistemi radio e televisivi. In una prima area espositiva, preliminare alla sezione radio, sono stati esposti modellini dei sistemi di trasmissione ottica utilizzati dai greci e dai romani. Di particolare interesse il modello del telegrafo ottico "Pyrsia" (Fig 8), inventato dagli ingegneri alessandrini Klexonos e Dimoklitos (IV secolo a.c.) e descritto da Polibio, che utilizza un codice trasmesso attraverso la posizione di due fiaccole.

Altri esempi di antichi sistemi di trasmissione includono un sistema in cui il messaggio è codificato mediante la posizione di un galleggiante in un serbatoio d'acqua. Il sistema, il cui modello è visibile nella stessa Fig. 8, richiedeva l'apertura e la chiusura sincronizzata del rubinetto della botte "trasmittente" e della botte "ricevente". La sincronizzazione avveniva tramite fiaccole. È interessante notare come già nei primi sistemi di trasmissione la presenza di molti elementi dei sistemi di trasmissione dati moderni, come l'utilizzo di segnali di "ready" e "acknowledgment". Un ulteriore esempio di antico telegrafo ottico è la torre romana di segnalazione il cui modello è mostrato sempre in Fig 8. L'esposizione continua quindi con la sezione delle radio d'epoca, divise secondo la tecnologia del ricevitore. La prima area è dedicata al periodo del coherer, ovvero ai primissimi anni della radio. Di particolare interesse in questa sezione le repliche funzionanti del primo ricevi-

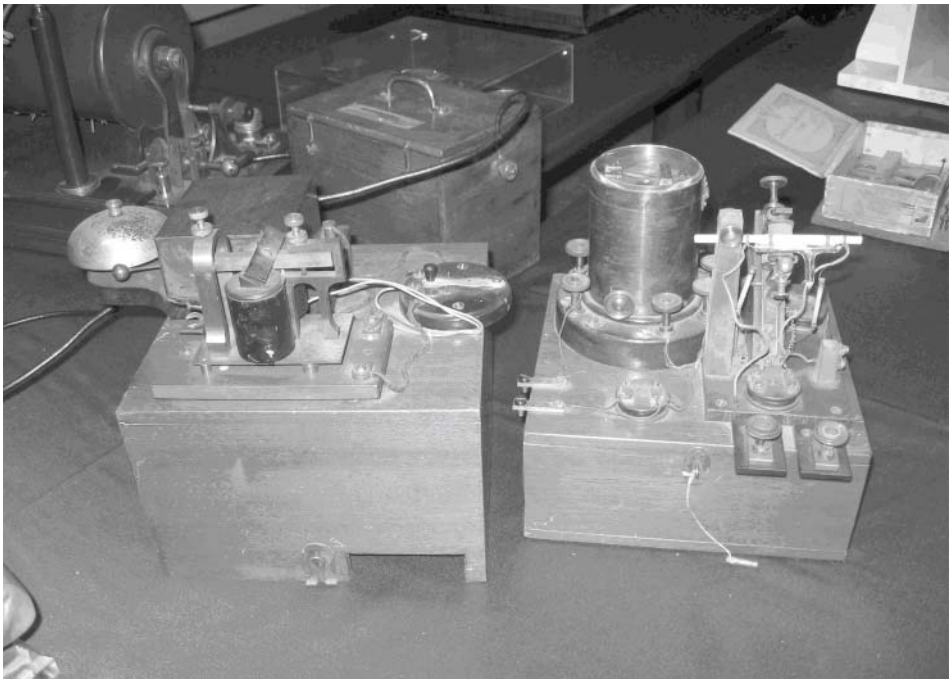


Fig. 9 - Il primo ricevitore Marconi, 1895 (replica funzionante). A destra in alto è visibile il coherer, o "coesore", utilizzato per rivelare il segnale (Collezione "Cremona")

tore (Fig. 9) e trasmettitore (Fig. 10) Marconi (1895). Segue la sezione della "ricezione magnetica", con repliche funzionanti del primo ricevitore magnetico di Marconi realizzato in una scatola di sigari (1902) (Fig. 11), e di un ricevitore della Marconi Wireless con detector magnetico del 1907 (Fig. 12). Vengono quindi mostrati ricevitori a carborundum ed a galena. In questa sezione particolarmente interessanti sono un esemplare del primo radioricevitore a carborundum e valvola in uso presso l'Esercito Italiano nel 1915 (Fig. 13), e un trasmettitore a scintilla frazionata detto Marconcina, usato durante la prima guerra mondiale sia in trincea che a bordo di aerei da ricognizione (Fig 12).

Seguono quindi i ricevitori a valvola, comprendenti un sistema Marconi ad uso navale del 1912, un ricevitore Magnus a 6 valvole con alimentazione a batterie della "Marconi" del 1920 (Fig 14), e il ricevitore a 7 valvole Ramazzotti (1928). Nella esposizione è presente anche uno dei primi amplificatori utilizzante una valvola De Forrest (Fig 17). Segue infine una esposizione delle prime radio a transistor.

Una ulteriore area è stata dedicata alla esposizione dei sistemi utilizzati per la trasmissione e ricezione di messaggi cifrati. L'esposizione comprende apparecchi di notevole interesse storico. Tra essi, una valigia radiogoniometrica tipo SCR504 ad otto valvole in uso durante



Fig. 10 - Il primo trasmettitore Marconi, 1895 (replica funzionante) (Collezione "Cremona")



Fig. 11 - Il prototipo di ricevitore magnetico usato da Marconi, a bordo della Carlo Alberto, 1902 (replica funzionante) (Collezione "Cremona")

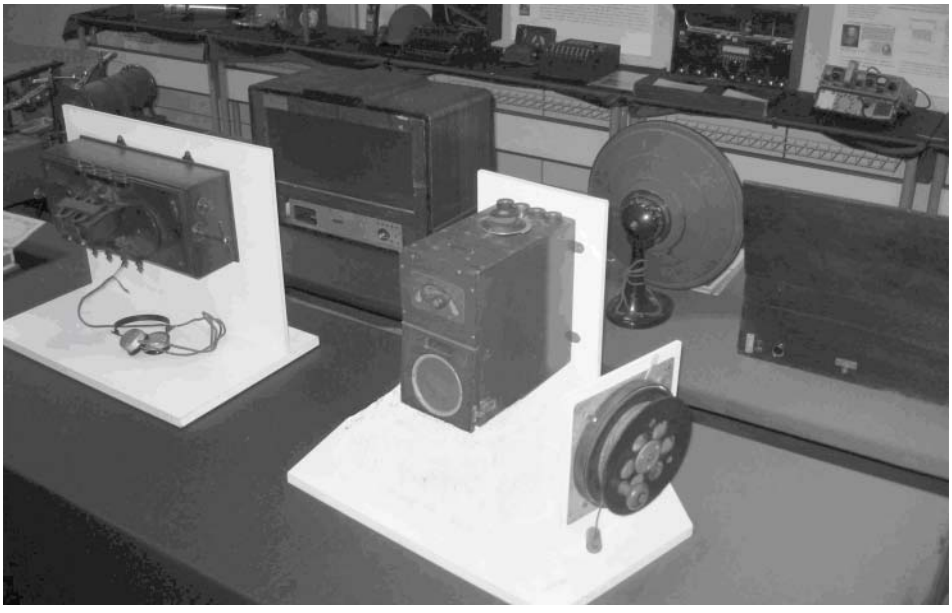


Fig. 12 - Una vista dell'esposizione di radio d'epoca. In primo piano la "Marconcina" con a destra l'antenna estraibile per utilizzo su velivoli (1915); a sinistra una replica di un ricevitore magnetico della Marconi Wireless (1907) (Collezione "Cremona")



Fig. 13 - Radio con rivelatore a carborundum e valvola utilizzato dall'esercito italiano durante la prima guerra mondiale (Collezione Cremona)

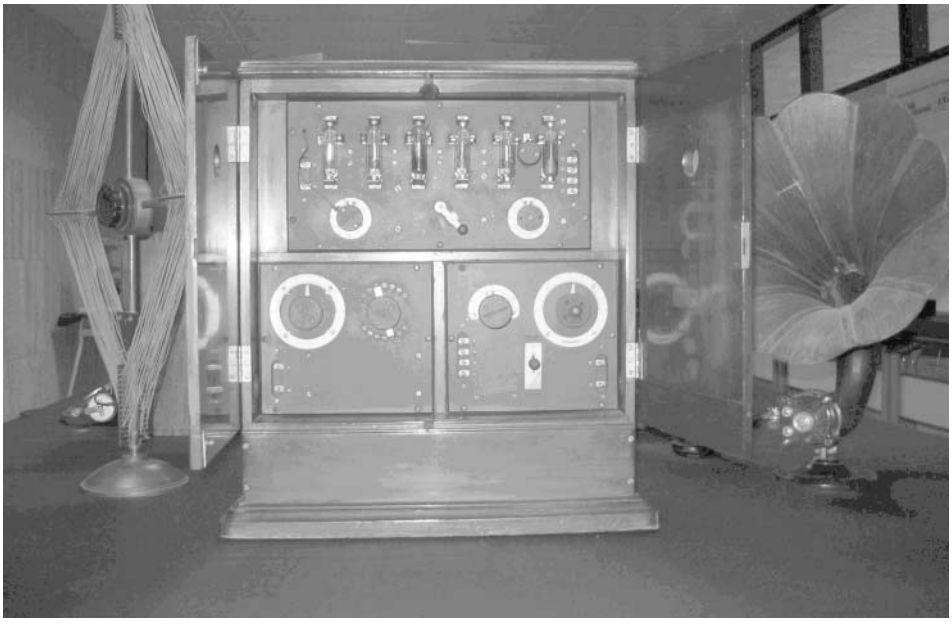


Fig. 14 - Ricevitore Mod. Magnus a 6 valvole con alimentazione a batteria della Marconi, 1920 (Collezione Cremona)



Fig. 15 - Il Gen. Cremona ed il Prof. Migliore accanto alla macchina crittografica "Enigma" utilizzata durante la seconda Guerra mondiale dalle forze tedesche (Collezione "Cremona"); la decriptazione del codice di Enigma ha rappresentato un momento fondamentale sia per lo sviluppo dei calcolatori elettronici, sia per quello delle teorie statistiche alla base dei moderni sistemi di telecomunicazione



Fig. 16 -La macchina crittografica "Enigma"

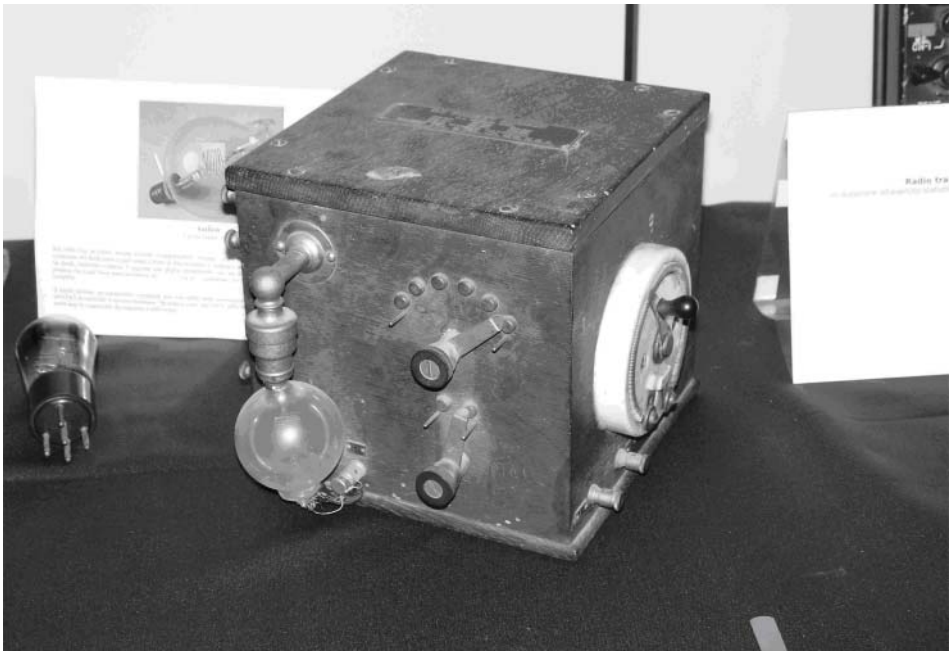


Fig. 17 - Amplificatore con valvola De Forrest



Fig. 18 - Uno scorcio della sezione di crittografia; da sinistra è visibile la NEUMA, la M-209-A e l'Enigma



Fig. 19 - Uno scorcio della sezione di crittografia; dal basso è visibile una radio utilizzata dalla CIA durante gli anno '50, e il suo equivalente sovietico

la Seconda Guerra Mondiale per individuare la posizione di emittenti nemiche clandestine, una stazione ricetrasmittente in codice Morse usata dai servizi segreti del KGB durante gli anni '50 e '60, un complesso ricetrasmittente usato dalla CIA nello stesso periodo (Fig. 19), e un ricetrasmittente mod. 353 con registratore e codificatore utilizzato in URSS negli anni '80.

Di eccezionale interesse sono i sistemi per la crittografia, comprendenti una macchina crittografica "Enigma" a 4 rotori delle forze armate tedesche (Fig. 16), una macchina crittografica americana M-209-A usata per decodificare meccanicamente i messaggi sempre durante la seconda guerra mondiale e una macchina crittografica NEUMA utilizzata dall'esercito svizzero dopo la seconda guerra mondiale (Fig. 18). Completava l'esposizione una ulteriore sezione dedicata allo sviluppo dei tubi per ripresa televisiva.

ANTONIO PUGLIA

Il Radar e la sua storia. Il museo del Radar di SELEX Sistemi Integrati

Principio di funzionamento

Radar è l'acronimo della frase inglese radio detection and ranging e indica un sistema che utilizza le onde radio per rilevare e localizzare oggetti in grado di riflettere tali onde. Il radar è usato per estendere la capacità dei sensi dell'uomo nell'osservazione del suo ambiente.

Il radar non può risolvere i dettagli della forma di un oggetto con il grado di definizione di cui l'occhio è capace, né esso è ancora in grado di riconoscerne il colore. Tuttavia il radar ha una portata estremamente maggiore dell'occhio umano e può vedere in condizioni per noi impossibili, come l'oscurità, la nebbia, la foschia, la pioggia e la neve; ha poi il vantaggio di poter misurare la distanza dell'oggetto. Esso opera trasmettendo un particolare tipo di forma d'onda, tipicamente un'onda sinusoidale modulata impulsivamente, e rivela ed elabora il segnale d'eco ricevuto.

Lo schema più elementare di radar consiste in un trasmettitore, un'antenna estremamente direttiva (che opera tipicamente sia in trasmissione che in ricezione) ed un ricevitore. Una parte del segnale trasmesso è intercettato da un oggetto riflettente (bersaglio) ed è irradiata in tutte le direzioni. L'antenna ricevente raccoglie l'energia riflessa e la invia al ricevitore, ove essa è elaborata per rivelare la presenza del bersaglio, per estrarne la posizione (distanza e direzione) e calcolarne la velocità radiale. La distanza del bersaglio è determinata misurando il tempo impiegato dal segnale radar per andare al bersaglio e ritornare. La direzione o posizione angolare del bersaglio è determinata dalla direzione di arrivo del fronte d'onda riflesso sfruttando la caratteristica direzionale dell'antenna. Infine la velocità radiale del bersaglio, dovuta al moto relativo tra il bersaglio ed il radar, è calcolata misurando lo slittamento della frequenza portante dell'onda riflessa (effetto Doppler).

La massima distanza cui un radar può avvistare un bersaglio dipende quindi da molti fattori come la potenza del segnale trasmesso, la capacità dell'antenna di formare un fascio molto direttivo, la superficie del bersaglio e la sensibilità del ricevitore.

Principali applicazioni

Classicamente il radar ha trovato applicazioni nei seguenti campi:

- nel controllo del traffico aereo in ambito civile;
- nel controllo del traffico marittimo;
- nei sistemi anticollisione navali;
- nei radar meteorologici;
- il controllo e la difesa dello spazio aereo, in ambito militare;

- la difesa di obiettivi mediante il controllo di sistemi d'arma.

Controllo del traffico aereo ATC

L'impetuoso sviluppo dei collegamenti aerei civili non avrebbe potuto aver luogo senza la contemporanea evoluzione dei sistemi radar per il controllo del volo, sinteticamente indicati con la sigla ATC (Air Traffic Control). In realtà entro questa sigla si racchiudono tre differenti sistemi, ciascuno con caratteristiche sue proprie. In comune tutti hanno il fatto di essere ridondati, per assicurare la massima operatività.

Il primo sistema è quello dedicato al controllo delle rotte aeree. Esso è caratterizzato da una lunga portata, fino a oltre 350 km, e permette di seguire il volo degli aeromobili lungo le rotte aeree predefinite. Tipicamente tali radar sono caratterizzati dall'avere sistemi trasmittenti di alta potenza, unitamente a ricevitori che effettuano raffinate elaborazioni sul segnale ricevuto allo scopo di massimizzare il rapporto S/N.

Il secondo sistema ATC è costituito dai sistemi radar specializzati nel controllo dei voli in prossimità degli aeroporti. La portata di tali radar non supera in genere i 250 km. Il trattamento del segnale, sia in fase di trasmissione sia in ricezione è molto sofisticato allo scopo di massimizzare il rapporto S/N in ogni condizione atmosferica, e sono progettati anche per massimizzare la risoluzione (in distanza e in angolo), al fine di discriminare con accuratezza le tracce radar degli aeromobili in avvicinamento.

Il terzo sistema ATC considerato è il così detto radar secondario. Esso non utilizza l'eco del bersaglio, bensì un segnale che l'aeromobile stesso trasmette in risposta a quello ricevuto dal radar a terra.

In tal modo all'interrogazione del sistema a terra l'aeromobile risponde fornendo tutta una serie di informazioni: la rotta, la quota, la velocità ed altri parametri relativi al volo, oltre a informazioni di altro genere, come ad es. allarmi di varia natura.

Le informazioni del radar secondario vengono fornite all'operatore radar sovrapposte all'altro tipo di radar, detto primario, così che egli ha una visione completa del volo e di tutti i parametri che lo caratterizzano. Il sistema del radar secondario viene utilizzato anche in ambito militare, dove prende il nome di IFF (Identification Friend or Foe).

In questo caso sia le interrogazioni da parte del radar a terra, sia le risposte dall'aereo sono codificate con chiavi di codifica variabili nel tempo. Un ulteriore prossimo sviluppo del controllo del traffico aereo consiste nei sistemi radar di avvicinamento degli aeromobili fino a portarli sulla pista di atterraggio. Tali sistemi, noti come MLS (Microwave Landing System) o sistema di atterraggio automatico, consistono in uno o più radar, caratterizzati da una ridotta portata ma una grande accuratezza della posizione del target rispetto alla pista, che viene ritrasmessa all'aereo unitamente alle indicazioni necessarie per mantenerlo sul corretto sentiero di discesa.

Controllo del traffico marittimo

L'incremento della navigazione marittima ha generato, in modo esattamente analogo al caso della navigazione aerea, la necessità di controllare tale traffico, in particolare in prossimità dei porti. Si è così creata una struttura di sistemi radar, tutti interconnessi ad una centrale operativa, per controllare le rotte seguite dalle navi e guidarle attraverso le vie d'acqua prestabilite.

Tali sistemi hanno prodotto una notevole diminuzione degli incidenti in mare, nell'attraversamento di vie d'acqua ristrette, e la tendenza attuale è quella di estenderli per offrire coperture su aree costiere sempre più estese.

Sistemi anticollisione navali

Un'altra classica applicazione del radar è sulle navi di tutti i tipi, civili e militari, per fornire all'equipaggio una visione completa dello spazio intorno alla nave, fino a oltre 100 km.

L'adozione del radar sulle navi ha di molto ridotto il rischio di collisioni in mare fra due natanti. I primi sistemi si limitavano alla segnalazione del traffico intorno alla nave. I moderni sistemi permettono di tracciare tutto il traffico intorno alla nave e, conoscendo la propria posizione e velocità, indicano anche la rotta più sicura in quelle circostanze operative.

I sistemi di questo tipo sono in genere molto semplici. La loro forza risiede nell'integrazione e nella elaborazione dei segnali provenienti da più sorgenti per offrire all'operatore una visione completa dello scenario.

Radar meteorologico

Un'applicazione affatto particolare è quella del radar meteorologico. Normalmente la pioggia, le nuvole con le annesse turbolenze e la nebbia ostacolano il funzionamento dei sistemi radar. Questo tipo di radar, utilizza invece tutte le condizioni operative che massi-mizzano l'effetto delle turbolenze atmosferiche: la frequenza e la polarizza-zione del segnale. È noto infatti che la risposta delle turbolenze atmosferiche varia in relazione alla frequenza r.f. del segnale del radar, come pure in funzione della polarizzazione del segnale trasmesso. Tali radar trovano impiego specialmente in prossimità degli aeroporti, applicazione nella quale hanno contribuito in modo consistente a prevenire situazioni di pericolo.

Difesa dello spazio aereo

I radar utilizzati in questo settore devono avere caratteristiche particolari: lunga portata, forte resistenza ai disturbi intenzionali (jamming), capacità di discriminare bersagli con bassa eco e che assumono profili di volo tali da occultarli nel Clutter. Non meraviglia quindi che tali sistemi rappresentino attualmente la punta di diamante della tecnologia in campo radar. Essi sono caratterizzati dall'avere antenne ad alto guadagno, con un fascio di tipo "pencil", una struttura ad Array, normalmente dotata di elementi elettronici per il controllo in angolo del fascio stesso.

Tipicamente essi effettuano una elaborazione di tipo "monopulse" del segnale ricevuto, che consente di ricava-

re dall'eco radar oltre la distanza e la posizione angolare nel piano di azimuth, anche la posizione angolare nel piano zenitale, con il che la posizione del target risulta completamente identificata. Nonostante che tali sistemi abbiano normalmente più di un canale ricevente, la capacità di risolvere, identificare e inseguire fino a quasi cento tracce contemporaneamente, l'alta integrazione raggiunta con le moderni tecnologie ha permesso di ridurre considerevolmente il volume del sistema, ridottosi oggi a pochi elementi oltre all'antenna.

Quest'ultima oggi sempre più diventa una delle unità fondamentali del sistema tutto. Infatti, oltre alla sua funzione nominale essa, nei moderni radar, costituisce anche il trasmettitore del sistema (allo stato solido), ingloba anche il "Front end" a bassa NF e almeno la prima conversione a i.f. (frequenza intermedia di elaborazione) dei canali riceventi; un ulteriore sviluppo atteso per il prossimo futuro consisterà nel realizzare già a questo livello, in i.f. o addirittura in r.f., la conversione digitale dei dati ricevuti.

Controllo dei sistemi d'arma

La terza funzione che classicamente viene demandata ad un sistema radar è quella del controllo dei sistemi d'arma, siano essi di tipo balistico oppure missilistico. In questo caso la funzione del radar è quella di contribuire alla difesa dell'area immediatamente circostante (difesa di punto), sia in ambito terrestre, sia in quello navale. Le caratteristiche di tali sistemi radar possono riassumersi in: piccola o media portata (alcune decine di km al massimo), possibilità di inseguire il bersaglio determinandone continuamente le sue coordinate spaziali, capacità resistere ai disturbi intenzionali (jamming) e di discriminare il bersaglio anche in un ambiente fortemente disturbato (clutter di terra o di mare). Le indicazioni fornite da tale tipo di radar sono poi utilizzate dalla centrale di tiro.

Cenni storici

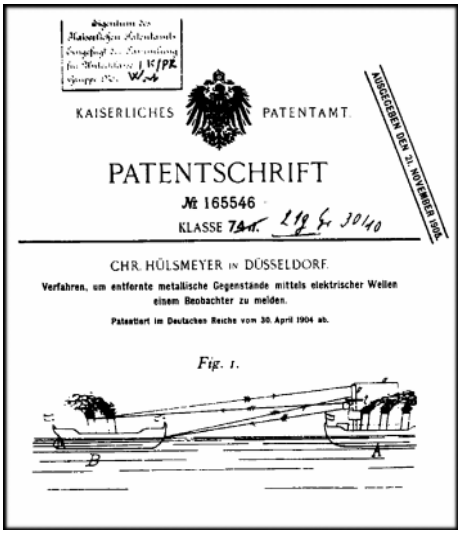
La storia del radar segue la storia dell'elettromagnetismo e non ha una origine ben delineata perché le vicissitudini che portarono alla sua realizzazione ed impiego in campo bellico e poi civile hanno percorso cammini differenti nei vari paesi. Di seguito si riportano le principali tappe che hanno segnato l'evoluzione del radar.

Nel 1904, l'ingegnere tedesco Christian Hulsmeyer, attraverso esperimenti sulla rivelazione di onde elettromagnetiche riflesse da navi, sviluppò e brevettò un apparato capace di rivelare a distanza la presenza di ostacoli metallici grazie agli echi di ritorno. L'apparato, denominato "telemobiloskop", venne provato come dispositivo anticollisione e può essere considerato il vero antesignano dei moderni radar.

Il telemobiloskop venne presentato pubblicamente a Colonia il 18 maggio nel 1904. Il sistema era composto da una antenna direzionabile, un ricevitore coherer ed un trasmettitore. Esso segnalava attraverso una suoneria l'avvicinamento di un natante e automatica-



Fig.1 – Christian Hulsmeyer


KAISERLICHES PATENTAMT.

PATENTSCHRIFT

№ 165546

KLASSE 74d.

CHR. HÜLSMEYER IN DÜSSELDORF.

Verfahren, um entfernte metallische Gegenstände mittels elektrischer Wellen einem Beobachter zu melden.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 30. April 1904 ab.

Fig. 1.

Fig.2 – Brevetto di Hulsmeyer sulla rilevazione di oggetti metallici tramite onde elettromagnetiche

mente cessava di suonare appena la nave cambiava rotta ed usciva dal fascio di onde elettromagnetiche. Il dispositivo quindi permetteva la rivelazione di un oggetto metallico in una determinata direzione con una portata di circa 3 km, senza però specificare la distanza, e operava con onde di lunghezza d'onda di 40-50 cm.

Tale apparecchio risultava utile anche in condizione di tempo avverse. Il sistema venne giudicato favorevolmente dalla stampa, ma non suscitò l'interesse delle autorità navali e dell'industria, per cui non fu messo in produzione. Mentre nel mondo venivano approfonditi gli studi sulle radiocomunicazioni iniziati da Marconi e si realizzavano comunicazioni a grande distanza a frequenze bassissime con l'impiego di trasmettitori ad elevata potenza, in Italia, a partire dal 1916, Marconi stesso, proseguendo i suoi studi, si fece sostenitore dei collegamenti ad alta frequenza (onde corte) che sfruttavano la direzio-nalità dei sistemi "a fascio". Ciò lo portò ad intravedere il loro utilizzo in campo navale e nel giugno 1922 annunciò in un celebre discorso, tenuto presso l'Institute of Radio Engineers (U.S.A.), il principio del radar ovvero la possibilità offerta dalle onde corte come mezzo di rivelazione radio di bersagli:

"*Come venne per la prima volta mostrato da Hertz, le onde elettriche possono essere completamente riflesse dai corpi conduttori. In alcune mie esperienze ho rilevato effetti di riflessione e rivelazione di tali onde da parte di oggetti metallici a distanza di miglia. Io ritengo che dovrebbe essere possibile progettare apparati per mezzo dei quali una nave possa irradiare un fascio di tali onde in una direzione*



Fig.3 – Guglielmo Marconi – Science Museum

voluta, le quali onde, ove incontrino un oggetto metallico, quale un'altra nave, siano riflesse su un ricevitore schermato rispetto al trasmettitore della nave trasmittente e quindi immediatamente diano la presenza ed il rilevamento dell'altra nave nella nebbia o nel cattivo tempo".

Pertanto Marconi prevedeva, grazie alle sue sperimentazioni, di utilizzare le onde radio per realizzare un sistema ausiliario della navigazione marittima, basato sulle possibilità delle onde elettriche di essere riflesse da corpi conduttori. In quegli anni Marconi, interessato alle varie applicazioni della radio, per poter studiare le trasmissioni sul mare comprò la nave Elettra che rappresenterà per un decina di anni il suo laboratorio galleggiante. Finalmente, nel 1933, Marconi dimostrò sperimentalmente alle autorità militari italiane la possibilità di rivelare le onde elettromagnetiche riflesse da oggetti metallici. I suoi studi si indirizzarono verso l'uso delle microonde per ottenere un sistema di radiotelegrafia da applicarsi alle navi in condizioni di scarsa visibilità. Nel 1934 nel golfo del Tigullio sperimentò sull'Elettra la navigazione alla cieca, ovvero con la cabina di comando completamente oscurata. Senza alcuna visibilità, il capitano Gerolamo Stagnaro, leggendo la rotta direttamente su uno schermo grazie alle indicazioni fornite da uno speciale radiofaro, condusse l'imbarcazione verso il porto di Sestri Levante passando tra due boe poste a 100 metri l'una dall'altra. Tale esperimento diede il via al moderno sistema radar.

Nel 1935, a seguito dell'esperienza di Marconi, il prof. Ugo Tiberio, docente universitario di Elettrotecnica presso l'Università di Palermo ed insegnante presso la Accademia Navale di Livorno, presentò un rapporto al "Comitato Interministeriale per i Servizi Militari Elettrici" che mostrava in qual modo gli apparati radioelettrici potessero adattarsi alla rivelazione di aerei e di navi a grande distanza. In detto rapporto erano riportati l'equazione del radar nello spazio libero e gli schemi di due apparati, uno ad onda continua ed uno ad impulsi. Purtroppo i responsabili militari rifiutarono il finanziamento del progetto dei radar. Soltanto quando gli eventi bellici imposero la necessità di riprendere le ricerche gli scienziati italiani riuscirono a realizzare apparati competitivi a quelli prodotti da altri paesi nonostante le poche risorse a disposizione. I primi apparati ad impulsi vennero realizzati al Regio Istituto Elettrotecnico e delle Comunicazioni (RIEC) di Livorno ed il prototipo di un radar ad impulsi venne chiamato "GUFO". Fu comunque soltanto nel 1941, dopo il disastro subito nella battaglia navale di Capo Matapan che

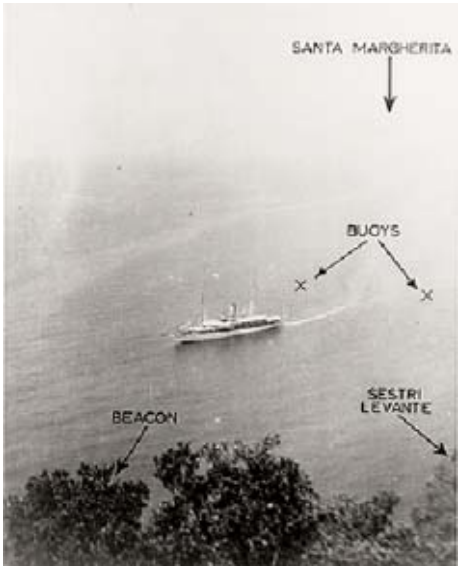


Fig.4 – Navigazione alla cieca della nave Elettra, 1934



Fig.5 – Prof. Ugo Tiberio

venne affidata alla ditta SAFAR di Milano la commessa di perfezionare e costruire una prima serie di apparati radar ad impulsi. Purtroppo la mancanza di una industria nazionale elettronica e di personale tecnico adeguatamente preparato non permise di ottenere i risultati che si sarebbero potuti potenzialmente raggiungere. Viceversa negli Stati Uniti ed in Inghilterra gli studi nel campo dei Radar erano fortemente incoraggiati e sovvenzionati dai rispettivi governi. Tali studi condussero a grandi risultati in particolare nel campo dei generatori di sorgenti a radiofrequenza di potenza sempre crescente.

Negli stati Uniti i fratelli Varian nel 1937 produssero il prototipo di un tubo amplificatore a radiofrequenza, il Klystron, mentre nel 1940 in Inghilterra John Randall e Harry Boot produssero un prototipo di Magnetron a cavità, tipo di struttura particolarmente semplice e capace di funzionare come oscillatore a microonde di alta potenza. Nello stesso anno la ditta inglese GEC produsse un esemplare di magnetron capace di fornire 4 Kw di potenza di picco in banda S.

Disponendo di tali sorgenti, risulta oggi comprensibile il grande vantaggio che ebbero gli eserciti alleati contro le truppe dell'Asse. Infatti in episodi non marginali della guerra, come la Battaglia d'Inghilterra e la guerra degli U-Boote, i radar alleati furono lo strumento in più che condizionò l'esito della lotta. Essi infatti avevano una portata e un'accuratezza decisamente maggiore dei corrispettivi sistemi tedeschi (quelli italiani erano in quantità talmente ridotta da non essere significativi). La prima e vera industria nazionale di sistemi radar sorse a Baia nel 1950 dalle ceneri del Regio Silurificio Italiano a sua volta fondato a Napoli nel 1921 e dedicato alla produzione di siluri, di cui era direttore tecnico il Prof. Carlo Calosi. Alla fine della seconda guerra mondiale il



Fig.6 – Primo Radar prodotto dalla Microlambda nello stabilimento di Fusaro (Napoli)

silurificio venne distrutto e solo nel 1950 lo stesso prof. Calosi fondò la Microlambda che iniziò a produrre sistemi radar su licenza della ditta americana Raytheon. Nel 1960, grazie alla fusione tra Microlamba e Sindel, nacque la Selenia che divenne ben presto famosa in tutto il mondo per l'eccellenza tecnica dei suoi sistemi radar progettati e prodotti sotto la guida dell'ing. Francesco Bardelli.

SELEX Sistemi Integrati: Museo del Radar. Perché un Museo del Radar

Così come accade all'estero, nell'ultimo decennio anche alcune aziende italiane hanno acquisito la consapevolezza che gran parte della cultura industriale della nostra epoca non è prodotta dalle grandi istituzioni culturali ed educative, ma si forma all'interno delle imprese. È quindi diventato importante storicizzare e ricordare l'avventura della nostra industria, iniziando a riordinare il materiale e gli oggetti che hanno segnato nel tempo le fasi della propria attività, anche al fine di non disperdere questo prezioso patrimonio collettivo.

In quest'ottica si e mossa la SELEX Sistemi Integrati, erede della storica SELENIA, decidendo di creare un Museo del Radar, in cui far convergere elementi rappresentativi dell'evoluzione tecnologica subita dal radar in generale e dall'Azienda stessa in particolare. L'esposizione non vuole essere fine a se stessa, ma deve avere anche il compito di riordinare e tramandare la memoria della storia produttiva di questi manufatti e di come questi, con la loro evoluzione, proiettino nel futuro dell'Azienda verso l'ambito dei Grandi Sistemi. Come detto in precedenza, Fusaro è stata la sede prima dello nuovo stabilimento sorto sulle ceneri del pre-esistente silurificio. In quest'area nacque e si sviluppò il nucleo di competenze che, nel corso degli anni, hanno portato l'Azienda a raggiungere obiettivi di eccellenza riconosciuti a livello mondiale.

È parso quindi naturale che, dovendo individuare la sede del costituendo Museo del Radar, si sia pensato di realizzarla al Fusaro che, tra l'altro, continua ad essere il sito dell'Azienda in cui sono prodotti tutti i suoi sistemi.

Caratteristiche del Museo

La progettazione dell'area espositiva del museo, prevede un percorso articolato in sezioni tematiche, che per mezzo di documentazione, apparati o parti di essi, apparecchiature e oggetti di produzione, consolle di simulazione e postazioni multimediali, introdurrà una sorta di itinerario nel tempo, che finirà per illustrare anche l'evoluzione dei costumi e delle relazioni sociali, collegate al mondo del lavoro, oltre che la crescita e la trasformazione del territorio.

Il Museo si sviluppa su di un'area di circa 500 m^2 in tre elementi: spazio espositivo, area di simulazione e area conferenze. Allo spazio espositivo è associata anche un'area esterna ma prospiciente ad esso, lungo la quale sono collocate alcune fra le antenne dei prodotti radar più significativi sviluppati e costruiti dalla nostra Azienda. Le antenne dei radar sono senz'altro l'elemento che maggiormente caratterizza il sistema; assume quindi una particolare valenza l'esposizione di antenne che il visitatore attraversa prima ancora di entrare nel Museo. L'interno accoglie il visitatore guidandolo in un percorso lungo il quale gli vengono proposti in sequenza:

- una serie di pannelli che illustrano documenti e personaggi che appartengono alla storia del radar;
- una serie di bacheche in cui sono esposti strumenti storici utilizzati in ambito progettazione e/o produzione, alcuni dei quali realizzati dalla stessa nostra Azienda;
- un'area tecnologica che si sviluppa con otto espositori. In essi sono esposti componenti e parti tipici di prodotti di epoche diverse, inclusa quella attuale. Sono assiemi del tipo: dispositivi di potenza; dispositivi if/rf; assiemi a microonde; dispositivi di alimentazione; componenti di antenne; assiemi di microelettronica; dispositivi circuitali. Il contenuto di ciascun espositore è illustrato da una scheda in cui si rappresenta l'evoluzione di quella specifica tecnologia nel tempo, mentre per ciascun assieme vi è una targa con l'indicazione di cosa sia, quali fossero le principali caratteristiche e l'impiego;
- tre consolles utilizzate quali simulatori radar. Le consolles sono configurate per mostrare ciascuna uno scenario operativo, sorveglianza terrestre, sorveglianza navale e controllo del traffico aereo, con il quale l'operatore/visitatore può interagire;
- all'uscita della sala simulazione il visitatore incontra l'area dei sistemi radar. Vi è una serie di pannelli illustrativi che, seguendo un ordine cronologico, mostrano i nostri sistemi radar più significativi. Naturalmente per ogni sistema rappresentato vi è una dettagliata descrizione delle sue caratteristiche funzionali e delle sue peculiarità tecnologiche. L'attenzione è concentrata sui miglioramenti tecnologici intervenuti fra una generazione e la successiva dei sistemi, a partire dagli anni '50. Tale percorso termina con un'area dedicata ai "Grandi Sistemi".

Il Museo è poi dotato di una biblioteca tematica, in cui sono stati raccolti molti volumi, anche storici, che trattano del radar e delle tecnologie ad esso collegate, ed in cui sono esposti documenti che raccontano di momenti del passato della nostra Azienda. Inoltre vi è una sala convegni, cui si accede direttamente dall'atrio del locale. Essa ha la capacità di ospitare 50 persone ed è dotata di tutti i mezzi tecnici necessari alla sua funzione.

Finalità del Museo

Il museo si pone non solo l'obiettivo di presentare tutte le tappe evolutive

fondamentali dell'innovazione tecnologica del settore, ma di allargare gli orizzonti a problematiche più ampie, riguardanti i campi della ricerca scientifica e industriale nei vari settori dell'elettronica e delle nuove tecnologie.

A tale scopo, pur costituendo una iniziativa privata non aperta al grande pubblico, il museo può diventare punto di incontro, per avvenimenti specifici nel settore, con attività didattiche e scientifiche, lezioni e conferenze, convocando esperti interessati a trovare un utile supporto per indagini e studi e per studenti impegnati ad accrescere e a completare il proprio percorso formativo. L'intenzione è quelle di creare un centro di riferimento su scala nazionale che fornisca un immagine dei radar e di chi li produce, oltre che dei livelli di crescita tecnica ed tecnologica raggiunti dalla industria italiana e da quella campana in particolare.

Bibliografia

U. TIBERIO, *Introduzione alla tecnica radio e Radar*, Milano, Tamburini, 1974.

M. I. SKOLNIK, *Introduction to Radar systems*, New York, McGraw Hill, 1962.

R. S. BERKOWITZ, *Modern Radar*, John Wiley & Sons Inc., 1965.

M. CARPENTIER, *Principles of modern Radar systems*, Aertech House, 1988.

S. A. SCHELKUNOFF, *Electromagnetic waves*, The Van Nostrand Series, 1951.

J. C. SLATER, *Microwave electronics*, D. Van Nostrand Company, 1950.

R. E. COLLIN, *Antennas and radiowave propagation*, McGraw Hill, 1987.

R. C. JOHNSON – H. JASIK, *Antenna engineering handbook*, McGraw Hill, 1984.



Fig.7 – Immagine del Museo del Radar

MARCO CECCARELLI, MICHELA CIGOLA, CESARE ROSSI

Sviluppo di automi in Italia

L'automa è stato da sempre considerato una macchina come un ideale teorico ma anche un risultato tecnico che ha suscitato attenzione in studi tanto teorici che in progettazioni pratiche. In questo lavoro si delineano, tramite esempi significativi, i caratteri essenziali dello sviluppo storico di soluzioni elaborate nell'ambito culturale italiano con il fine di indicare e rivalutare l'ingegnosità italiana nell'ambito dell'ingegneria delle automazioni specifica per gli automi.

Introduzione

L'automa, antecedente dei moderni robot benché basato solo su parti meccaniche, è stato da sempre un risultato indicativo dell'alto livello tecnico raggiunto dai singoli progettisti e dallo sviluppo della tecnica del momento. In Italia ha da sempre suscitato la curiosità di progettisti per metter alla prova la loro capacità inventiva, sin dai tempi della prima rinascita della tecnica in epoca rinascimentale. Il lavoro, che si propone, presenta un excursus storico e tecnico di automi sviluppati da tecnici e scienziati italiani o formati in Italia, evidenziando gli aspetti conoscitivi e teorici che ne sono alla base.

Vengono dapprima illustrate le macchine di Francesco Di Giorgio e di Leonardo Da Vinci, anche con il fine i chiarire il concetto di automa da un punto di vista essenzialmente funzionale. Successivamente si centra l'attenzione sullo sviluppo di automi con possibilità di riprogrammazione attraverso sistemi meccanici. Infine, si presentano le macchine che sono state sviluppate in epoca di Rivoluzione Industriale come risultato dell'entusiasmo e del successo delle macchine e dei meccanismi nello sviluppo della tecnologia moderna in Italia. Le caratteristiche e la evoluzione sono state discusse attraverso esempi significativi di automi elaborati da personalità rappresentative dell'epoca.

Definizione di automa

Il termine automa indica nella dizione del linguaggio comune, (Garzanti 1987) macchina in grado di imitare i movimenti dell'uomo o degli animali '.

Tale definizione è meglio dettagliata in campo tecnico a seconda dell'area d'ingegneria a cui si riferisce, enfatizzando aspetti funzionali e costruttivi. Nell'area dell'ingegneria meccanica si suole indicare come automa una macchina od un sistema meccanica che abbia capacità di operatività e/o movimento senza l'azione di un operatore umano od altra macchina. In settori dell'ingegneria elettrica ed elettronica si preferisce far riferimento all'aspetto cibernetico-informatico riferendosi a capacità di funzionamento intelligente senza

supervisione dell'uomo a seguito di specifiche programmazioni e/o implementazione di sistemi esperti hardware e software.

Nonostante la varietà delle definizioni tecniche, sopra riportate, si può analizzare un sistema come automa, differenziandolo sostanzialmente dal robot, quando, avendo caratteristiche costruttive principalmente meccaniche, è tuttavia capace di funzionamenti indipendenti dall'azione e supervisione di un operatore umano, con o senza capacità di riprogrammazione. Con tale accezione è evidente che gli automi hanno rivestito nello sviluppo tecnico delle macchine un ruolo importante di stimolo verso maggiori automazioni e migliori funzionamenti tanto nelle singole macchine come nei processi d'insieme.

Le soluzione prospettate in specifiche progettazione di automi sono state, comunque, spesso finalizzate esplicitamente in due aspetti: l'intrattenimento di utenti e pubblico, e la dimostrazione delle elevate capacità del progettista.

La finalità di intrattenimento per un automa è consistita sin dai tempi antichi nel suscitare stupore ed allo stesso tempo ammirazione che possono essere fine a se stesse o indirizzate a determinare particolare attenzione ad un evento o ad una rappresentazione. L'aspetto ludico, in verità, si è sempre intrecciato anche con la finalità più culturale di attrarre l'attenzione. Infatti, gli automi fini a se stessi per intrattenimento ludico, peraltro di una ristretta cerchia di persone in genere dell'aristocrazia che potevano permettersi il relativo impegno economico, non hanno avuto una grande diffusione e spesso addirittura non hanno avuto caratteristiche di durabilità. Degli automi di intrattenimento si ha memoria soprattutto a livello di letteratura o nella corrispondenza, poiché molto spesso dopo il loro uso, in genere non ripetuto, venivano dimenticati rapidamente ed archiviati. Ciononostante, riuscivano anche a conseguire l'altra finalità di dare duratura fama al progettista per le sue alte qualità ingegneristiche.

Il secondo aspetto della finalità di intrattenimento si può pensare relativo ad attrarre attenzione spesso rivolto pertanto ad un pubblico più vasto e perfino popolare. Gli automi di questa categoria venivano sviluppati per spettacoli, teatrali e/o religiosi, con il fine di impressionare il pubblico per provocare meraviglia ed una durevole memoria dell'evento. Speso questi automi venivano riproposti più volte in occasioni e ricorrenze ben precise e per questo dovevano avere strutture ben più robuste dei precedenti e quindi di minore capacità automatiche e di movimentazione.

La finalità degli automi relativa a dimostrare le elevate capacità progettuali del progettista è sempre stata una conseguenza del successo dell'automa stesso, pur considerando che in alcuni casi poteva essere avulso da finalità ludiche. Sotto questa luce, l'automa va visto, come fu in effetti considerato, come un sistema od una problematica utile a definire soluzioni innovative automatiche o meno di macchinari utili in applicazioni pratiche, sia di carattere produttivo e civile come di tipo militare. Pertanto con

tale finalità è stato un mezzo per promuovere tali professionalità tecniche così come la visibilità del progettista che si cimentava nello sviluppo di automi.

In Italia l'attenzione allo sviluppo di automi così come documentato più che altro in letteratura tecnica sembra aver avuto fortune alterne.

Automi nel Rinascimento

Durante il Rinascimento vi è stato un grande sviluppo di macchine con un rinnovato interesse per l'innovazione che ha incluso anche una grande attenzione ad automatismi ed automi. Il Vasari nelle suo testo di biografie (Vasari 1568) spesso riferisce di abilità di 'architetti' a progettare e realizzare macchine ed automi per spettacoli teatrali o per manifestazioni popolari, indicando una certa consuetudine per il progettista rinascimentale di macchine a cimentarsi in tale ambito. Tali automi avevamo vari livelli di complessità, dal semplice meccanismo al complesso insieme di componenti per riprodurre figure ed operatività

Esempi emblematici possono essere considerati i progetti di Francesco di Giorgio e di Leonardo da Vinci, che come molti altri progettisti di macchine del Rinascimento, nella loro attività spesso si sono applicati allo sviluppo di automi e automatismi. Le Figg. 1-3 ne sono un esempio utile anche ad indicare le caratteristiche progettuali e funzionali degli automi basati completamente su componenti meccanici.

Nella Fig.1 si riportano delle machine veicolari che possono considerarsi automi in quanto il loro funzionamento poteva essere previsto automatico grazie all'uso di motori automatici basati su molle nelle quali veniva immagazzinata l'energia necessaria per il loro operatività. I meccanismi, come si può notare,

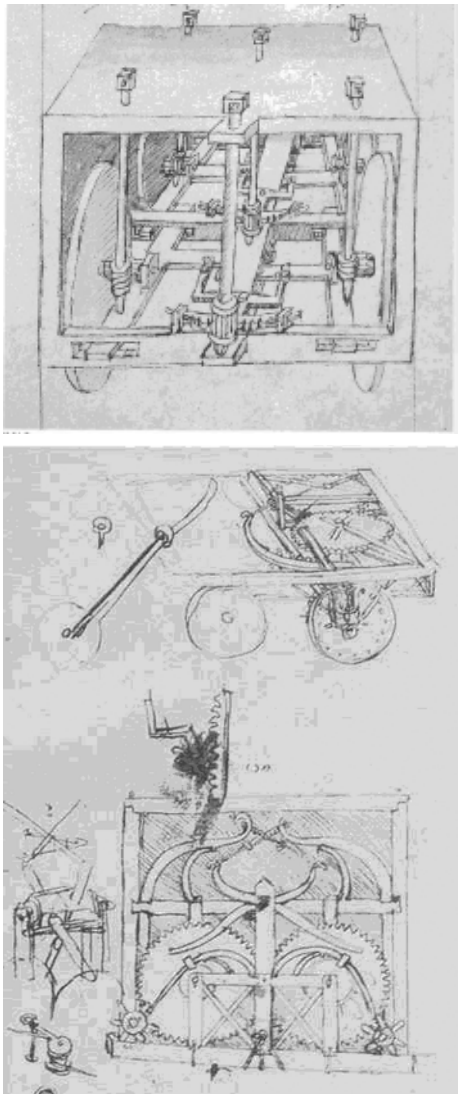


Fig. 1 - Veicolo a marcia automatica di Francesco di Giorgio (in alto) e di Leonardo (in basso)

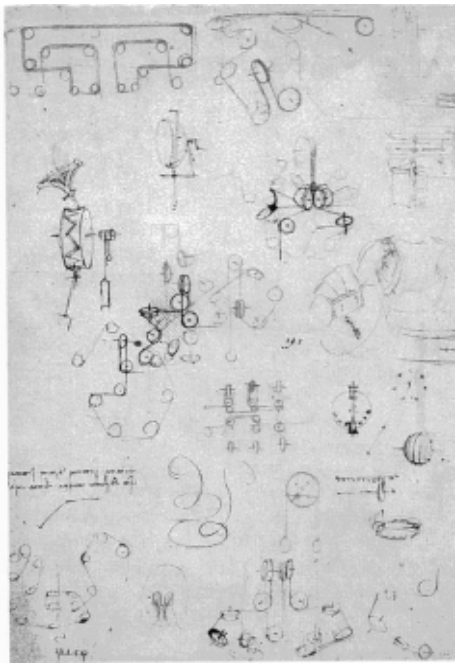


Fig. 2 - Disegni di Leonardo nel Codice Atlantico interpretati per un automa umanoide

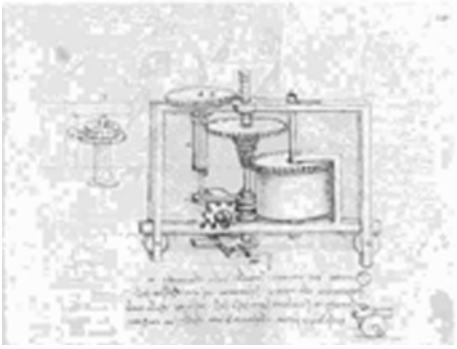


Fig. 3 - Disegni di Leonardo nel Codice Atlantico per un motore automatico

sono combinati ad arte per una efficienza di funzionamento sorprendente tanto nella cura del singolo come nell'assemblaggio dell'insieme, ad indicare una maestria nell'uso dei componenti meccanici e delle loro funzionalità.

Nella Fig. 2 si riporta il disegno di Leonardo da Vinci che si è interpretato come relativo allo sviluppo di un automa androide basato su un intelligente sistema di sistemi di trasmissione a fune. Si conosce di Leonardo da Vinci anche la costruzione di un automa a forma di leone che funzionò per salutare il re di Francia in una visita all'ormai vecchio progettista ed artista. Purtroppo non si hanno documentazioni riguardanti la sua struttura meccanica. Si sa che Leonardo da Vinci si considerava abile anche nella progettazione e realizzazione di macchine per le rappresentazioni teatrali nelle quali se non usava proprio automi faceva ricorso alle soluzioni ingegnose utilizzate in essi. Un esempio ne è il motore a molla riportato in Fig.3.

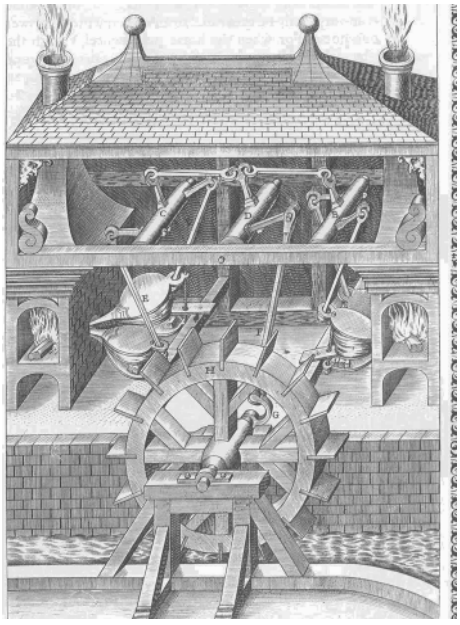


Fig. 4 - Meccanismi per automazione in una machina de 'le macchine artificiose' di Ramelli del 1588



Fig. 5 - Automi dell'orologio di Orvieto del secolo XIV



Fig .6 - Orologio con automatismi del Torrazzo di Cremona del 1588

La pratica progettuale di automi nel Rinascimento era in genere collegata ad abilità progettuali per automazioni ed automatismi per applicazioni più pratiche nello sviluppo di macchine per la produzione e per fini architettonici.

La Fig. 4 riporta un esempio della complessità e delle dimensioni a cui questi meccanismi potevano giungere anche in una pratica ben consolidata per macchine di tipo industriale.

La Fig. 5 è un esempio di automa utilizzato per fini architettonici a corredo di altra macchina automatica, l'orologio, che va interpretato anch'esso come risultato dell'attenzione e dello sviluppo di macchine automatiche. L'automa di Fig. 5, come si può evincere anche dalla figura, ha ben limitate funzionalità ma la sua rilevanza risiede nella durabilità con cui tali sistemi venivano concepiti e costruiti. In realtà orologi meccanici sono stai sviluppati sin dall'affermarsi di capacità tecnologiche con sistemi meccanici, ma durante il Rinascimento hanno attratto una attenzione a complessità sempre crescenti, così come indicato nell'esempio di Fig.6 nelle quali i meccanismi utilizzati servono alla funzione anche di orologio astronomico.

Nel Rinascimento lo sviluppo di automi, pur nella loro eccezionalità, sembra abbia raggiunto una pratica progettuale quasi di consuetudine, tanto che di molte soluzioni non si è enfatizzato l'aspetto di automa, ma più di automatismo per applicazioni di uso pratico. Ciò, per un lato ha anche sminuito l'eccezionalità dell'automa così come nei suoi intenti, e per un altro verso ha consolidato abilità professionali perfino a livelli tanto diffusi che spesso rimane anonimo l'autore della soluzione progettuale.

Automi preindustriali

Nel periodo preindustriale del '600 e soprattutto del '700 lo sviluppo degli au-

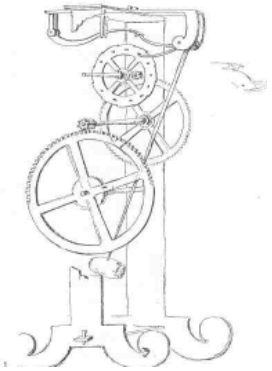


Fig. 7 - Orologio a pendolo di Galileo Galilei

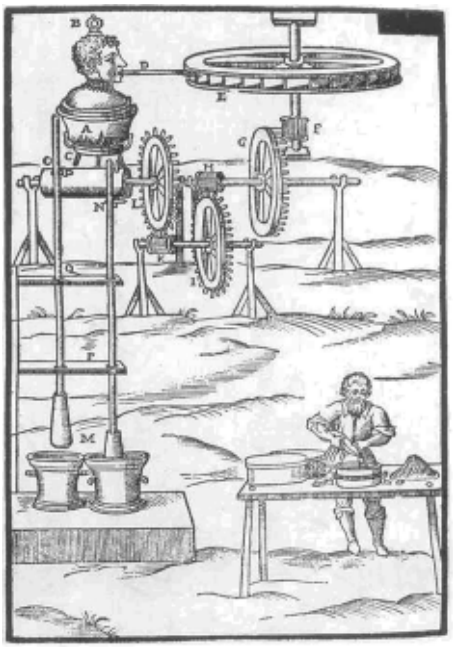


Fig. 8 - Macchina impastatrice da Giovanni Branca in Roma del 1629

tomi in termini di sistemi ludici sembra quasi scomparire al non aversi evidenze e memorie di costruzioni significative, forse anche dovuto al fatto che oramai, a seguito dei successi nel Rinascimento rimaneva difficile superare le precedenti soluzioni. L'attenzione agli automi è andata nei secoli indirizzandosi sempre più ad applicazioni pratiche. In termini di soluzioni di automi riscuotono sempre più successo orologi e carillon che oltre all'aspetto sorprendente meccanico comprendono anche composizioni artistiche di pregevole fattura.

I meccanismi per orologi hanno destato interesse e studio anche per il tentativo, portato a compito solo nel '800, di costruire orologi portatili. Un esempio di tale interesse e dei risultati ottenuti è riportato in Fig. 7 con riferimento all'orologio a pendolo di Galileo Galilei.

Gli automatismi delle macchine hanno ricevuto una sempre maggiore attenzione, soprattutto nella trattatistica dei 'Theatrum Machinarum'. Un brillante esempio è riportato in Fig. 8 che illustra una macchina impastatrice studiata da Giovanni Branca nel 1629. Gli aspetti caratteristici di automa si possono riconoscere tanto nella combinazione di sole parti meccaniche come nell'operatività funzionale.

Il successo delle macchine e delle loro soluzioni automatiche ha destato particolari entusiasmi ed aperto nuovi orizzonti di applicazioni, che poi esploderanno nell'epoca d'oro della meccanica durante la Rivoluzione Industriale.

L'ottimismo sulle capacità delle macchine e soprattutto degli automi ha portato a crede e finanche a produrre macchine che potessero realizzare funzionamenti completamente autonomi, perfino indipendenti dall'approvvigionamento energetico per il loro funzionamento. Così nel '600 vi sono stati studi e mac-

chine per la realizzazione del moto perpetuo, così come l'esempio di Fig. 9. In particolare la Fig. 9 permette di osservare che l'ambito culturale italiano era ancora, così come lo era stato durante il Rinascimento, un fucina di formazione e di ricerca rivolta non solo a personalità italiane, anche nell'ambito tecnico.

Nel '700 il pragmatismo, anche grazie ad atteggiamenti dovuti poi alla cultura dell'Illuminismo, determina una sempre maggiore attenzione a nuove macchine per nuove applicazioni.

Un esempio ne è il caso di Fig. 10 così come lo sviluppo di una crescente coscienza di professionalità tecniche specifiche nell'ambito delle macchine e delle automazioni. Tuttavia in Italia si riscontra un periodo di scarsa produttività o meglio visibilità delle capacità e dei risultati anche nell'ambito tecnico, forse dovuto anche al declino dell'influenza culturale causata dalla frammentazione politica e soprattutto dall'emergenza di nuove realtà prominenti in Europa.

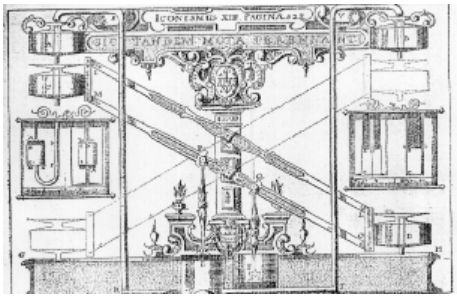


Fig. 9 - Studio per una macchina a moto perpetuo di Gaspard Schott nel 1664

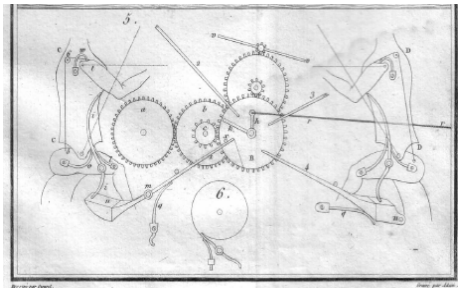


Fig. 11 - Studio per un automa umanoide di Gian Antonio Borgnis in Parma nel 1825

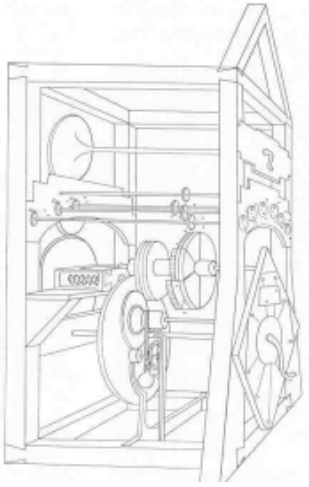


Fig. 10 - Machina calcolatrice di Giovanni Poleni del 1709

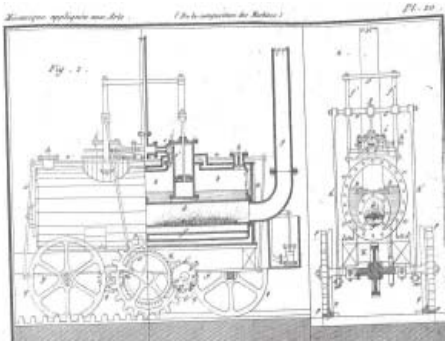


Fig. 12 - Studio per una locomotiva di Gian Antonio Borgnis in Parma nel 1825

Automi e automazioni nella Rivoluzione Industriale

La Rivoluzione Industriale si ascrive in generale ad ambienti britannici e del nord Europa, ma anche in Italia vi sono stati notevoli contributi a seguito di una attenzione mai venuta meno per la meccanica delle macchine. Ovviamente anche gli ambienti italiani hanno avuto come riferimento i nuovi centri di sviluppo e di studio in Europa.

Così per esempio nelle Fig. 11 e 12 sono riportati esempi di studi da parte dell'italiano Gian Antonio Borgnis, che formatosi all'Ecòle Politechnique di Parigi, ha poi svolto la sua attività di accademico ed ingegnere in Pavia. La Fig. 11 testimonia di un persistente interesse nello studio e sviluppo di automi propriamente detti, ancora basati su funzionamenti antropomorfici. La Fig. 12 mostra un esempio emblematico nel settore nascente dei trasporti ferroviari come tali competenze e conoscenze di automatismi per automi potessero e venissero impiegati in ambiti industriali.

L'approccio pragmatico allo sviluppo di automi si riconosce ancor più nello sviluppo di nuove macchine per nuove applicazioni che hanno sempre meno l'aspetto e le funzionalità degli automi fino allora tradizionali.

Emblematica è la prima macchina da scrivere ideata e progettata dall'italiano Giuseppe Ravizza nel 1837, riportata in Fig. 13. L'automa sparisce dagli intenti del progettista e nelle funzionalità della macchina, ma i caratteri essenziali delle funzionalità e dei componenti persistono, come si può facilmente apprezzare comparando le Fig. 11 e 13. Gli automatismi per le nascenti applicazioni industriali assorbono la maggiormente attenzione di studi, ricerche, progettazioni, ed applicazioni, e automi propriamente detti non rivestono più una priorità tecnica propagandistica per l'esperto di macchine. Gli automi in genere vengono relegati a sistemi non degni di interesse perchè non permettono risultati pratici nei desideri di sempre maggiore produttività ed efficienza. Si può tuttavia osservare che alcune esperienze vengono rielaborate in tentativi indirizzati ad applicazioni biomediche come prime protesi di arti.

L'elevata sofisticazione degli automi si tramuta nella elevata sofisticazione e specializzazione delle macchine per uso industriale, soprattutto nei settori del tessile, dei trasporti, delle macchine utensili e più in generale nelle automazioni industriali. In tale attività si perdono i caratteri ascrivibili alla tecnica degli automi e persino viene meno l'orgoglio di paternità di meccanismi complessi.

Esempio emblematico è riportato in Fig. 14 per illustrare la ingegnosità degli ambienti italiani ed anche gli aspetti sopra menzionati. Le macchine presentate in Fig. 14 presentato elevati livelli di automazione, pur raggiungendo elevata compattezza come soprattutto nel caso di Fig. 14 b) che richiama anche l'uso di componenti a camma fondamentali negli automi dei secoli precedenti. In particolare il sistema di Fig. 14 b) può considerarsi con caratteristiche di automa ma ha perso completamente gli aspetti tradizionali ludici e funzionali essendo

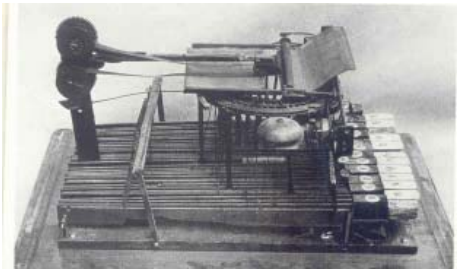
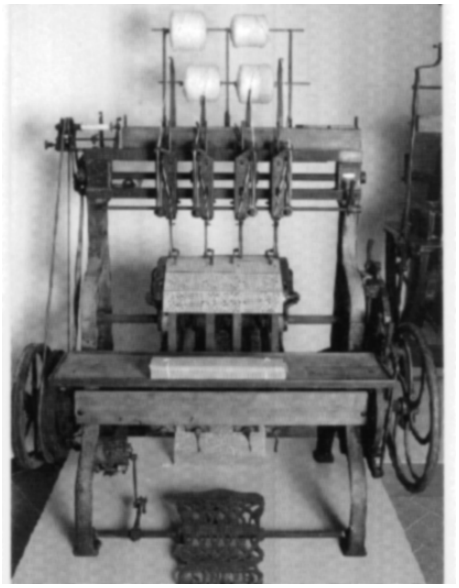


Fig. 13 - Meccanismi di una machina per scrivere di Giuseppe Ravizza nel1837



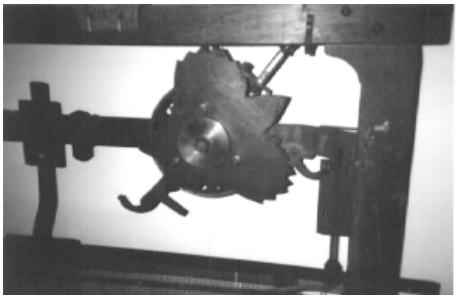


Fig. 14 - Macchine automatiche per l'industria tessile alla fine del secolo XIX a Como: a) macchina per le schede di programmazione; b) camma per regolazione del movimento automatico

dedicato ad una più ristretta e specifica funzionalità. Ancora nell'800 gli orologi e carillon mantengono vivo l'interesse per lo sviluppo di automi le cui caratteristiche si possono ritrovare anche nello sviluppo dei primi giocattoli a funzionamenti automatici e delle prime macchine per divertimenti. In particolare, gli orologi vengono sviluppati con tecnologie meccaniche sempre più efficienti ed accurate che permettono di migliorare anche le prestazioni dei più antichi orologi nelle torri, così come nell'esempio riportato in Fig. 15.

Nel periodo della Rivoluzione Industriale l'interesse e la tecnica per gli automi è evoluto verso le automazioni per applicazioni industriali e non, con una tendenza ancora persistente nell'attuale epoca moderna. Forse si possono ancora riconoscere gli ambiti degli automi nei giocattoli sempre più sofisticati replicanti le funzionalità di animali e perfino di operazioni antropomorfe.

Senz'altro le caratteristiche degli automi si ritrovano in settori della robotica, quali in particolare quelli che si riferi-

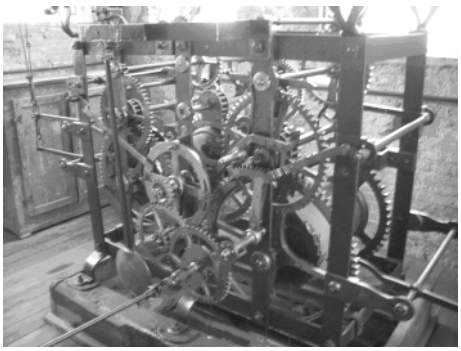


Fig. 15 - Meccanismo ad ingranaggi per un orologio in una torre di Lucca, in una ricostruzione del XIX secolo

scono allo sviluppo di robot androidi ma anche in quelli che recentemente si occupano di applicazioni medicali, non solo per protesi. In tali settori l'ambiente, soprattutto di ricerca, in molte sedi sembra ancora una volta essere all'avanguardia in ingegnosità e risultati, come nell'esempio dalle attività degli autori in Fig. 16.

Conclusione

Gli esempi di automi riportati in questo lavoro dimostrano un continuo prolifico interesse verso la ricerca e la realizzazione di automi da parte di ambiti accademici e professionali di estrazione e cultura italiana. Si può, peraltro, notare che in tale settore l'eccellenza delle capacità italiane non è mai venuta meno, ma la sua visibilità ed apprezzamento ha avuto esiti alterni con periodi di grande risonanza e periodi di apparente assenza di attività.

Bibliografia

Le fonti bibliografiche sono state limitate per motivi di spazio alle principali fonti, anche dall'esperienza degli autori, e ad alcune pubblicazioni per ulteriori approfondimenti.

Galluzzi P., "Ingegnere durante il Rinascimento", Giunt Publ. Parto, 2001..

Galluzzi P., "Prima di Leonardo: la cultura delle macchine a Siena durante il Rinascimento" Electa, Milan, 1991.

Garzanti, Il grande dizionario della lingua italiana, Garzanti Ed., 1987.

Ceccarelli M., "The Challenges for Machine and Mechanism Design at the Beginning of the Third Millennium as Viewed from the Past", Proceedings of Brazilian Congress on Mechanical Engineering COBEM2001, Uberlandia, 2001, Invited Lectures, Vol.20, pp.132-151.

Ceccarelli M., "Mechanism schemes in Teaching: A Historical Overview", ASME Journal of Mechanical Design, 1998, Vol.120, pp.533-541.

Ceccarelli M., Cigola M., "Trends in the drawing of mechanisms since the early Middles Ages", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2001, Vol.215, Part C, pp. 269-289.

Galilei**.**, "Le Mecaniche", in: Opere di Galileo Galilei, Edited by F. Brunetti, UTET, Turin, 1964.

Ramelli A., "Le diverse et artificiose machine", Paris, 1588.

Schott G., 'Technica curiosa', Norimebrga, 1664.

Vasari G., 'Le vite dei più eccellenti pittori, scultori ed architetti', Giunti, Firenze, 1568. (Riedizione 2004 di Newtom Colptin editori)

Veneziani M. (Editor), "Machina: 11-th International Colloqium", Olschki Publ., Firenze, 2005.

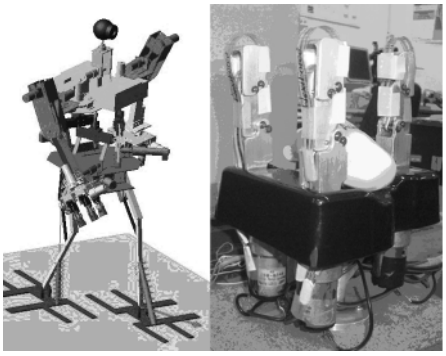


Fig. 16 - Soluzioni di robot presso il LARM di Cassino: a) studio per un androide a basso costo; b) la mano LARM

NICOLA AUGENTI

Storia dell'Ingegneria Forense

Introduzione

L'Ingegneria Forense costituisce tema noto e diffuso nei Paesi anglosassoni da oltre un ventennio. Negli Stati Uniti d'America, in particolare, non solo la professione di Ingegnere Forense risulta notevolmente diffusa ma, su sollecitazioni delle società d'Assicurazioni e di talune Industrie, si sono sviluppati enti e associazioni che promuovono l'evoluzione e la diffusione della materia.

In Italia tale argomento ha visto la luce solo da poco tempo, proprio ad opera della Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, ove è stato attivato il primo corso universitario nel quale vengono trattate queste problematiche.

Il presente lavoro intende ricostruire la breve storia di tale disciplina, da un lato prendendo spunto dalle esperienze straniere e dall'altro riferendosi a quanto è stato fatto nel nostro Paese ad opera di pochi pionieri.

La materia, affidata per il passato ad iniziative personali e riguardata alla stregua di Arte, è stata recentemente oggetto di un tentativo di codificazione, con l'obiettivo di conferirle il lignaggio di Scienza. Nel contempo, una professione appannaggio per il passato di pochi iniziati, che si tramandavano massonicamente le regole del mestiere, diviene oggetto di insegnamento universitario per la formazione di nuove figure professionali, altamente qualificate e non più autoreferenziate ma dotate di credenziali obiettive.

Tale storia persegue la finalità di creare solide basi per lo sviluppo di una nuova materia interdisciplinare che muove già i primi passi e per la costruzione di una nuova Storia … tutta da scrivere.

Definizioni e contenuti

L'Ingegneria Forense applica i principi e i metodi specifici dell'Ingegneria alla soluzione dei problemi tecnici in ambito giudiziario. Per sua natura, essa coniuga l'Ingegneria con la Giurisprudenza, ovvero la Tecnica con il Diritto. Al contrario di quanto è accaduto per la Medicina Legale, già ampiamente riconosciuta dalla comunità scientifica e da quella professionale, l'Ingegneria Forense (che potrebbe anche definirsi Ingegneria Legale) ha iniziato ad essere riconosciuta solamente da una ventina d'anni negli Stati Uniti d'America e muove appena i primi passi in Europa.

Il settore tradizionale dell'Ingegneria Forense, nei Paesi anglosassoni, è quello strutturale che analizza i crolli e i grandi dissesti.

In senso stretto, l'Ingegnere Forense è quel professionista che indaga sulle cause e sulle responsabilità di un evento dannoso. In senso lato è chiunque operi, come consulente tecnico d'Uffi-

cio o di parte, in un procedimento giudiziario civile o penale.

L'Ingegnere Forense, in effetti, è quel professionista che indaga sulle cause più probabili per cui si è verificata una prestazione diversa da quella attesa e sulle responsabilità. Il problema può essere costituito da un dissesto, da un difetto, da un danno o da un guasto, verificatosi per qualunque tipo di costruzione: il termine inglese *failure* ben compendia la molteplicità di tali significati. Il difetto, poi, può presentare differenti livelli d'intensità: in campo strutturale si può andare dalla lesione capillare al crollo totale del manufatto. L'Ingegnere Forense, pertanto, può essere chiamato dall'Autorità Giudiziaria o dalle parti di un processo per condurre indagini su un oggetto di contenzioso, ma può anche essere incaricato da un privato o da un ente pubblico di individuare cause e rimedi di problemi tecnici imprevisti.

L'Ingegnere Forense, in definitiva, è qualcuno che indaga su problemi; nell'accezione comune, invece, è colui il quale interviene in un contenzioso giudiziario con il ruolo di consulente tecnico. Si tratta, pertanto, di un ingegnere "inverso", che parte dagli effetti per individuare le cause, ovvero parte dalla soluzione di un problema per giungere alle condizioni iniziali. Va precisato, a questo punto, che tale materia interessa un po' tutti i campi dell'Ingegneria. Accanto al più noto settore civile (rivolto ai dissesti, ai crolli, all'edilizia, all'estimo), sussiste un settore industriale denso di attività forensi importantissime come, ad esempio, quelle riguardanti il campo meccanico, quello chimico, quello navale ed aeronautico, quello elettrico.

Assume grande importanza la figura dell'Ingegnere Forense tutte le volte che il dissesto o l'anomala prestazione inattesa siano conseguenza di errore umano. In campo strutturale, statistiche americane hanno accertato che oltre il 90% dei crolli si verifica per errore dell'uomo, commesso in corso di progettazione o di esecuzione dell'opera. La corretta conduzione dell'indagine non è utile solamente ad individuare cause e responsabilità, ma anche ad evitare il ripetersi degli errori.

Codici storici

L'obiettivo ultimo dell'Ingegneria Forense, ovvero l'individuazione delle responsabilità connesse ai dissesti, ha suscitato l'interesse dei Legislatori sin dai tempi più antichi.

Un riferimento classico è costituito dal babilonese *Codice di Hammurabi*, che si fa risalire a circa 22 secoli prima di Cristo. In esso vige il criterio per cui il responsabile di un crollo doveva risponderne al committente con obbligazione paritaria. Ad esempio, una delle traduzioni più diffuse recita: "*Se un costruttore realizza una casa per un'altra persona, ma non fa il lavoro come avrebbe dovuto, così che la casa crolla e causa la morte del padrone di casa, egli deve essere ucciso* […] *Se il crollo provoca la morte del figlio del padrone, sia ucciso il figlio del costruttore* […] *Se il crollo provoca la morte di uno schiavo del padrone della casa, il costruttore deve dare al padrone della*

casa uno schiavo di uguale valore […] *Se il crollo distrugge una proprietà, il costruttore dovrà ripristinare tutto ciò che è stato distrutto, e poiché non ha fatto il lavoro come avrebbe dovuto, dovrà ricostruire la casa crollata a sue proprie spese* […]*Se un costruttore costruisce una casa e, non soddisfando i requisiti della costruzione, una parete crolla, quel costruttore dovrà rinforzare la parete a sue spese*".

Con un salto di oltre 37 secoli, ritroviamo sanzioni per i professionisti tra le disposizioni del viceré di Napoli, Don Antonio Parafan de Ribera, il quale con prammatica del 27.08.1564 (dettata per disciplinare l'attività di maestri fabbricatori, pipernieri, mastri d'ascia, calcari e tagliamonti), disponeva che: "[…]*se alcuno, Ingegnere od Architetto ordinasse cose per le quali le fabbriche venissero a patire per loro colpa,* […]*siano tenuti a tutti i danni ed interessi*".

Una traccia embrionale della figura di Ingegnere Forense può ritrovarsi nel processo *Folkes, Bart* contro *Chadd et al.*, celebrato nel 1782 presso la Corte di Giustizia inglese. Nell'ambito di tale causa fu chiamato a testimoniare un certo ing. John Smeaton, esperto in ingegneria portuale e costiera. La Corte ritenne che le sue dichiarazioni avessero valenza ben superiore a quella di un comune testimone, in quanto sostenne che il problema affrontato potesse essere giudicato solo da un tecnico di provata competenza. Con tale episodio si sanciva la funzione dell'ingegnere quale coadiutore del giudice, ma anche l'attendibilità della sua consulenza tecnica per fini di Giustizia. Per arrivare alle nostre attuali disposizioni legislative è d'uopo passare attraverso il codice civile francese del 1804, detto anche *Codice Napoleonico,* che costituisce il primo esempio di legislazione organica dell'età moderna, dal quale sono derivati tutti i codici italiani. In esso si ritrova una disposizione riguardante le attività tecniche, che recita: "*Se si verifica una perdita di funzionalità in una costruzione entro dieci anni dalla sua ultimazione, a causa di un crollo di fondazione o di altro difetto di esecuzione, l'imprenditore e l'architetto saranno mandati in prigione*".

Nel nostro ordinamento giuridico le responsabilità professionali, ma anche le procedure secondo cui l'Ingegnere Forense deve esercitare il proprio lavoro, sono disciplinate dal *Codice Civile* (*CC*), dal *Codice Penale* (*CP*), dal *Codice di Procedura Civile* (*CPC*) e dal *Codice di Procedura Penale* (*CPP*). In particolare, come si può notare leggendo alcuni articoli dei Codici di Procedura, già dagli anni Quaranta l'attività dell'Ingegnere Forense era perfettamente disciplinata: basti leggere il *Libro I – Disposizioni Generali* e il *Libro II – Del processo di cognizione*, che appartengono al *CPC* del 1942 e il *Libro I – Atti*, il *Libro III – Prove* e il *Libro V – Indagini preliminari e udienza preliminare*, contenuti nel *CPP* del 1989. Essendo, però, i Codici pressoché estranei alla cultura dell'ingegnere, tali disposizioni legislative vengono quasi sempre ignorate. In altri termini, ad oggi esiste una disciplina normativa dell'Ingegneria Fo-

rense, ma non esiste una specifica figura professionale (al contrario di quanto avviene nell'ambito della Medicina Legale).

Esperienze straniere

Una cultura dell'Ingegneria Forense si è sviluppata per la prima volta negli Stati Uniti d'America, tra la fine degli anni Settanta e gli inizi degli anni Ottanta. La materia ha avuto ivi grande sviluppo soprattutto dietro sollecitazione delle società di Assicurazioni, che richiedevano professionisti particolarmente qualificati nelle indagini relative al risarcimento di danni. Si sono così formate, nella società americana, intere classi di ingegneri forensi, non solo destinati a divenire consulenti per l'Autorità Giudiziaria, ma anche ad assistere società e privati nell'ambito dei contenziosi. Ciò ha comportato, peraltro, la nascita di molteplici associazioni professionali e l'interesse di altre già esistenti che hanno dato ulteriore impulso allo sviluppo della materia. Tra queste, vale la pena di citare: la *NSPE - National Society of Professional Engineers*, sorta nel 1982, in seno alla quale è nata la *NAFE - National Academy of Forensic Engineers*, per promuovere la preparazione degli ingegneri quali consulenti dell'Autorità Giudiziaria civile, penale o amministrativa, di collegi arbitrali o di studi legali; l'*ASCE - American Society of Civil Engineers*, nell'ambito della quale è stata creata la commissione *TCFE - Technical Council on Forensic Engi-neering*. In ambito più specifico si possono ricordare: l'*ASFE - Association of Soil and Foundation Engineers*; l'*ICAO - International Civil Aviation Organization*; l'*ISASI - International Society of Air Safety Investigators*; la *SAE - Society of Automotive Engineering*.

L'attività di tali associazioni consiste: nella continua informazione dei soci; nel pubblicare riviste e libri recanti i casi più interessanti (sin nei minimi dettagli); nel promuovere attività di formazione attraverso l'istituzione di corsi; nel favorire gli scambi di esperienze internazionali attraverso l'organizzazione periodica di congressi.

Tra le altre attività, trova collocazione anche la redazione di linee guida per l'esercizio dell'attività di Ingegnere Forense e la pubblicazione di norme deontologiche. Un codice deontologico è stato pubblicato dall'*ASFE* nel 1987 ed è stato adottato negli Stati Uniti d'America da numerosissime associazioni professionali. Più recentemente, nell'anno 2000, sono state pubblicate le linee guida redatte da una commissione interna della *NAFE*, anche al fine di organizzare un Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Forense. Nel 2003 sono state pubblicate le *Guidelines for Forensic Engineering Practice* del *TCFE*, contenenti utili indicazioni per l'esercizio dell'Ingegneria Forense.

Nell'ambito delle molteplici attività associative svolte, l'*ASCE* ha organizzato congressi di Ingegneria Forense nelle seguenti località: a Minneapolis (Minnesota), nell'ottobre 1997; a San Juan (Porto Rico), nel maggio 2000; a San Diego (California), nell'ottobre

2003; a Cleveland (Ohio), nell'ottobre 2006. L'appuntamento più recente in calendario è stato l'*International Conference on Forensic Engineering: Failure Diagnosis and Problem Solving*, organizzata a Bombay (India), nel dicembre 2007 dall'*ACI – American Concrete Institute*.

Prime esperienze italiane

Per quanto riguarda l'Italia, ma anche l'Europa, una cultura dell'Ingegneria Forense è ancora in gestazione, essendo affidata a singole iniziative. Nell'ambito civile, come già accaduto negli Stati Uniti d'America, tali iniziative sono partite dal settore strutturale, in virtù delle più importanti conseguenze civili e penali connesse ai grandi dissesti e ai crolli. Pionieri in tale settore sono state figure ben note di studiosi come il prof. Luigi Stabilini e il prof. Sandro Dei Poli che, tra i primi, si sono interessati all'argomento lasciando tracce indelebili della loro Scienza.

Isolati articoli relativi a dissesti e crolli si ritrovano a partire dagli anni Venti, spesso ad opera di accademici che sapevano coniugare una salda cultura scientifica con la capacità di risolvere problemi professionali.

Ulteriori contributi si ebbero ad opera di ingegneri particolarmente versati nel campo delle patologie strutturali come Cristoforo Russo, già dal secondo decennio del Novecento, o come Sisto Mastrodicasa, il cui trattato sui dissesti statici delle strutture edilizie è giunto alla nona edizione. In tempi più recenti pochi hanno scritto e poco, anche se indagini e consulenze tecniche riguardanti disastri importanti non sono mancati. Negli ultimi anni, la diffusione di una cultura dei crolli e dei grandi dissesti è stata affidata, quasi esclusivamente, a conferenze o corsi intensivi organizzati da prestigiose Università o per iniziativa di Ordini professionali.

Al fine di promuovere la conoscenza dell'Ingegneria Forense, lo scrivente, oltre a fornire contributi mirati nell'ambito di seminari e conferenze, ha organizzato già tre convegni sul tema dei crolli e dell'affidabilità strutturale: un primo convegno a Venezia nel dicembre del 2001, in collaborazione con il prof. Enzo Siviero; il secondo a Napoli nel maggio 2003, insieme al prof. Gaetano Manfredi; il terzo a Messina nell'aprile 2006, gestito dal prof. Giuseppe Muscolino. Tutte le edizioni hanno riscosso grande successo, sia per partecipazione che per qualità dei contributi. Essendo ormai maturi i tempi, insieme al prof. Lorenzo Jurina, stiamo organizzando a Milano per il mese di novembre del 2008 la manifestazione *IF CRASC '08*, che riunirà il primo congresso italiano (ma anche europeo) di *Ingegneria Forense* e il quarto congresso di *Crolli, Affidabilità Strutturale e Consolidamento*. L'acronimo dei due convegni risulta, dal punto di vista onomatopeico, estremamente eloquente.

Ai fini della formazione, molteplici sono state, in questi anni, le iniziative intraprese da sedi universitarie come Firenze, Lugano, Napoli, Perugia, Pavia, che hanno organizzato corsi intensivi mirati.

La nascita dell'I.F. in Italia

Per sanare una grave carenza (sotto l'aspetto istituzionale) che affligge ancora tutte le Università italiane ed europee (con singolari eccezioni nel Regno Unito), la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II, sotto gli auspici del preside prof. Edoardo Cosenza, in data 12 aprile 2006 ha attivato l'Insegnamento di "*Diagnosi e Terapia dei Dissesti Strutturali*". In considerazione del fatto che gran parte del corso, primo in Italia, è dedicata all'Ingegneria Forense, in un prossimo futuro l'Insegnamento potrebbe assumere la denominazione di "*Ingegneria Forense Strutturale*". Il titolo attuale deriva proprio dal fatto che, ai più, non è nota tale branca dell'Ingegneria, anche se essa costituisce correntemente oggetto di attività professionale. Tale iniziativa pone la Facoltà, ancora una volta, all'avanguardia nel mondo tecnico-scientifico internazionale. Nel luglio 2007 si sono laureati i primi allievi dotati di specifiche competenze tecnico-legali e, dunque, particolarmente qualificati per ricoprire il ruolo di consulente tecnico dell'Autorità Giudiziaria.

L'idea di proporre alla Facoltà di Ingegneria l'istituzione di un corso avente ad oggetto l'Ingegneria Forense è scaturita dall'attività che lo scrivente ha esercitato negli ultimi 37 anni, compiendo indagini su crolli e grandi dissesti per conto dei Tribunali di molte città italiane. Tale lunghissima esperienza ha consentito di verificare quanto ampie siano le lacune dei professionisti nel campo delle conoscenze tecnico-giuridiche e come l'attività sia affidata all'esperienza, all'intuizione o, addirittura, all'improvvisazione. La mancanza, sino ad oggi, di insegnamenti universitari specifici ha prodotto danni incalcolabili che si ripercuotono, fatalmente, sull'amministrazione della giustizia. Mancando professionisti altamente qualificati, il cittadino non ha certezza di giustizia e il giudice non ha certezza delle sue sentenze.

La lunga esperienza maturata attraverso centinaia di indagini, gran parte delle quali costituite da crolli, e la frequentazione continua delle aule dibattimentali mi ha consentito di concepire il corso di "*Diagnosi e Terapia dei Dissesti Strutturali*", spaziando dalla diagnosi delle patologie, alle analisi strutturali a collasso, sino a trattare le responsabilità professionali. Obiettivi del nuovo Corso sono: la conoscenza dell'Ingegneria Forense nel processo civile e penale; lo studio del comportamento strutturale attraverso l'analisi delle patologie nelle costruzioni; la determinazione delle cause di crollo e di dissesto ai fini della prevenzione e di una corretta progettazione ed esecuzione; l'individuazione delle terapie strutturali in presenza di dissesti.

Accanto agli strumenti della Meccanica, della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, che consentono una corretta progettazione, si ritiene necessario far conoscere approfonditamente i crolli più importanti e l'analisi ragionata delle cause che li hanno prodotti, particolarmente in presenza di errori umani. La possibilità e la probabilità che si possa verifi-

care un errore o un dissesto (il cui limite è rappresentato dal crollo) entrerà, così, a far parte del naturale bagaglio culturale del tecnico, al pari delle regole scientifiche che governano la corretta progettazione, in modo che la conoscenza dei disastri verificatisi nel passato costituisca perenne monito per il futuro. Solo chi ha visto e studiato crolli sa che le costruzioni cadono realmente e, dunque, non risulta pervaso da quel delirio di onnipotenza che lo convince dell'invulnerabilità strutturale, ovvero del fatto che, comunque, qualunque costruzione "si regge in piedi". Nulla di più pericolosamente falso. Parafrasando una celebre massima di Leonardo Da Vinci, potremmo dire che "*I crolli non dormono mai*!", essendo sempre in agguato.

D'altronde è noto che chi ignora gli errori del passato è condannato a ripeterli. Gli insegnamenti derivanti dalle strutture crollate dovrebbero essere accessibili a tutti. Viceversa, si tende a tenere rigorosamente celati gli errori commessi, per pudore o per interesse, e ciò, purtroppo, fa perdere l'opportunità di capire e di imparare dagli sbagli degli altri. Al contrario, si dovrebbe dare la massima pubblicità alle cause dei crolli e dei grandi dissesti, ma sopratutto si dovrebbe cercare di pervenire sempre alla verità, evitando di stendere "veli", pietosi o interessati, sulle reali cause. Obiettivo principale del nuovo Corso è, in definitiva, quello di diffondere la conoscenza, in Italia e in Europa, dell'Ingegneria Forense e di far nascere una nuova figura professionale specificamente qualificata. Ovviamente, accanto all'informazione tecnico-scientifica e giuridica, deve trovare posto la formazione morale ed etica dei futuri ingegneri forensi. Il rigore morale, l'equilibrio, l'imparzialità di giudizio e un comportamento eticamente corretto costituiscono requisiti essenziali, in assenza dei quali le conoscenze tecnicolegali risulterebbero, perlomeno, superflue. L'Università, infatti, deve fornire anche questo tipo di formazione e operare una selezione dei futuri ingegneri forensi in base a tali requisiti. Mettere gli studenti di Ingegneria e di Architettura a contatto diretto con i crolli e i grandi dissesti, può avere una ricaduta importante e immediata sulla formazione universitaria dei futuri professionisti. L'esperienza ha dimostrato che lo studente, mentre guarda talvolta con distacco le materie che gli propongono metodi per la progettazione di nuovi manufatti, rimane profondamente colpito dalle conseguenze che un evento dannoso (dovuto ad errata progettazione o a cattiva esecuzione) ha sulla costruzione.

Il risultato è che gli studenti applicano le nozioni apprese a casi reali e imparano la progettazione attraverso i fallimenti che si sono verificati nel passato. L'impatto visivo delle immagini di crolli o di grandi dissesti e la conoscenza delle conseguenze civili e penali che essi hanno comportato, lascia una traccia indelebile nella loro memoria e costituisce monito perenne sulla probabilità che le strutture possano subire dissesti o crolli. In altri termini, non si tratta solamente di insegnare come concepire una struttura, ma si tratta di imparare a

studiarne l'esistenza, conoscendone le patologie e la morte. L'approfondita conoscenza di un crollo insegna più dell'esame di mille progetti.

Al fine di diffondere ulteriormente in Italia una cultura istituzionalizzata dell'Ingegneria Forense, sono state promosse iniziative tra la Facoltà di Ingegneria e quella di Giurisprudenza dell'Università di Napoli Federico II, d'intesa con l'Autorità Giudiziaria.

Una prima occasione di confronto sul tema del percorso formativo degli ingegneri, riguardante le attività tecniche di supporto a magistrati ed avvocati, si è avuta con il convegno di studio dal titolo "*L'Ingegneria Forense*: *formazione universitaria e attività giudiziaria*", organizzato il 29 giugno 2007 presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, al quale hanno preso parte accademici delle Facoltà di Ingegneria e di Giurisprudenza, alti magistrati del Tribunale di Napoli, i presidenti degli ordini professionali di ingegneri e di avvocati. La manifestazione ha riscosso enorme successo, sia in ambiente accademico che professionale.

Il futuro dell'Ingegneria Forense

L'Università degli Studi di Napoli Federico II, e segnatamente le due Facoltà di Ingegneria e Giurisprudenza, stanno lavorando per far nascere il primo *Master di II livello in Ingegneria Forense*, riservato a laureati in Ingegneria, in Giurisprudenza o in Architettura. Nel campo dell'Ingegneria, le materie di insegnamento non riguarderanno solamente l'indirizzo civile (settori strutturale, edile, geotecnico, estimativo, ambientale, etc.), ma anche l'indirizzo industriale (settori meccanico, navale, aeronautico, chimico, elettrico, etc.). Nell'ambito della Giurisprudenza, verrà approfondito lo studio del diritto civile, penale e amministrativo. La Magistratura tratterà i rapporti con l'Autorità Giudiziaria e l'articolazione dei procedimenti civili e penali.

Con maggiore respiro, accanto a un Master dedicato ai professionisti, si potrà pensare di istituire un vero e proprio Corso di Laurea Specialistica indirizzato ai laureati triennali in Ingegneria. Le difficoltà legate all'organizzazione del percorso formativo dipendono dal fatto che l'Ingegneria Forense è materia che non appartiene al novero degli insegnamenti tradizionali, che risulta trasversale rispetto a discipline di differente estrazione e al fatto che non è sufficientemente nota al di fuori dell'ambito professionale. A fronte di ciò, invece, sono notevoli le opportunità di inserimento nel mondo del lavoro che tale attività può offrire: basti pensare che negli Stati Uniti d'America l'Ingegnere Forense percepisce compensi di gran lunga superiori a tutti gli altri liberi professionisti.

In analogia a quanto è stato già fatto negli USA, si sta anche pensando alla costituzione di un'associazione denominata *SIF – Società Italiana di Ingegneria Forense*, che dovrebbe perseguire scopi analoghi a quelli della *NAFE* o dell'*ASCE*. Tale società potrebbe riunire i professionisti che si occupano di consulenza tecnico-legale in tutti i cam-

pi dell'Ingegneria e che, periodicamente, lavorano per l'Autorità Giudiziaria o per soggetti privati, nell'ambito dei processi civili, penali o amministrativi. L'associazione potrebbe comprendere, tra gli scopi da perseguire: la redazione di linee guida per il comportamento dei professionisti; la vigilanza sul corretta condotta dei soci; la promozione dell'informazione sulle attività di indagine svolte dagli associati (mettendo a conoscenza di tutti il patrimonio di esperienze di ciascuno); la formazione etico-professionale e tecnico-scientifica; la pubblicazione di una rivista con contributi particolarmente interessanti; l'istituzione di un sito internet contenente, tra l'altro, un forum; l'organizzazione di convegni nazionali; l'informazione relativa ai convegni internazionali, per favorire gli scambi di esperienze con colleghi di altri Paesi che si interessano dei medesimi problemi.

La diffusione di una cultura dell'Ingegneria Forense potrebbe avere ricadute importantissime dal punto di vista sociale. La conoscenza, infatti, delle cause che hanno prodotto dissesti, guasti o danni contribuirà, in maniera determinante, alla prevenzione e, dunque, ad evitare perdite di vite umane o economiche, oltre che responsabilità. Il tema dell'Ingegneria Forense non deve coinvolgere, infatti, solamente i professionisti che si occupano di questioni tecnico-legali, ma deve creare una coscienza del comportamento delle opere di Ingegneria, anche nel cittadino comune. Sapere, ad esempio, che una struttura può crollare o subire dissesti, conoscere le cause e i danni provocati, potrà convincere tutti che anche le costruzioni civili vanno periodicamente controllate, che è necessario eseguire continue manutenzioni, che la competenza dei professionisti può essere determinante per i risultati conseguiti. In altre parole, la stessa coscienza che le persone posseggono nei riguardi della propria salute, o della propria automobile (entrambe sottoposte a controlli periodici per mantenerne la massima efficienza), andrà estesa anche alle costruzioni civili. Tale obiettivo si potrà conseguire attraverso la diffusione dell'Ingegneria Forense, ovvero tramite la formazione di tecnici specificamente preparati e la sistematica informazione sui dissesti che si verificano periodicamente. Questi ultimi, attualmente, vengono ignorati per disinteresse o per la volontà di tenere celati eventi e responsabilità.

Un'ulteriore ricaduta sociale della diffusione dell'Ingegneria Forense sarà, certamente, legata ad una migliore operatività della Protezione Civile. La formazione universitaria di ingegneri specializzati nella diagnosi delle patologie strutturali, nell'analisi dei dissesti, nell'eliminazione delle situazioni di pericolo imminente e nella terapia di urgenza, potrà consentire la creazione di Unità di Pronto Intervento da impiegare, in Italia e all'Estero, subito dopo il verificarsi di crolli importanti o eventi catastrofici, dovuti a cause naturali o ad errore umano.

L'attuale mancanza di personale altamente qualificato nello specifico settore e l'assenza di protocolli di rapido

intervento, non solo può determinare un aumento delle vittime o dei danni in occasione di eventi gravi, ma può causare anche serie disfunzioni nel coordinamento dei soccorsi o carenza di indagini tempestive, con grave pregiudizio per l'esito dei processi penali.

Infine, l'Ingegneria Forense assumerà importanza fondamentale nel settore della Giustizia interrompendo, finalmente, quel circolo vizioso in cui a consulenze tecniche di basso livello (o anche peggiori) corrisponde un trattamento del professionista irriguardoso, anche dal punto di vista economico. Il modo per sanare tale piaga, che ha ricadute gravissime nell'amministrazione della Giustizia, è la formazione di ingegneri altamente specializzati nel campo delle indagini, dotati di competenze giuridiche, alta qualificazione e indiscussa moralità. Gli albi dei consulenti tecnici dell'Autorità Giudiziaria non dovranno più essere composti da soggetti autoreferenziati, ma soltanto da professionisti che possano esibire un titolo delle specifiche competenze possedute, rilasciato dall'Università attraverso esami, corsi di formazione specifici o Master. L'interesse della Magistratura verso tale indirizzo è scontato: basti pensare che il dott. Franco Roberti, attuale Procuratore Aggiunto della Repubblica presso il Tribunale di Napoli e coordinatore della Direzione Distrettuale Antimafia, ha proposto già da qualche tempo l'istituzione di un Centro Nazionale dei Periti e dei Consulenti dell'Autorità Giudiziaria, che dovrebbe riunire professionisti altamente qualificati in tutti i settori di interesse, dall'Ingegneria alla Medicina, dal quale poter attingere i coadiutori di giustizia.

Il presente lavoro è stato finanziato dal Progetto ReLUIS 2005-2008.

ERMANNO TURCO, PASQUALE FEDELE

Le comunicazioni mobili: una storia in movimento

Introduzione

La storia delle comunicazioni mobili in Italia nasce negli anni '60. Già in quegli anni era infatti attivo un servizio radiotelefonico mobile sperimentale che copriva buona parte dei compartimenti di Torino e di Milano.

Inizialmente, questo servizio era limitato alle sole aree urbane e suburbane delle due città ma, successivamente, nel 1969, con l'installazione di una terza stazione in un punto intermedio abbastanza sopraelevato, il servizio fu esteso a tutta la tratta autostradale Torino-Milano [1].

A partire da quel momento la storia delle radiocomunicazioni mobili in Italia si svilupperà sino ad oggi attraverso un intreccio di sfide tecnologiche, regolamentari e di mercato.

In questo lavoro si cercherà di analizzare tutte le componenti di questo percorso così importante per la storia della telefonia italiana cercando di coprire sia gli aspetti tecnici che regolamentari e, laddove possibile, di descrivere l'evoluzione del mercato in termini qualitativi.

Analogamente a quanto avvenuto in tutti gli altri paesi europei, i primi sistemi radiomobili sono stati tutti di tipo analogico. Questi sistemi sono descritti nel capitolo 1.

Nel 1973 entra in servizio il sistema Radio Telefonico Mobile Italiano (RTMI) operante nella banda a 160 MHz e nel 1985 diventa operativo il sistema a 450 MHz RTMS (Radio Telephone Mobile System). Nel 1990 entra in servizio il sistema a standard ETACS a 900 MHz, uno standard già disponibile in UK e direttamente derivato dallo standard americano AMPS.

L'Italia giunge solo nel 1995 al traguardo del digitale, il sistema GSM.

Il ritardo rispetto ad altri Paesi Europei - il primo sistema GSM entra in servizio nel 1991 in Finlandia - fu determinato principalmente dal tempo speso a risolvere la questione della liberalizzazione del mercato radiomobile, un dibattito che si è protratto per quattro anni, dal 1990 al 1994, come è descritto nel capitolo 2. TIM lancia per prima, a marzo 2001, la nuova tecnologia GPRS, seguita poi a ruota da Omnitel in giugno.

L'introduzione della trasmissione dati veloce nello scenario dei servizi mobili consente di anticipare alcuni dei servizi multimediali che faranno poi la loro comparsa con l'entrata in esercizio dei sistemi a standard UMTS.

Il capitolo 3 ripercorre alcuni passaggi di questo scenario evolutivo.

Infine, il capitolo 4 tratta dello svolgimento della gara dell'UMTS e del nuovo scenario industriale che si è creato a valle dell' assegnazione delle licenze.

I sistemi radiomobili analogici e gli anni del servizio pubblico in regime di monopolio

Lo scenario internazionale agli inizi degli anni '70

I primi sistemi radiomobili di conversazione compaiono negli Stati Uniti negli anni immediatamente successivi alla fine della Seconda Guerra Mondiale. Si trattava di sistemi molto elementari, a bassissima capacità (poche unità di canali normalmente nella banda dei 150 MHz). Questi sistemi operavano in modalità "push-to-talk". L'utente mobile non poteva ricevere telefonate e per effettuarle doveva prima cercarsi un canale libero; poi la chiamata veniva instaurata con l'ausilio di una centralinista [2].

Nel 1964 la Bell Telephone definì il primo caso di sistema radiomobile automatico. Questo sistema originariamente operava nella banda dei 150 MHz e consentiva conversazioni in full-duplex, la ricerca automatica del canali e la possibilità sia di ricevere che di effettuare chiamate. La Bell ne sviluppò una nuova versione a 450 MHz nel 1969.

I sistemi radiomobili di quel periodo erano tutti di tipo analogico, adottavano cioè tecniche analogiche di trasmissione e modulazione all'interfaccia radio. Relativamente poi all'interfaccia con la rete telefonica pubblica, questa era realizzata in apposite centrali dove avveniva l'incontro in linea.

Il terminale era un apparato veicolare, tipicamente installato in maniera rigida nell'auto. Ai terminali erano associate porzioni di archi di numerazione della rete telefonica pubblica con prefisso di teleselezione unico. Si trattava, dunque, di una soluzione che realizzava più il concetto di estensione mobile del telefono fisso di casa piuttosto che quella di un telefono personale.

In Europa Occidentale, agli albori degli anni '70, in quasi tutti i paesi dove esisteva (Germania, Austria, Svizzera, Svezia, Olanda, UK e parzialmente Francia) il servizio radiomobile era di tipo manuale. Facevano eccezione in Germania la zona di Amburgo e la Svizzera [1]. Tuttavia si era già delineata una chiara tendenza europea a recepire le novità provenienti dagli Stati Uniti ed ad andare nella direzione di sistemi completamente automatici [1].

Il sistema RTMI

In Italia il dibattito aperto attorno al 1970 sulla definizione di un sistema radiomobile a copertura nazionale portò alla specifica di un sistema automatico e di moderna concezione: il sistema Radiotelefonico Mobile Integrato, RTMI. Il progetto fu predisposto in collaborazione tra Ministero PT, ASST e SIP e la Società Italiana Telecomunicazioni Siemens S.p.A.

La sperimentazione del sistema RTMI partì nel 1970. La comunità telefonica italiana era estremamente orgogliosa di questa creatura e lo sarà ancora per molti anni.

I motivi di orgoglio erano numerosi. Innanzitutto, il Sistema RTMI fu sviluppato in modo tale che la sua struttura base potesse servire come supporto

sia per il servizio di radio avviso, che per il servizio di conversazione radiotelefonica [1,3,4]. Ciò fu reso possibile da un'architettura molto semplice ed originale al tempo stesso, che prevedeva la suddivisione del territorio italiano in otto aree di chiamata, in ciascuna delle quali un unico impianto fisso provvedeva all'inoltro sia dei segnali di tele avviso, sia delle chiamate per il servizio di radio conversazione.

I due servizi, tuttavia, partirono in differenti momenti. Il servizio di radioavviso veicolare fu attivato nel 1972 nel Lazio e successivamente venne esteso alle altre regioni. Nel 1981 presentava una copertura quasi completa del territorio nazionale [5].

Il servizio radiomobile di conversazione RTMI fu attivato nel 1974, anche questo a partire dal Lazio. L'estensione alle altre regioni procedette abbastanza rapidamente fino al 1977, anno nel quale fu deciso "di sospendere l'attivazione di nuovi impianti in attesa di un esame approfondito riguardante il servizio radiomobile pubblico nel suo complesso" [5]. Il rollout della rete riprese solo alla fine del 1980, a seguito del parere favorevole all'estensione del servizio alle principali città ed autostrade italiane.

Il grande punto di forza del nuovo sistema risiedeva nella possibilità di effettuare, in maniera del tutto automatica, chiamate verso qualunque abbonato della rete telefonica nazionale ed internazionale. Di contro, il sistema RTMI presentava le limitazioni tipiche delle tecnologie di quel periodo storico. Per esempio, per chiamare il mobile era necessario conoscere l'area di chiamata ove si trovava il veicolo e per questo motivo era consentita la sola chiamata tramite operatrice, mancava cioè una funzione automatica di localizzazione dell'utente mobile. Un'altra importante limitazione era che, se nel corso di una conversazione un utente mobile usciva dall'area di copertura di una stazione radio ed entrava in un'altra, allora si interrompeva la conversazione: mancava cioè la funzione di handover. Infine, si trattava comunque di un sistema di piccola capacità, con una limitata risorsa di canali radio (32) che consentiva di servire al massimo 6000 utenti nelle aree metropolitane.

Il Sistema RTMS

Ben presto il sistema RTMI si avvicinò alla saturazione. Nel 1981 la saturazione era già praticamente raggiunta nel Lazio e prossima in Lombardia. Questo fatto dette notevole impulso agli studi già in atto per la definizione delle caratteristiche di un nuovo sistema che tenesse conto sia delle esigenze dell'utenza, sia delle soluzioni adottate nei sistemi più moderni [6].

Lo sviluppo del nuovo sistema, che sarà chiamato RTMS ed opererà nella banda dei 450 MHz, fu avviavo da SIP in collaborazione con ITALTEL ed entrò in servizio nel 1984. Il sistema fu progettato con due intenti principali:

- conseguire una capacità adeguata per la crescente domanda fino alla disponibilità di un sistema radiomobile europeo.

- offrire agli utenti un servizio con caratteristiche analoghe a quelle dei sistemi radiomobili più moderni

Il nuovo sistema RTMS era innanzitutto completamente automatico, cioè non era mai necessario ricorrere all'ausilio dell' operatrice; inoltre, il sistema consentiva la continuità della conversazione anche quando il mobile cambiava area di servizio (handover); infine, si trattava di un vero sistema cellulare con ridotta estensione delle aree di copertura radio delle stazioni radiobase ed ampia possibilità di riuso delle portanti a radio frequenza nell'area di servizio.Il nuovo sistema RTMS era in grado di soddisfare una domanda di 40.000 abbonati, una cifra che allora si riteneva potesse essere raggiunta solo nel 1995, quando oramai sarebbe stato disponibile uno sistema standard europeo, già allo studio a partire dal 1982.

Il Sistema ETACS

A dispetto delle previsioni, il sistema RTMS entrò in saturazione prima dell'anno 1990 e ben prima che fosse disponibile la nuova tecnologia GSM. Fu necessario dunque pensare ad un sistema di transizione che consentisse da un lato la introduzione di un servizio con caratteristiche avanzate, come ormai disponibile in molti Paesi Europei, e dall'altro di soddisfare la crescente domanda di servizi voce in mobilità.

La SIP decise così di adottare un sistema secondo lo standard analogico ETACS, derivato dall'americano AMPS, già utilizzato con successo in UK. Infatti, il sistema ETACS, operando nella banda dei 900 MHz, consentiva la dislocazione sul territorio di un maggiore numero di stazioni radio base e, grazie al maggiore riuso frequenziale, rendeva possibile offrire una maggiore capacità [7].

Il nuovo servizio partì nell'aprile del 1990 . "Il test naturale per la nuova rete furono le notti magiche dei campionati mondiali di calcio. E il successo fu immediato" [8].

A fine 1991 il sistema, che rappresentò senz'altro il primo esempio di telefonia mobile popolare, aveva circa mezzo milione di clienti, che salirono ben presto a 2.240.000 alla fine del 1994. Il sistema ETACS fu definitivamente chiuso nell'ottobre 2005.

Gli anni della svolta regolamentare ed il lancio del GSM

La definizione del sistema e le novità introdotte dal GSM

L'idea di un Sistema Radiomobile Paneuropeo risale al 1982 quando venne istituito il Groupe Speciale Mobile (GSM) all'interno della Confederation of European Posts and Telecommunications (CEPT). L'Italia fu tra i primi a firmare nel 1985 con Francia, U.K. e Germania Occidentale un accordo per lo sviluppo congiunto di questo sistema.

I primi quattro anni furono spesi ad indagare la migliore soluzione in termini di accesso radio. Quattro furono le soluzioni considerate [9]:

- un canale per portante radio (FDMA/SCPC);
- TDMA/FDMA a basso numero

di canali per portante (tra 4 e 16 canali, Narrow Band TDMA);

- TDMA/FDMA ad alto numero di canali (tra 20 e 60 canali,Wide Band TDMA)
- Slow frequecy hopping CDMA

La scelta in termini di costo, capacità e flessibilità fu effettuata mediante una valutazione sperimentale delle varie proposte, alla luce di un modello teorico, la cui elaborazione fu affidata all'Italia che per l'occasione sviluppò le procedure computerizzate presso i laboratori della Fondazione U. Bordoni di Bologna (efficienza spettrale) e presso la SIP di Roma (costo relativo alle infrastrutture) [10].

Nel Febbraio del 1987 fu scelta come soluzione di accesso radio il sistema TDMA/FDMA a banda stretta (8 canali per portante radio). Lo stesso anno, i 13 paesi membri della unione (15 operatori) diedero vita al GSM MOU (Memorandum of Understanding) prendendo l'impegno formale a realizzare il sistema radiomobile Paneuropeo.

Il Group Special Mobile continuò a lavorare alla messa a punto delle specifiche [11] e nel 1989, quando oramai era già confluito nell'ETSI, ne pubblicò la prima release. La prima telefonata GSM fu fatta dall'operatore Finlandese Radiolinja nel 1991.

Il GSM fu il primo vero esempio di sistema radiomobile completamente digitale e perciò presentava notevoli elementi aggiuntivi e di rottura rispetto ai suoi predecessori analogici [12,13].

Innanzitutto, l'adozione di tecniche digitali all'interfaccia radio consentiva da un lato un più efficiente utilizzo dello spettro a radiofrequenza e dall'altro di poter trasmettere non solo voce ma anche tutto un notevole portafoglio di servizi dati secondo standard qualitativi e di sicurezza (autenticazione e cifratura) molto elevati.

In secondo luogo, l'adozione della trasmissione numerica nei sottosistemi trasmissivi e di segnalazione consentiva piena compatibilità con gli standard ISDN e CCITT #7 e pertanto risultò possibile introdurre tutta una serie di servizi supplementari, quali, per esempio, il riconoscimento dell'utente chiamante, il call waiting, eccetera.

In terzo luogo il sistema GSM consentiva la personalizzazione del servizio offerto su base cliente che poteva dunque scegliere quali servizi attivare e quali no tra quelli standard e quelli supplementari. Inoltre con l'introduzione della SIM card questi servizi restavano legati solo alla carta, dispositivo che poteva essere utilizzato in un qualunque apparecchio telefonico.

Infine, il GSM introduceva il servizio di Roaming, assicurando così all'utente la facoltà di accedere ai servizi anche quando era in un paese estero. Il sistema GSM, dunque, rappresentò una vera svolta verso la telefonia personale.

La situazione regolamentare Italiana e la liberalizzazione del mercato

In Italia, la SIP avviò la costruzione della rete per la fornitura del servizio GSM nel 1990. Nel 1992 il Ministero delle Poste e Telecomunicazioni as-

segnò in via temporanea a SIP l'utilizzo di metà della banda disponibile ed in Ottobre autorizzò la stessa SIP ad iniziare una attività sperimentale del servizio con utenza amica.

Tuttavia, la SIP potè ufficialmente attivare il servizio soltanto nell'aprile del 1995, quando ormai era diventata Telecom S.p.A, ed immediatamente a valle dell'assegnazione della concessione al secondo gestore di telefonia mobile, Omnitel Pronto Italia.

I cinque anni che vanno dal 1990 al 1995 furono anni importantissimi per la telefonia italiana perché fu in questo periodo che si arrivò alla liberalizzazione del mercato radiomobile.

Vale la pena innanzitutto di ricordare che fu proprio nel 1990 che la Comunità Europea emanò la direttiva n. 90/388/CEE, concernente la concorrenza nei mercati dei servizi di telecomunicazioni. Questa direttiva, anche se esplicitamente non faceva riferimento al settore radiomobile, fu certamente di stimolo alla costituzione di due consorzi privati Unitel S.p.A (Fiat, Fininvest, Racal) ed Omnitel Sistemi Radiocellulari S.p.A. (Olivetti, Bell Atlantic International, Cellular Communications, Shearson Lemans) che chiesero nello stesso anno la assegnazione di una licenza per operare servizi radiomobili attraverso un sistema radiomobile GSM. Successivamente, analoga richiesta fu fatta da altri due consorzi: Pronto Italia S.p.A. (Pacific Telesis e Pronto Italia Holding) ed ETRA S.p.A. (SNAM, BellSouth, Millicom). Le domande ovviamente non poterono essere accolte per evidente impossibilità ed impreparazione del sistema amministrativo in essere a recepire una tale richiesta. Ma da quel momento partirono tutta una serie di azioni che successivamente avrebbero portato al rilascio della concessione ad un secondo operatore.

Il 1990 fu anche l'anno in cui venne istituita l'Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, AGCM. Sarà proprio l'Autorità a stimolare più volte una posizione a favore dell'apertura del mercato nel settore radiomobile da parte di governo ed istituzioni.

È nel novembre 1991 che l'Autorità fece il primo atto formale trasmettendo al Presidente del Consiglio dei Ministri ed al Ministero delle Poste e Telecomunicazioni un documento riguardante la telefonia radiomobile cellulare nel quale venivano esposti i vantaggi derivanti dall'introduzione della concorrenza nel servizio [cfr appendice in 14]. Ma l'invito all' apertura alla concorrenza non venne recepito, anzi, come detto, nel luglio 1992, la SIP fu autorizzata ad avviare la sperimentazione del sistema GSM. L'Autorità decise allora di avviare nel novembre del 1992 un'indagine conoscitiva sul servizio di telefonia radiomobile cellulare con particolare riferimento al GSM [14].

I lavori della commissione furono completati a giugno del 1993 con la pubblicazione dell'indagine e della relativa delibera [14]. L'indagine indagò a 360 gradi su quadro tecnologico e mercati nazionali ed internazionali, le ragioni della concorrenza, gli ostacoli alla concorrenza, il quadro normativo e le

modalità di introduzione della concorrenza. Contestualmente alla pubblicazione della delibera su citata, l'Autorità apriva un' istruttoria nei confronti di SIP [15], istruttoria che si chiudeva nell'ottobre del 1993 con il riconoscimento dell'abuso di posizione dominante per SIP [16].

Intanto la situazione Italiana veniva considerata anche a livello CEE. La Commissione Europea scriveva al Governo Italiano nel luglio del 1993 per mettere in evidenza che qualora il servizio GSM fosse stato riservato alla SIP sulla base della convenzione del 1984, la commissione stessa avrebbe considerata la convezione in contrasto con le norme del trattato CEE. Inoltre la commissione invitava il governo italiano ad osservare gli obblighi imposti dal diritto comunitario iniziando una procedura per garantire l'aggiudicazione di licenze per l'espletamento del sistema GSM [17].

In seguito alla spinta interna (Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato) ed alla sollecitazione Comunitaria, il governo Italiano decise dunque di pubblicare un bando di gara per il rilascio di una seconda concessione quindicennale per la gestione di una rete di radiotelefonia mobile GSM. Nel gennaio 1994 il disciplinare di gara fu inviato alle imprese che avevano risposto al bando di gara. Il 18 aprile 1994 il governo Italiano comunicò ufficialmente il nome del consorzio prescelto, Omnitel Pronto Italia, nato dalla fusione dei due consorzi Omnitel Sistemi Radiocellulari e Pronto Italia.

Le convezioni stipulate tra il Ministero P.T. e Omnitel Pronto Italia e Telecom (il 30 luglio 1994 la SIP e le altre società del gruppo Iri-Stet vennero fuse in Telecom Italia) furono approvate con D.P.R nel dicembre del 1994 [18,19].

A quel tempo Telecom aveva già realizzato buona parte della rete GSM, sfruttando i siti TACS già ampiamente presenti sul territorio italiano per collocarne, dopo modifica al sistema radiante, le apparecchiature GSM. Le convezioni tennero in qualche misura conto di questa netta disparità tra i due operatori in termini di stato di realizzazione della rete ed imposero ai due gestori di trovare un accordo di Roaming Nazionale.

La Telecom aprì ufficialmente il servizio GSM alla sua clientela nell'aprile 1995 e successivamente, nel dicembre 1995, anche Omnitel Pronto Italia fu finalmente sul mercato.

Il traguardo di Quattro Operatori GSM

La fine del monopolio nel "mercato" della telefonia mobile e la introduzione di un secondo gestore in competizione con l'incumbent determinò, tra le altre cose, un necessario ripensamento sulla gestione delle frequenze in uso ai servizi commerciali dal momento che la stessa disponibilità di banda diventava uno strumento di competizione.

La consapevolezza di questa nuova strada intrapresa era già presente nei decreti presidenziali di approvazione delle convezioni per l'espletamento del

servizio pubblico in tecnica GSM stipulate con Omnitel e Telecom, dove esplicitamente veniva detto che l'assegnazione di nuove porzioni di banda "sarebbe stata fatta assicurando parità di trattamento tra i concessionari del servizio radiomobile pubblico GSM e tenendo in particolare conto la disponibilità complessiva delle risorse di frequenze, le esigenze e le evoluzioni del sistema radiomobile nel suo complesso, le esigenze degli utenti, il miglioramento della qualità del servizio, la domanda commerciale" [18,19]. Tuttavia si dovette attendere il 1997 perché il principio fosse enunciato in maniera "universale" con la pubblicazione del DPR 318/97 recante il regolamento per l'attuazione delle direttive comunitarie nel settore delle telecomunicazioni [20].

Va poi osservato che la banda a 900 MHz assegnata dalla CEPT al GSM (890–915 MHz e 935-960 MHz, standard P-GSM) non era nel 1994 completamente libera perché occupata per buona parte dal Sistema TACS ed in piccola misura dal Cordless CEPT. Dei 2*25 MHz previsti in tecnica FDD, solo poco più di 2*11 MHz risultavano liberi. Questo condizionò inevitabilmente le possibilità di maggiore competizione (più di due operatori) per un lungo periodo di tempo, ma anche la possibilità per ciascun operatore di adeguarsi facilmente e senza costi aggiuntivi ad un mercato che ben presto si dimostrò esplosivo.

Così Telecom ed Omnitel ricevettero, nel 1994, ciascuna 2*5,4 MHz nella banda a 900 MHz e con questa capacità dovettero sopravvivere alla crescente domanda sino al 1997 quando l'occupazione del TACS nella banda GSM fu ridotta da 12,6 a 6,8 MHz, rendendo così possibile allocare altri 2*8,2 MHz, sia a TIM (Telecom si divise in Telecom Italia e Telecom Italia Mobile, TIM, nel Luglio del 1995) che ad Omnitel.

A fine 1997 in Italia si potevano contare 11,5 milioni di clienti del servizio radiomobile [21]. La crescita della domanda era andata al di là di qualunque previsione ed entrambi gli operatori necessitavano della disponibilità di nuovi canali. Vista l'indisponibilità della banda a 900 MHz e l'impossibilità a spostare il TACS su bande adiacenti, ma coerentemente con quanto stava già avvenendo anche in altri mercati europei, la soluzione condivisa tra le parti in causa, incluso il Ministero, fu l'adozione dello standard GSM/DCS 1800 operante nella banda 1710-1785 MHz, 1805-1880 MHz.

La soluzione prospettata andava incontro a molteplici esigenze. Non solo rendeva possibile agli operatori GSM già in esercizio di ampliare la capacità per soddisfare con un grado di qualità soddisfacente la crescente domanda, ma consentiva anche di introdurre il terzo gestore.

Analogamente al caso della banda dei 900 MHz, anche la banda a 1800 MHz designata dalla CEPT per i servizi GSM/DCS non era completamente libera, perché occupata dal Ministero della Difesa. In attesa di un graduale rilascio delle frequenze al Ministero delle Comunicazioni, dove non poté la

tecnica, agì la fantasia italiana. Nel marzo 1998 [22], il Ministero delle Comunicazioni rendeva immediatamente disponibili 20 dei 45 MHz previsti a standard DCS 1800 per la copertura dei primi 8 capoluoghi di provincia; questi 20 MHz sarebbero diventati 30 MHz a partire dal 1 novembre 1998; i totali 30 MHz sarebbero stati utilizzabili, a partire dal 1 luglio, su tutti i capoluoghi di regione e, a far data dal 1 luglio 2000, su tutto il territorio nazionale [23]. Il 4 aprile 1998 la Presidenza del consiglio dei Ministri pubblicò le misure per il rilascio di una licenza individuale per l'espletamento del servizio radiomobile pubblico DCS 1800 [24]. Alla gara parteciparono tre consorzi: Wind, Picienne e Telon. La gara contemplava anche la possibilità di ottenere l'assegnazione di 4,8 MHz nella banda a 900 MHz. Il 9 giugno 1998 venne comunicata la vittoria del consorzio Wind a cui venne assegnata la licenza GSM-1800 e GSM-900 in data 30 giugno 1998.

Il decreto del marzo 1998 [22] contemplava ancora la possibilità che si liberassero altri 15 MHz a partire dal 1 gennaio 2002 e che 5 MHz di questi fossero destinati a nuovi operatori (invero troppo pochi per operare su un lungo periodo). Ma in realtà né i tempi di attuazione proposti né lo spezzatino ottenuto sulle bande dei 900 MHz e dei 1800 MHz erano veramente soddisfacenti. Il Ministero delle Comunicazioni avviò dunque un tavolo di trattative con lo Stato Maggiore della Difesa e gli Operatori per addivenire ad un nuovo accordo che consentisse di liberare le frequenze anticipatamente su tutto il territorio nazionale entro il 30 giugno 1999. L'accordo ridefinì la allocazione delle risorse frequenziali sulle due bande in maniera più efficiente tra i tre operatori GSM e consentì, inoltre, di liberare 10 MHz sulla banda a 1800 MHz a far data dal 1 luglio 1999 ed ulteriori 5 MHz a partire dal 1 gennaio 2002 [25].

Vi erano dunque tutti i presupposti per poter mettere a gara la quarta licenza GSM [26]. Cosa che avvenne lo stesso anno con l' aggiudicazione da parte della società BLU che entrò in servizio commerciale nel maggio 2000.

Le Carte prepagate

La flessibilità architetturale e funzionale introdotta dal GSM consentì da subito di lanciare servizi veramente innovativi quali la carta prepagata.

Il segmento delle carte prepagate ricaricabili, introdotte per la prima volta in Portogallo nell'autunno del 1995, è stato quello che ha esibito la crescita più intensa nel 1997 in Europa. Da meno di un milione alla fine del 1996 gli utenti con carte prepagate sono passati in un anno a più di sette milioni (Salomon Smith Barney 1998) e alla fine del 1998 il 25% degli utenti di servizi cellulari era servito con la formula della carta prepagata.

La crescita del segmento prepagato, esplosiva in Portogallo e in Italia, si è pian piano estesa a tutta l'Europa: nel secondo semestre del 1997, per esempio, il 40% dei nuovi sottoscrittori in Gran Bretagna, paese dove le carte prepagate hanno guadagnato terreno più

lentamente, sceglie la formula del prepagamento. L'Italia nel 1997 contava il 20% del totale degli utenti europei del servizio cellulare e l'80% dei sottoscrittori di carte prepagate. Nel nostro Paese le carte prepagate ricaricabili sono state introdotte da TIM nell'autunno del 1996 e da Omnitel nel 1997.

Il successo delle carte prepagate va collegato soprattutto alla percezione di "controllo" del consumo e quindi della spesa. Il prepagamento viene percepito dal cliente come lo strumento per controllare, nel corso del tempo, la propria spesa in telefonia mobile.

Una tale possibilità ha un valore ancora maggiore per chi accede per la prima volta al servizio ed è incerto circa le implicazioni sul proprio bilancio dell'utilizzo del telefono mobile.

Coerente con il soddisfacimento di questo bisogno di controllo della spesa è l'assenza, nei piani tariffari applicati alle carte prepagate, del canone mensile, che rafforza la sensazione di "pagare solo quando si usa" il servizio.

Nel caso italiano, inoltre, le carte prepagate godono anche di una rilevante agevolazione fiscale, in quanto sono esentate dal pagamento dell'imposta che grava invece sui contratti di abbonamento.

L'attrattiva di questa opzione per gli utenti a basso utilizzo diventa evidente se si considera che essa rende praticamente nullo il costo che l'utente deve sostenere per "essere reperibile", al netto dell'acquisto del terminale.Un elemento ulteriore, secondo alcuni tra i fattori determinanti del successo di tale formula, è la sensazione dell'"anonimato" e di "privacy" a essa associata: il cliente infatti non riceve alcuna bolletta periodica e ciò alimenta la percezione di non essere "ancorato a" o "controllabile da" alcuno specifico fornitore.

Se la progressiva familiarità dei consumatori con il servizio di telefonia mobile, insieme al suo riposizionamento nella loro percezione da bene "di lusso" a bene necessario, portano a ritenere che il successo della formula della carta prepagata possa essere un fenomeno temporaneo, tuttavia non vi sono segnali al presente di una inversione di tendenza da questa formula in favore del tradizionale abbonamento.

Infine, la formula del prepagamento può costituire un importante strumento di segmentazione del mercato se unita ad altri elementi dell'offerta : in Portogallo per esempio, dove tale formula ha riscosso grande successo, il prepagamento è stato offerto in un piano rivolto ai bambini (vitamina K) in combinazione con la restrizione a sei numeri, prescelti dai genitori, per le chiamate effettuate dal cellulare.

Evoluzione del mercato e dei servizi: dalla voce ai servizi multimediali

Dalla voce ai servizi multimediali

La mobilità è un po' il sogno di poter fare "in ogni luogo, in ogni momento" comunicazione, business ed entertainment così come facciamo tutto questo a casa o in ufficio.

Così quando la telefonia era solo un telefono sulla scrivania o forse solo un oggetto appeso alla parete di casa, "mobilità' voleva dire, semplicemente, poter realizzare un sistema che consentisse di poter essere rintracciati durante gli spostamenti in auto e di poter fare telefonate come dall'ufficio. E questa era un'esigenza sentita meramente dai top manager ed in genere dai Vip.

Alla fine del 1983 si valutava attorno a 450.000 il numero di utenti mobili in tutto il mondo. In Italia, ve ne erano circa 5.000 [27]. Tuttavia già da allora si intravedeva una tendenza alla crescita della domanda (si stimavano 20 milioni di clienti in Europa Occidentale nel 2000) dominata da un crescente numero di persone che consideravano l'impiego del telefono in automobile come indispensabile per il proprio lavoro (pari al 25% della intera domanda europea). Per l'Italia, la stima della potenziale domanda per il 2000 era compresa tra 700.000 e 3 milioni di clienti [27].

Il modo di lavorare ed il costume degli Europei Occidentali, come pure i loro bisogni, stavano cambiando radicalmente in un momento di ripresa economica dopo gli anni della crisi del petrolio. Si andava sempre più affermando come esigenza del business il bisogno di scambiarsi informazioni in maniera semplice e rapida. E così in questo contesto prolificarono i fax, si svilupparono i sistemi di inoltro dei messaggi e si incominciò a parlare di servizi supplementari. Il piano nazionale delle TLC per il decennio 1985-1994 ne definiva una lista completa tra cui: gruppo chiuso di utenti, identificazione della linea chiamante e chiamata ed audioconferenza.

Il sogno della mobilità si andava dunque arricchendo di nuovi elementi e conseguentemente questo spinse verso nuovi sistemi in grado di soddisfare le nuove esigenze della domanda. In ambito SIP già nel 1985 si parlava di servizi non telefonici di interesse per utenti radiomobili quali : servizio di avviso, servizio di dispaccio, telex, servizio fac-simile.

Gli obiettivi dello standard paneuropeo GSM ben interpretarono queste esigenze della domanda, come è già stato ricordato nel capitolo precedente.

Parallelamente anche il mercato ICT stava crescendo, sino ad esplodere per poi ridimensionarsi. Ed inevitabilmente tutto ciò ebbe un grandissimo effetto sulla diffusione dell' informatica nel mondo del lavoro (workstation, PC ecc) e nella società civile sia in Oriente che in Occidente.

In particolare, il mondo del lavoro si arricchì velocemente di una nuova dimensione, Internet, e quei rapidi cambiamenti già osservati ad inizio anni '80, si ripetono a metà degli anni '90 seguendo sicuramente un percorso di trasformazione (elettromeccanico -> elettronico; la e-mail prende il posto del fax) ma anche introducendo nuovi servizi al servizio del mondo degli affari (e-business per esempio) e del mondo dell'intrattenimento e della informazione: nasceva l'era multimediale. E questo creò ovviamente nuove opportunità di business cui guardarono con interes-

se anche il mondo degli operatori radiomobili.

L'idea di un sistema radiomobile universale nasce proprio in quegli anni : è il WARC del 1992 che identificò nella banda attorno ai 2 GHz le frequenze più idonee per i sistemi di terza generazione e che diede ufficialmente il via agli studi che successivamente porteranno alle specifiche del sistema UMTS.

Appare dunque naturale che questo nuova idea di sistema si sia fatta promotore della comunicazione multimediale in mobilità, in maniera tale da arricchire la comunicazione da persona a persona con immagini di alta qualità e video, come pure abbia promosso l'accesso in mobilità alle reti private e pubbliche ad elevate velocità di trasmissione dati.

Tuttavia, l'UMTS era il sistema degli anni 2000, troppo lontano per rispondere al crescente bisogno di traffico dati a velocità comparabili con quelle dei modem V52 e per consentire al mercato di "saggiare" le prime applicazioni di accesso ad Internet in mobilità. Questi obiettivi di breve periodo entrarono a far parte dei servizi delle reti della cosiddetta 2.5 G con due tecnologie: il WAP ed il GPRS.

Il WAP (wireless application protocol) rappresentò la prima soluzione per accedere alla rete in mobilità direttamente dallo stesso terminale usato per telefonare. Fu Omnitel la prima ad entrare sul mercato con un'offerta natalizia di telefonini WAP nel 1999. Sarà poi seguita a maggio 2000 da TIM ed infine dagli altri Operatori. In realtà, anche in Italia, la comparsa dei telefoni WAP si accompagnò ad un crescente scetticismo sulle reali possibilità di questo sistema. Il primo motivo risiedeva nella necessità di riscrivere i siti Internet utilizzando il linguaggio WML per renderli visibili da ogni dispositivo WAP. Il secondo motivo stava nella lentezza della rete.

Le difficoltà legate alla necessità di duplicazione dei siti non sono state mai veramente superate ed ancora oggi il numero di siti WAP risulta particolarmente esiguo. TISCALI, ad esempio, ne riporta una lista inferiore a 50 unità. Differentemente, le difficoltà derivanti da una velocità di trasmissione limitata (connessione a circuito a 9,6 o 14,4 kbps) poterono essere superate con l'introduzione del GPRS. Il GPRS è una evoluzione del GSM che, modificandone parte della interfaccia radio, introduce la trasmissione a pacchetti con possibilità di ottenere su questa interfaccia bit rate elevati superiori a 60 Kbps.

Le modifiche richieste per l' introduzione in rete del GPRS resero necessari per tutti gli operatori mesi e mesi di rollout ed ancora tanto tempo per la prova in campo di tutte le funzionalità.

TIM inizio il "field trial" nell'aprile del 2000 per lanciare il servizio per le aziende nel marzo del 2001. Omnitel, che stava per diventare Vodafone, iniziò la sperimentazione tecnico-commerciale a fine 2000, coinvolgendo circa 500 aziende, e a giugno del 2001 fu pronta a lanciare il servizio commerciale. A differenza di TIM ed Omnitel che

avevano messo a disposizione il GPRS solo ai clienti business, WIND aprì il servizio commerciale anche ai consumer sin dal lancio avvenuto nell'aprile del 2001. Infine BLU presentò i primi servizi basati su GPRS a settembre del 2001.

Il successo degli SMS

Un caso di straordinario successo, non preventivato, è stato lo sviluppo del servizio SMS, i cosiddetti "messaggini", che sono diventati anche un fenomeno di costume diffusissimo soprattutto nell'utenza giovanile.

Il termine SMS (acronimo dell'inglese Short Message Service) è comunemente usato per indicare un breve messaggio di testo da un telefono cellulare ad un altro ad un costo esiguo.

Molto si è discusso quando è nato il primo SMS, ma è abbastanza verosimile che il primo SMS della storia sia stato inviato nel Dicembre 1992 da un computer ad un cellulare sulla rete GSM Vodafone inglese. Il servizio ha incominciato a diffondersi nei primi mesi del 1997 ed in Internet con l'invio gratuito dei messaggi di testo verso i cellulari finchè gli operatori telefonici si accordarono per una tariffa di interconnessione provocando la scomparsa degli SMS da Internet gratuiti.

Le ragioni del successo risiedono essenzialmente sulle modalità di comunicazione del messaggino: basso costo rispetto ad una lunga telefonata (vantaggio spesso virtuale per lo scatenarsi del meccanismo di risposta alternato), comunicazione di tipo asincrono, cioè possibilità di leggere il messaggio in tempi diversi; invio a più destinatari, utile per ricorrenze, ed infine un approccio comunicativo più discreto e semplice.

Il diffondersi del servizio ha instaurato una nuova sintassi comunicativa adatta alle limitazioni di caratteri massimi da inviare di 160 caratteri testo con una dimensione fissa di 140 byte (in lingue che usano altri caratteri rispetto all'alfabeto latino quali per esempio il russo, il cinese ed il giapponese, il messaggio è limitato a soli 70 caratteri). Ciò ha comportato una modifica della comunicazione scritta come l'uso di caratteri alfanumerici ad esempio "6" per "sei", la "k" come"cc". Questo fenomeno, entrato di forza nella lingua, è esteso a tutte le lingue. Ad esempio in inglese si stanno diffondendo acronimi senza vocali "txt msg" per text message. In Russia curiosamente si usa l'alfabeto latino anziché il cirillico ed anche in Cina si assiste ad un fenomeno del genere. L'uso veloce poi dei messaggi ha fatto sviluppare dei vocabolari ad hoc (dizionari T9) che cercano di indovinare la parola che si vuole digitare per ridurre i tempi.

Da un punto di vista puramente trasmissivo, che peraltro è stato il fattore di successo tecnico del SMS, le unità dati del messaggio SMS vengono inserite nei canali di controllo del GSM in modo da rendere possibile sia ricevere od inviare un messaggio durante la conversazione. I messaggi poi sono inviati ad un Centro Servizi (SMSC) che si occupa a sua volta di inviarlo al terminale opportuno o al centro servizi del

gestore del destinatario. Scopo poi del SMSC è di fare lo store and forward dei messaggi in previsione della irrangiungibilità del destinatario. Lo sviluppo è intenso, il traffico dei messaggini in continua ascesa con oltre nel 2004 500 Miliardi di SMS al mondo. Ciò ha consentito di sviluppare ulteriori servizi dando non solo una connotazione di comunicazione interpersonale per gli SMS, ma altresì di invio informazioni in modalità quasi broad casting quali oroscopi, previsioni del tempo, suonerie, loghi e anche altri servizi quali preferenze in trasmissioni televisive o radiofoniche.

Un uso nato nel 2005 in ambito sociale è quello dello SMS Solidale per effettuare donazioni ad enti senza fini di lucro o organizzazioni umanitarie. A tale scopo viene attivato, per un periodo limitato di tempo, un numero telefonico speciale verso il quale inviare gli SMS ad un importo di molto superiore al costo del messaggio che viene poi devoluto alla fondazione.

Le possibilità dei servizi sono in crescita anche con l'utilizzo degli MMS (messaggi Multimediali) ed il mercato è aperto a scoprire nuove applicazioni.

Il sistema radiomobile a standard universale

L'assegnazione delle licenze ed il contesto nazionale ed internazionale

Il regolamento per il rilascio delle licenze per i sistemi di terza generazione fu approvato e pubblicato il 22 dicembre 1999 [28]. Il regolamento, anche alla luce della consultazione pubblica e delle decisioni adottate in altri paesi della Comunità Europea, suggeriva l'assegnazione di cinque licenze a cinque gestori, tra cui almeno un nuovo entrante, e ad ogni licenza un'allocazione di almeno 2*10 MHz nello spettro simmetrico e 5 MHz nello spettro asimmetrico. Il Comitato dei Ministri approvò il disciplinare ed il bando per la gara alla fine di luglio 2000.

La pubblicazione del bando di gara arrivò in un contesto nazionale ed internazionale di pura euforia: basti pensare ai 98,8 miliardi di marchi spesi per l'assegnazione di 6 licenze ad Agosto nella sola Germania ed ai totali 200.000 miliardi di Lire spesi in Europa, escludendo Italia e Francia.

Un altro sintomo di interesse ed euforia, al tempo stesso, era rappresentato dall'alto numero di consorzi che nei mesi precedenti la gara si andarono formando e disfando in Italia.

E.BISCOM con FFSS diedero vita a maggio a DIX.IT che poi confluì a luglio in IPSE, ma che comunque, alla fine, si ritrovò senza E.BISCOM. Il 18 luglio nasceva TU Mobile, un'associazione temporanea di impresa tutta catanese. Tiscali entrava in Andala partecipata al 51% dai cinesi di Hutchison Whampoa.

Alla fine presentarono la domanda ben otto pretendendenti : TIM, Omnitel, Wind, Blu, Andala, IPSE, TU Mobile ed Anthil (consorzio di una decina di piccole e medie aziende del Mezzogiorno che si era creato solo qualche giorno prima 25 luglio) [29,30]. Ma, in Ottobre, furono ammesse alla gara d'asta

solo sei candidati (TIM, Omnitel, Wind, Blu, Andala e Ipse).

La gara si chiuse il 27 ottobre 2000 con un risultato economico per lo Stato Italiano di 26.750 miliardi di lire (circa 13,5 milardi di euro) e con l'assegnazione delle licenze a cinque operatori (TIM, Omnitel, Wind, Andala e Ipse). BLU si era ritirata durante lo svolgimento della gara. Andala successivamente prese prima il nome di H3G e poi semplicemente 3 Italia.

Il regolamento prevedeva la disponibilità delle frequenze a partire dal 1/1/2002. Inoltre, i vincitori erano vincolati dal regolamento a specifici obblighi di copertura: copertura di tutti i capoluoghi di regione entro 30 mesi dall'1/1/2002 e copertura di tutti i capoluoghi di provincia entro i successivi 30 mesi.

Visti questi obblighi, tutti gli operatori partirono subito a spron battuto nella realizzazione della rete, anche se IPSE, in realtà, rimase sempre un po' a guardare in attesa di risolvere i problemi in seno al suo azionariato. Telefonica e Sonera, soci di maggioranza, decisero definitivamente il disimpegno nel consorzio IPSE nel settembre del 2002 ed IPSE 2000 chiuse la sua avventura lasciando aperta, da allora, la disputa sulla destinazione delle frequenze che comunque aveva acquistato.

L'euforia che precedette il disciplinare ed il bando di gara fu anche accompagnata da tutta una serie di importanti discussioni: se far entrare gli operatori virtuali da subito; se introdurre o meno criteri differenzianti per i nuovi entranti; a cosa destinare i proventi della gara; come garantire la realizzazione delle reti in un contesto di crescente ostilità da parte dei cittadini verso tutte le sorgenti di campi elettromagnetici (e.m.). Alcune di queste questioni trovarono subito una risposta, per altre si dovette attendere.

La questione degli operatori virtuali fu risolta decidendo di ritardarne l'ingresso di 8 anni. Per i nuovi entranti furono rese disponibili due porzioni di banda simmetrica ciascuna della ampiezza di 2*5 MHz [31].

Differentemente dalle altre questioni, quella della garanzia della realizzazione delle nuove reti fu risolta solo dopo circa due anni. La questione muoveva da due considerazioni. La prima, di natura principalmente tecnica, era legata al grosso numero di nuove installazioni previste dalla globalità degli Operatori. La seconda era legata sia al clima di ostilità ed ai timori nei confronti delle installazioni di SRB, sia, ancora una volta, alla carenza legislativa in ambito di radio protezione.

Relativamente al primo punto, la banda scelta per le reti di terza generazione (2,1 GHz) presenta grosse perdite di propagazione, specie in ambiente urbano. Questo comportò necessariamente un aumento della densità dei siti per Km^2. Se rapportato al caso del GSM, il numero di siti UMTS necessari (per offrire il servizio voce, videotelefonia e dati a pacchetto a bit rate inferiori a 384 Kbps) è, infatti, pari a circa 1,5 volte.

Tutti gli operatori già in esercizo (TIM, Vodafone Omnitel, Wind) produssero piani di rollout con forte riutilizzo

delle postazioni già esistenti, ma fu inevitabile ricorrere a nuove installazioni specie presso i clienti più importanti quali aziende e professionisti. Inoltre anche nel caso della collocazione delle apparecchiature UMTS con quelle già presenti GSM, era necessario ripresentare i permessi urbanistici quando si modificava la struttura del sistema radiante e, comunque, occorreva presentare in ogni caso i permessi sanitari alla esposizione da campi elettromagnetici: dunque, un forte impatto anche sul tessuto sociale.

Relativamente al secondo punto, è opportuno ricordare che la prima legge italiana introdotta a regolare la esposizione della popolazione (civile) ai campi elettromagnetici fu il Decreto 381/98 [32]. Questa legge, sebbene introdusse limiti di esposizione ben più restrittivi di quelli vigenti nella Comunità Europea, fu il primo esempio di regolamentazione certa. Tuttavia, dando genericamente alle regioni ed alle provincie la disciplina dell'installazione e la modifica degli impianti [cfr 32 , art 4], il decreto lasciò un vuoto legislativo enorme in mancanza di una legge quadro che, a priori, stabilisse gli ambiti di competenza dello stato e delle amministrazioni locali. Sicuramente il contesto e le grandi risorse poste in gioco con la gara per l'assegnazione delle licenze di terza generazione agirono quale spinta propulsiva sull'apparato legislativo che produsse nel febbraio 2001 la auspicata legge quadro (36/2001) [33] e successivamente, nel 2002, il DL 198/2002 [34]. Quest' ultimo conteneva finalmente le disposizioni volte ad accelerare la realizzazione delle infrastrutture di telecomunicazioni che venivano riconosciute strategiche per la modernizzazione e lo sviluppo del Paese. Il decreto, inoltre, individuava le infrastrutture delle reti radiomobili come opere di interesse nazionale e le assoggettava ad un regime di autorizzazione per certi versi semplificato. Le direttive comunitarie, infine, furono recepite solo nel 2003 nel "codice delle comunicazioni elettroniche" [35]. Ciò nonostante, perdurano ancora oggi difficoltà nella realizzazione delle infrastrutture di rete.

Il lancio. Il 3 marzo 2003, 3 Italia lanciò i suoi servizi commerciali con una copertura del 59% della popolazione e chiuse l'anno con 330 mila clienti.

Nel 2004, ancora 3 Italia lanciò la Tv UMTS con una copertura 3G pari al 75% della popolazione e raggiunse 3 milioni di clienti a fine anno.

Vodafone Italia lanciò il 12 Febbraio 2004 il servizio commerciale con la Data Card. Ma il vero lancio avvenne, per tutto il gruppo, il 10 Novembre del 2004 in contemporanea in 13 Paesi : Austria, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Italia, Paesi Bassi, Portogallo, Spagna, Svezia, Svizzera, Gran Bretagna e Giappone.

TIM lanciò Edge nell' Aprile 2004. Non ci sarà mai un vero lancio UMTS. Ad ottobre partì TIM Turbo che offriva dual mode EDGE/UMTS.

Wind propose la prima offerta commerciale nell'ottobre 2004, riservata ai soli clienti business con contratto aziendale. A partire da dicembre 2005,

l'offerta fu estesa anche ai clienti consumer.

A quattro anni dall' introduzione dei primi servizi 3G sul mercato, è forse presto per fare un bilancio definitivo. I costi elevati e, quindi, il basso tasso di penetrazione dei terminali compatibili con tecnologia UMTS hanno sicuramente condizionato il mercato e l'offerta di servizi, incidendo in maniera non positiva sul reale traffico dati e multimediale che, nelle stime, era forse troppo ottimista relativamente ai primi anni di vita del 3G. Il recente lancio della tecnologia HSxPA, che consente di aggiornare l'interfaccia radio UMTS con l' introduzione di canali radio a pacchetto ad elevata velocità, ha però inferto a questa tendenza un deciso cambiamento in positivo con significativi incrementi dei ricavi da traffico dati [36,37].

Conclusioni

Abbiamo cercato di ripercorrere questa storia ancora aperta sapendo a priori che non potevamo essere esaustivi in ogni suo punto. Abbiamo avuto il privilegio di essere partecipi dei momenti descritti e questa circostanza ci ha guidato nella selezione degli avvenimenti raccontati. È sicuramente una storia complessa, fatta di innovazione, competenze, mercato e regole istituzionali in una mescolanza, a volte difficile da separare, di grande spessore ed interesse non solo scientifico ma anche sociale: il telefonino ha cambiato la vita. Ma è anche la storia delle persone che hanno fatto del radiomobile in Italia un caso di straordinario successo.

E tra queste persone gli ingegneri, ma soprattutto i giovani ingegneri, hanno avuto un ruolo da protagonisti. E' ad essi che dedichiamo questo nostro lavoro.

Bibliografia

1. G. Pagni, *Considerazioni Generali sui servizi radiomobili*, XVII Congresso Internazionale per l'Elettronica, Roma, 1970.

2. W.C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, 1974.

3. Il sistema Radiomobile Pubblico Italiano: progettazione, realizzazione ed esercizio, Seminario della Scuola Superiore G. Reiss Romoli, AT 96, giugno 1985.

4. C. Colavito, *Introduzione al seminario,* dalle dispense del seminario [3].

5. R.Failli, *Stato Attuale del Servizio Radiomobile Pubblico*, Relazione presentata al Convegno "Servizi Radiomobili Terrestri", Pontecchio Marconi, 2-3 luglio 1981.

6. R. Failli, *Sistema Radiomobile Pubblico di Conversazione di Seconda Generazione*, dalle dispense del seminario [3].

7. F. Grimaldi, V. Zingarelli, *Sistemi Radiomobili Cellulari*, Scuola Superiore G. Reiss Romoli, 1993.

8. ANSA 08/10/2005 14:45, *Tlc: addio vecchio Tacs, dopo 15 anni va in pensione*.

9. T. Ojanperä, R. Prasad, *Wideband CDMA for third Generation Mobile Communications*, Artech House Publishers, 1998.

10. M. Sentinelli, *Il servizio Radio Mobile Pubblico PanEuropeo Tappa fondamentale verso la Telefonia Personale*, XXXV Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Ottobre 1987.

11. Proceedings of Digital Mobile Radio Seminar – Stoccolma, 1986.

12. ETSI-GSM, *Technical Specifications*, disponibili sul sito www.3gpp.org.

13. C. Eynard, F. Panaioli, E. Turco, *Funzioni di rete e procedure di segnalazione nel sistema radiomobile cellulare pan-europeo,* XXXV Convegno Internazionale delle Comunicazioni, Ottobre 1987.

14. Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, *Indagine conoscitiva nel settore della radiotelefonia mobile cellulare e relativa delibera con conclusioni (n.1265) pubblicata nel bollettino anno III – n.14*, 12 luglio 1993.

15. Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, *Provvedimento n. 1532 (A55) Sistema Telefonia Cellulare GSM*, Bollettino n. 14/1993 del 22/06/1993.

16. Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, *Provvedimento n. 1239 (A55) Sistema Telefonia Cellulare GSM*, Bollettino n. 32/1993 del 28/10/1993.

17. Decisione 95/489/CE della Commissione del 4 ottobre 1995 relativa alle condizioni imposte al secondo gestore della radiotelefonia GSM in Italia.

18. DPR 2 dicembre 1994, *Approvazione della convenzione stipulata tra il Ministero delle poste e telecomunicazioni e la Omnitel Pronto Italia S.p.a. per l'espletamento del servizio radiomobile di comunicazione con il sistema in tecnica numerica denominato GSM*, Gazzetta Ufficiale n.ro 13, 31 gennaio 1995.

19. DPR 22 dicembre 1994, *Approvazione della convenzione stipulata tra il Ministero delle poste e telecomunicazioni e la Telecom S.p.a. per la realizzazione e la gestione della rete per l'espletamento del servizio in tecnica numerica GSM* , Gazzetta Ufficiale n.ro 13, 31 gennaio 1995.

20. Decreto del Presidente della Repubblica 19 settembre 1997, n. 318, *Regolamento per l'attuazione di direttive comunitarie nel settore delle telecomunicazioni*.

21. Omnitel Vodafone, *Bilancio consolidato al 31 marzo 2001*.

22. Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni, Decreto 25 marzo 1998, n. 113, *Regolamento recante norme per la copertura degli oneri derivanti al Ministero della Difesa a seguito di modifiche al piano nazionale di ripartizione delle radiofrequenze*.

23. Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni, Decreto 1 aprile 1998, *Numero delle licenze rilasciabili per il servizio di comunicazione numerico DCS 1800*.

24. DPCM 4 aprile 1998, *Misure atte a garantire condizioni di effettiva concorrenza nel mercato delle comunicazioni mobili e personali*.

25. Ministero delle Poste e delle Telecomunicazioni, Decreto n.ro 20/99 del 22 marzo 1999, *Riesame del numero di licenze rilasciabili per il servizio di comunicazione numerico GSM (DCS) 1800*.

26. Ministero delle Poste e delle Tele-

comunicazioni, Deliberazione 9 giugno 1999, *Misure atte a garantire condizioni di effettiva concorrenza nel mercato delle comunicazioni mobili e personali da parte di tutti gli operatori e criteri e modalità per l'assegnazione delle frequenze*.

27. C. Colavito, C. Rudilosso, *I sistemi Radio Mobili Cellulari: prospettive di mercato e caratteristiche tecniche*, dalle dispense del seminario [3].

28. Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, Delibera n.410/99, *Regolamento relativo alla procedura di autorizzazione per il rilascio delle licenze individuali per i sistemi di comunicazioni mobili di terza generazione*.

29. Archivio News sito Telefonino.net

30. Archivio News sito PianetaCellulare.it

31. Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, Delibera n. 1/01/CONS, *Assegnazione delle frequenze per i sistemi di comunicazioni mobili di terza generazione*.

32. Ministero dell'Ambiente, Decreto 10 settembre 1998, n.ro 381, *Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana*.

33. Legge 22 febbraio 2001, n.36, *Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*.

34. Decreto Legislativo 4 settembre 2002, n. 198, *Disposizioni volte ad accelerare la realizzazione delle infrastrutture di telecomunicazioni strategiche per la modernizzazione e lo sviluppo del Paese*.

35. Decreto Legislativo 16 settembre 2003, n. 259, *Schema di decreto legislativo di recepimento delle direttive 2002/19/CE, 2002/20/CE, 2002/21/CE e 2002/22/CE, recante il codice delle comunicazioni elettroniche*.

36. Vodafone Italia: semestrale al 30 settembre 2007, *Nota del 13 novembre 2007*.

37. Telecom Italia: approvati i risultati al 30 settembre 2007, *Comunicato Stampa sul sito della società*.

Antonio Coppola

La sicurezza stradale per una mobilità responsabile

La comparsa sulla scena europea, agli inizi dell'Ottocento, dei primi veicoli meccanici azionati a vapore fu accolta da uno stato di preoccupazione. In Gran Bretagna, infatti, tra il 1839 ed il 1865 furono emanate alcune leggi per limitare la circolazione di tali mezzi in quanto pericolosi per le persone e deleteri per le strade che potevano essere rovinate dal loro eccessivo peso. Addirittura ogni macchina circolante sulle strade pubbliche inglesi non poteva superare la velocità di 6,5 km/h e doveva essere preceduta da un uomo a piedi che sventolava una bandiera rossa. Il problema della sicurezza ha, dunque, costituito con l'avvento dei primi automezzi stradali, già prima della diffusione dell'automobile, un motivo di ansia in più per chi aveva responsabilità di governo.

I rischi per l'incolumità delle persone sono sorti, contestualmente, e conseguentemente, al progressivo intensificarsi del traffico su ruote che, già a partire dalla fine del XVIII secolo, occupava le strade in modo significativo. Questa nuova realtà, che diventerà più marcata nel secolo successivo, con il diffondersi di carrozze, carri, omnibus e, da ultimi, dei tram elettrici e delle prime autovetture, appare efficacemente testimoniata da un singolare documento storico-letterario. Si tratta di una lettera di Ugo Foscolo, datata 21 febbraio 1798, indirizzata al capo della Polizia di Milano. Nella missiva, redatta subito dopo aver assistito al tragico investimento di un vecchio passante, schiacciato da una carrozza che non si era arrestata per prestare soccorso ("Invano con le grida e con le minacce tentai di arrestare il cocchio omicida; appena ho potuto salvare me stesso…"), il poeta proponeva l'adozione di una serie di drastiche misure contro la guida pericolosa delle carrozze: "Se a me spettasse di fare delle provvidenze, queste e non altre sarebbero le più opportune: 1° porterà una pena pecuniaria, e non potrà più tenere carrozze e cavalli quel cittadino la cui carrozza avesse oppresso, mutilato o morto qualche altro cittadino; 2° la pena pecuniaria, che si dovrà infliggere in ragione della ricchezza del proprietario della carrozza, dovrà ritorcersi a compenso di quella famiglia che avrà in tal caso perduto il padre, il figlio o il marito; 3° ove la carrozza appartenesse ad un vetturino, questi oltre alla pena pecuniaria, dovrà perdere i cavalli e la vettura; 4° pagherà cento zecchini chiunque sarà da due testimoni legali, oculari e contemporanei accusato di avere corso sfrenatamente in città". Foscolo, infine, si congedava osservando "....è vergogna che nella patria di Beccaria, ridivenuta libera, sussistano ancora i delitti della tirannide, e si veggano miseramente perire i cittadini sotto què cocchi ove siedono i già potenti insultando il popolo

pedestre". Pochi anni prima, in Francia, nel 1769 l'ingegnere francese Joseph Cugnot, a bordo della sua invenzione - il triciclo a vapore antesignano delle future automobili - durante il primo giro di prova si schiantò contro un muro riportando vari traumi e gravi danni al veicolo, a causa di un inefficiente sistema frenante.

Le sfide aperte dalla diffusione dei mezzi di locomozione, capaci di ridurre progressivamente i tempi di percorrenza, favorendo i traffici e gli scambi commerciali, suscitarono una immediata attenzione nei confronti della sicurezza. Il risultato di questa sensibilità fu la definizione di regolamenti ad hoc per il corretto uso dei veicoli considerati, a causa della loro velocità, pericolosi, e per l'adeguamento e la realizzazione di strade idonee alla transitabilità dei nuovi mezzi. Prendono il via, così, politiche di lavori pubblici volte a sviluppare il sistema dei collegamenti viari all'interno dei singoli Stati e, parallelamente, attività legislative mirate a disciplinare la circolazione stradale. Successivamente, quando lo sviluppo della motorizzazione imporrà all'attenzione il crescente dramma degli incidenti, la ricerca tecnologica si distinguerà come il settore più reattivo, lucido e capace di dare risposte efficaci per la realizzazione di vetture ed infrastrutture sicure ed affidabili.

Dei tre fattori intorno a cui ruota il fenomeno dell'incidentalità stradale, ovvero l'uomo, la strada ed il veicolo, è quest'ultimo che ha conseguito i migliori risultati in termini di sicurezza. Dall'invenzione dei primi prototipi di automobili brevettati da Enrico Bernardi (1883) e da Gottlieb Daimler e Wilhem Maybach (1889) sono trascorsi circa centoventi anni ed in questo arco temporale le innovazioni introdotte sono state impressionanti, in particolare sul piano del design, del comfort, della meccanica, delle prestazioni, dei consumi e, appunto, della sicurezza. Un progresso continuo in cui spicca il contributo determinante offerto dalla ricerca e dalle attività di carattere ingegneristico. Peccato che a mancare sia stata una strategia unitaria e lungimirante in grado di indirizzare e gestire questo processo di sviluppo che, come vedremo più avanti, ha causato non pochi problemi sociali e ambientali in nome della modernizzazione.

Alla fine dell'Ottocento, dopo l'unificazione, in Italia si contavano appena 111 esemplari di vetture ed una rete viaria di oltre 124mila chilometri di estensione, di cui il 78% costituito da strade comunali ed il restante 22% da arterie nazionali e provinciali. La densità automobilistica nel 1899 era di un veicolo ogni 302.180 abitanti che, dopo soli cinque anni, scenderà ad un'auto ogni 16.771 persone. Nel 1904, infatti, i veicoli in circolazione erano 2.072 e l'estensione stradale era aumentata di altri 13.957 chilometri.

Un impulso allo sviluppo delle vie di comunicazione fu dato in epoca fascista quando l'idea di realizzare autostrade, cioè arterie più adatte alla velocità delle macchine, fu propagandata dal regime come una creazione italiana che avrebbe rinnovato i fasti delle gloriose

consolari romane. Nacquero così l'autostrada Milano-Laghi (1925), la Milano-Bergamo (1927), la Roma-Ostia (1928), la Napoli-Pompei (1929), la Bergamo-Brescia (1931), la Milano-Torino (1932), la Firenze-Mare (1933) e la Padova-Mestre (1933). Complessivamente queste opere comportarono la realizzazione di 458 chilometri di strade a due corsie, non separate, larghe 10 metri di cui 8 pavimentati con lastroni di cemento (una tecnica rivoluzionaria in quegli anni). Parallelamente, cominciò a crescere anche l'industria automobilistica che ruotò prevalentemente intorno a quattro marchi: Fiat, Alfa Romeo, Lancia e Isotta Fraschini. Tuttavia, nonostante i favori della politica di Mussolini, la diffusione dei veicoli era ancora limitata, la più bassa nel mondo industrializzato. Nel 1931, infatti, in Italia circolavano 186.131 automobili: una ogni 163 persone. Gli Stati Uniti, invece, avevano 4,59 abitanti per auto, la Francia e l'Inghilterra 28, la Svezia 42, la Norvegia 61, la Germania 94 e la Spagna 119. Alla fine degli anni Trenta (1938) su un totale di 372.998 veicoli circolanti, compresi anche autocarri ed autobus, si registrarono ben 31.265 incidenti, con 2.490 morti e 35.880 feriti. In pratica, un tasso di mortalità pari a 8 decessi ogni 100 sinistri ed un indice di sinistrosità di 84 incidenti per 1.000 veicoli.

Bisogna, tuttavia, aspettare il periodo del dopoguerra e della ricostruzione per avere statistiche ufficiali attendibili in materia di incidentalità. A metà degli anni '50 il sistema stradale italiano presentava una estesa di 190mila chilometri: 63 km. ogni 100 km^2 di superficie, un rapporto medio fra i più bassi nell'Europa occidentale. In questo periodo le auto in circolazione superarono il milione di unità (1.382.931 è il totale del parco veicoli nazionale), mentre gli incidenti salirono a 167.574, con 6.746 morti e 136.600 feriti. In termini assoluti, il livello di mortalità era nettamente superiore a quello registrato oggi. Ma questo aspetto non costituirà certo un ostacolo per lo sviluppo della motorizzazione. Siamo in pieno boom economico: l'industria automobilistica, grazie all'immissione sul mercato delle cosiddette "utilitarie" che consentirono a milioni di italiani di poter realizzare il grande sogno di possedere l'auto, viene a configurarsi come la locomotiva trainante del sistema produttivo italiano. Lo Stato, nel frattempo, si impegna ad investire nella realizzazione di importanti opere infrastrutturali volte, da un lato, a favorire la viabilità all'interno del Paese e, dall'altro, a migliorare i collegamenti con le nazioni confinanti. Nel 1956 viene inaugurata l'Autostrada del Sole, un percorso di oltre 700 chilometri che costituirà la cerniera di congiunzione tra il Nord ed il Sud dell'Italia, e più tardi sarà la volta dei trafori sulle Alpi occidentali (Gran San Bernardo di 6 km. e Monte Bianco di 12 km).

Fu proprio la crescita della motorizzazione a caratterizzare il periodo: basti pensare che nell'arco di un decennio dal 1960 al 1970 la densità automobilistica passa da 21 a 4,9 abitanti per auto. Le auto in circolazione, prima della crisi petrolifera del 1973, sono oltre 13 milio-

ni, mentre la rete stradale italiana sfiora i 290mila chilometri di estensione. Sul piano dell'incidentalità, il 1971 rappresenta l'anno da dimenticare: 183.302 sinistri, 10.104 morti e 244.493 feriti.

A metà degli anni settanta, sull'onda emotiva dello "shock" del 1973, si registrò un brusco arresto delle costruzioni che durò sino al 1982, anno in cui venne varato il "Piano decennale per la viabilità". A metà degli anni Ottanta la rete stradale non superava i 300mila chilometri e restava inferiore a quella dei paesi più sviluppati, mentre la densità automobilistica era tra le più elevate con 2,5 vetture per abitante. In assenza di un piano che consentisse il potenziamento di altre vie di comunicazione, soprattutto quelle su ferro, alternative alla rete stradale, in Italia ha finito col prevalere la modalità su gomma. I trasporti automobilistici predominano su tutti gli altri: basti pensare che oggi oltre l'80% delle merci circola su strada e le ferrovie trasportano quasi esclusivamente merci con un basso valore del rapporto prezzo/volume in quanto queste non richiedono grande elasticità nei tempi e nella capillarità della consegna.

A destare preoccupazione, però, è lo stato della cosiddetta viabilità ordinaria, soprattutto, ma non solo, urbana, dove, come rilevano le statistiche Aci-Istat, si verificano il maggior numero di incidenti e di vittime.

Il problema della sinistrosità stradale si impone, così, per la tragicità delle sue conseguenze. In trent'anni dal '69 al '98, perdono la vita, per questo motivo, oltre 300.000 persone, un terzo delle quali di età compresa tra 15 e 29 anni. Pesante è il bilancio anche sotto il profilo dei costi sociali patito dalla collettività per queste tragedie: nel 1979, tale "voce" era di poco superiore ai 4mila miliardi di lire, dopo un quarto di secolo raggiungerà la considerevole entità di 34 miliardi di euro (oltre 65mila miliardi di lire).

Sebbene rilevante sin dagli albori della motorizzazione, il problema della incidentalità stradale, con le sue tragiche e costose conseguenze, sembra però essere considerato dai più come una inevitabile conseguenza del progresso. Ciò nonostante, non sono mancati i miglioramenti per limitare le negatività di una crescente e incontrollata diffusione dei veicoli a motore. In primis, iniziative di carattere legislativo. Già dai tempi dell'antica Roma, l'incremento dei flussi di traffico rese necessario regolamentare la circolazione stradale. È noto, infatti, che Giulio Cesare nel 45 A.C., un anno prima della sua morte, promulgò la "Lex Iulia Municipalis", una legge di carattere generale sull'organizzazione amministrativa e sociale delle città che comprendeva anche un insieme di regole riguardanti l'accesso e la conduzione dei carri all'interno dei centri abitati. Ai mezzi pesanti, per esempio, era vietato il transito dall'alba fino al pomeriggio inoltrato. I divieti non riguardavano, però, i veicoli adibiti all'igiene dell'urbe, quelli destinati al trasporto dei materiali da costruzione per edifici pubblici o templi per il culto e i carri per il trasporto di sacerdoti e sacerdotesse durante le cerimonie. Insomma, un vero e proprio Codice della strada *ante litteram* nato anche

per cercare di decongestionare Roma, già allora, eccessivamente trafficata.

La prima legge dello Stato Italiano, dopo l'unificazione del 1861, che diede il via ad un nuovo ordinamento stradale risale al marzo 1865. A cavallo tra l'Ottocento ed il Novecento furono emanati diversi provvedimenti per regolamentare la costruzione e sistemazione delle strade sul territorio, in cui furono stabiliti, fra l'altro, dimensioni, pendenze e raggi di curvatura. Si sperimentarono alcuni accorgimenti pratici, come per esempio l'uso del catrame, e fu realizzata la prima Carta d'Italia in scala 1:250.000. In quegli anni videro la luce anche un regolamento per la circolazione delle automobili" (1901) ed un testo più articolato, del 1912, che, in particolare, istituiva l'obbligo della Licenza di Circolazione per condurre l'automobile. Bisogna aspettare il 1923 per vedere la nascita del primo Codice della Strada e cinque anni dopo, nel 1928, l'istituzione della "Milizia della Strada", antesignana dell'attuale Polizia stradale, con il compito di controllare il rispetto delle regole fissate con lo stesso Codice.

La Milizia della strada diventò, nel 1947, il Corpo di specialità al servizio del Ministero dell'Interno che tutti noi oggi conosciamo. I veicoli erano sotto la vigilanza del Ministero dei Lavori Pubblici e, dal 1927, iscritti in un Pubblico registro appositamente istituito e gestito dall'Aci, il Club, che rappresentava gli interessi dell'automobilismo, nato agli albori del secolo scorso ed eretto in Ente morale con un Regio Decreto del 1926.

Alla fine della seconda guerra mondiale nacque il Ministero dei trasporti (in origine c'era solo quello dei lavori pubblici) e nel 1959 entrò in vigore il Decreto del Presidente della Repubblica numero 393, meglio noto come il primo testo unico della circolazione stradale, composto da 147 articoli, oltre i 607 del Regolamento di attuazione. Nel 1968 la Conferenza di Vienna sulla circolazione stradale stabilì criteri comuni per la rilevazione degli incidenti: lo scopo era quello di consentire comparazioni internazionali attendibili (in particolare, si decise che i sinistri da prendere in considerazione dovevano essere solo quelli con danni a persone). Nel 1992 vede la luce il "Nuovo Codice della Strada" tuttora vigente, sebbene più volte modificato ed integrato.

Nei primi cinquant'anni del secolo scorso i vari Stati europei dettarono le regole per la costruzione dei veicoli basate esclusivamente sulle esigenze nazionali. Con l'internazionalizzazione della circolazione stradale e lo sviluppo dei commerci emerge la necessità di elaborare norme comuni per la costruzione dei veicoli e dei rimorchi: nel 1958 un Gruppo di lavoro delle Nazioni Unite, a cui partecipa anche l'Italia, diede vita all'Accordo di Ginevra (1958) che introduceva il principio del mutuo riconoscimento delle omologazioni e dei loro componenti da parte dei firmatari. Nel '98 l'Accordo viene esteso in modo da definire standard mondiali validi anche per Paesi come gli Stati Uniti.

È indubbio, si diceva, che la sicurezza dei veicoli e della circolazione stra-

dale abbia costituito la finalità principale dei regolamenti, di volta in volta, emanati per uniformare le tecniche costruttive di veicoli e infrastrutture. E in questi settori grossi passi in avanti sono stati compiuti, grazie, in particolare, al contributo dell'Ingegneria civile e dei trasporti che ha reso possibile la realizzazione di opere stradali capaci di migliorare le condizioni di mobilità e di autoveicoli con standard di sicurezza sempre più evoluti. Infatti, lo sviluppo della motorizzazione ha portato con sé anche un continuo miglioramento delle caratteristiche costruttive dei veicoli e delle dotazioni di sicurezza a bordo, che possono essere ricondotte a due diverse tipologie di dispositivi: attivi e passivi. I primi riducono la possibilità che l'incidente si verifichi agendo in modo palese o latente sul guidatore, come per esempio l'ABS che evita il bloccaggio delle ruote in frenata mantenendo così le migliori condizioni di aderenza anche su fondi viscidi.

Negli ultimi anni si stanno, fortunatamente, diffondendo anche su vetture medio-piccole i dispositivi di controllo della frenata, della trazione e della stabilità. Altri dispositivi estremamente interessanti sono i sistemi ACC (Adaptive Cruise Control) cioè dei sensori radar che forniscono informazioni agli apparati di bordo del veicolo sulle condizioni di traffico permettendo così l'adeguamento automatico della velocità. I dispositivi passivi sono, invece, quelli che agiscono per limitare le conseguenze di un eventuale incidente, come per esempio le cinture di sicurezza o l'airbag.

Purtroppo, a fronte di questi progressi non c'è stata una politica dei trasporti sistematica, capace di assicurare lo sviluppo coordinato della mobilità in tutte le sue componenti (non soltanto la modalità su gomma), il rispetto del territorio, la tutela della sicurezza stradale e la salvaguardia dell'ambiente. La conseguenza di questa lacuna si è tradotta in un generale degrado del livello di vivibilità, soprattutto, ma non solo, nelle grande città.

L'azione della Comunità europea in questo ambito è stata determinante nell'imporre ai costruttori ed agli Stati membri direttive sempre più restrittive in materia di sicurezza, di emissioni inquinanti e, più in generale, di trasporti. L'obiettivo europeo fissato dal Libro Bianco dei trasporti di dimezzare il numero delle vittime della strada entro il prossimo 2010, rispetto ai dati del 2001, è la nuova sfida a cui sono stati chiamati i Paesi del "vecchio" continente, nella consapevolezza che quello dell'incidentalità stradale è diventato, ormai, un problema di massima priorità, di matrice, innanzitutto, culturale. Per quanti sforzi, infatti, si possano compiere per migliorare strade e veicoli, nessun risultato efficace e duraturo potrà essere raggiunto senza il contributo dell'Uomo che resta la variabile principale della "triade" da cui dipende l'evento sinistroso.

Le statistiche Aci-Istat dimostrano che la causa degli incidenti è prevalentemente imputabile al comportamento dei conducenti di veicoli. Non a caso l'Aci, nel lontano 1988, si impegnò ad organizzare una campagna per la rac-

colta di adesioni ad una proposta di legge ad iniziativa popolare che prevedeva l'insegnamento dell'educazione stradale nelle scuole. Significativo, il nome del primo firmatario: Enzo Ferrari. A dimostrazione che il mondo delle corse era estremamente sensibile a questa problematica, legittimando la velocità solo nell'ambito di regolari circuiti e a bordo di vetture debitamente costruite per competizioni disciplinate da precisi regolamenti sportivi. Anzi, saranno proprio i progressi ottenuti dalla ricerca applicata alle monoposto della "formula uno" ad aprire la strada a dispositivi di sicurezza che, in seguito, verranno montati di serie sui modelli destinati al mercato automobilistico.

La proposta dell'Aci fu accolta ed inserita dal legislatore nel nuovo Codice della Strada varato nel 1992 (articolo 230). Pur tra mille difficoltà, l'educazione stradale è oggi materia obbligatoria d'insegnamento interdisciplinare e, nel frattempo, sono state introdotte nuove norme come la patente a punti ed il patentino per i ciclomotori, sempre su proposte dell'Aci, con finalità più educative che repressive. In questa direzione muovono anche altre due nostre proposte: il foglio rosa a 16 anni e l'obbligo di corsi di guida sicura. Ai fini di una corretta formazione degli utenti della strada, riteniamo che sia di estrema importanza garantire ai sedicenni un periodo di "praticantato" al volante, lungo 24 mesi, al fianco di un maestro speciale e fidato, quale può essere un genitore, in modo da acquisire una maggiore familiarità con la guida delle quattroruote. Successivamente, crediamo sia indispensabile frequentare corsi di specializzazione che preparino gli automobilisti a destreggiarsi in tutte quelle situazioni di emergenza sulla strada, di fronte alle quali, troppi conducenti, allo stato, risultano impreparati. Un ruolo determinante, inoltre, va riconosciuto a tutte quelle iniziative volte a sensibilizzare i cittadini sui principali fattori di rischio per la sicurezza stradale. Purtroppo, siamo ancora lontani dall'aver maturato una vera e propria coscienza della sicurezza, la cui tutela stenta a trasformarsi in prassi nelle politiche amministrative ed educative. Ma, almeno, adesso si ha consapevolezza che l'ostacolo maggiore, per una diversa cultura dei trasporti, è costituito dalla "rassegnazione" della società al tributo di sangue versato sull'altare della motorizzazione.

Naturalmente le campagne di sensibilizzazione ed i programmi educativi costituiscono solo un aspetto del problema, in quanto la prevenzione e la riduzione degli incidenti dipendono, come abbiamo detto, anche dalle condizioni delle infrastrutture, dallo stato dei veicoli, e dalle attività di controllo su strada. Il fenomeno è molto complesso e l'attribuzione esclusiva a ciascuno dei tre fattori è possibile solo in pochi casi; nella maggioranza dei sinistri, infatti, si tratta di concause, quindi di interazioni tra l'ambiente, il veicolo e la strada con l'uomo. In altri termini, la tutela della sicurezza stradale è la risultante di un mix di fattori interagenti fra loro, ciascuno dei quali ha referenti privilegiati su cui bisogna far leva. Per questo mo-

tivo, su sollecitazione dell'Automobile Club Napoli, sono state avviate importanti iniziative sul territorio regionale che puntano proprio alla sinergia dei soggetti coinvolti. In Campania, infatti, è stata istituita la prima Agenzia, a livello nazionale, dedicata alla sicurezza stradale, l'Arcss (Agenzia campana per la sicurezza stradale): una struttura ad hoc che raccoglie, sotto forma di società consortile, le elevate e specifiche competenze in materia dell'Università, degli Automobile Club e dell'Assessorato regionale ai Trasporti. Una società il cui scopo è di programmare e coordinare tutte le iniziative per la sicurezza stradale nella regione, affrontando la questione in termini strutturali, al fine di dare continuità e coerenza agli interventi posti in essere o da attuare, a vari livelli, sul territorio.

La maggior parte degli incidenti e delle vittime si concentra in ambito diverso da quello autostradale. Infatti, sono proprio le città, le strade statali e provinciali i luoghi ove si registra il più elevato numero di morti e feriti. Non a caso tali ambiti sono stati oggetto di valide azioni da parte del Ministero dei Trasporti che, fin dal 2000, ha varato il Piano Nazionale della Sicurezza Stradale (PNSS) le cui priorità di intervento riguardano le strade statali e urbane a maggiore incidentalità.

Al PNSS sono seguiti due Programmi di attuazione nazionali che hanno attivato, in Regione Campania, dal 2000 al 2006 un circolo virtuoso che ha erogato circa 30 milioni di euro per il finanziamento di 156 progetti in materia di sicurezza stradale, coinvolgendo 181 amministrazioni comunali e provinciali. Grazie al meccanismo concorsuale di assegnazione dei fondi, che prevede un impegno di spesa anche da parte degli enti locali proponenti un progetto, sono stati investiti altri 14,4 milioni di euro in termini di cofinanziamento. Pertanto, a questo settore, in sei anni, sono stati destinati complessivamente 44,4 milioni di euro.

Arcss ed Aci, inoltre, si sono resi protagonisti di un'altra importante iniziativa: la Rete regionale per la sicurezza stradale, di cui fanno parte anche l'Assessorato ai Trasporti della Campania, l'Ufficio di Coordinamento Regionale della Motorizzazione Civile, il Compartimento regionale della Polizia Stradale e l'Ufficio Scolastico Regionale. Il fine è quello di collaborare, ciascuno nell'ambito delle proprie competenze, nella progettazione e realizzazione di attività volte al miglioramento della sicurezza ed a sviluppare una rete di informazioni, attività e servizi mirati alla riduzione degli incidenti e delle loro conseguenze.

Gli interventi finalizzati al miglioramento della sicurezza stradale non possono prescindere dagli investimenti in tecnologie avanzate. In quest'ottica, è stato recentemente istituito in Campania un innovativo servizio di infomobilità, sulla base di un Accordo Quadro stipulato dalla Regione Campania e dall'Aci. Il progetto nasce dalla consapevolezza che la tempestività delle informazioni e la loro accessibilità rappresentano valori di primaria importanza nella società motorizzata. Di qui la realizzazione di

una struttura all'avanguardia dedicata esclusivamente alle notizie sulla mobilità.

Attivo da oltre due anni, "Muoversi in Campania" è, a livello nazionale, il primo servizio regionale di infomobilità rivolto all'intero universo dei trasporti che fornisce, in tempo reale, notizie riguardanti non solamente il traffico su strada, ma anche i trasporti su ferro, aerei e via mare, nonché le condizioni meteorologiche e quant'altro possa interessare i cittadini che si "muovono". Si tratta di una centrale che acquisisce continuamente informazioni sull'intero sistema della mobilità regionale attraverso una rete di sensori, telecamere e fonti dirette (Polizie, Concessionari autostradali, aziende di TPL) e che distribuisce in modalità automatica su tutti i "media" (radio, TV, Internet, Televideo). I risultati raggiunti sono valutabili, attualmente, nel risparmio dei tempi di viaggio, nella riduzione della congestione e dei consumi, nel miglioramento della sicurezza e del comfort.

Avvalendosi del know-how acquisito in oltre un quarto di secolo, da quando, cioè, nacque il primo notiziario sulla viabilità denominato Ondaverde e trasmesso durante i Tg regionali della Rai, passando poi per l'esperienza del Cciss, l'Automobile Club ha potuto realizzare un servizio ad alto valore aggiunto che impiega tecnologie avanzate ed una piattaforma informatica non ancora presenti sul mercato europeo dell'infomobilità. A regime "Muoversi" potrà essere utilizzato anche come strumento per la gestione delle emergenze determinate da eventi eccezionali, quali gli incidenti stradali.

Ancora una volta la ricerca e l'innovazione tecnologica si dimostrano preziosi alleati, con applicazioni capaci di dare un fattivo contributo alla realizzazione di condizioni atte a migliorare la sicurezza e la circolazione stradale. In quest'ottica, risultano di particolare rilievo gli stimoli che inducono la ricerca stessa all'individuazione di soluzioni sempre più efficaci ed affidabili nel settore dell'automotive. Al riguardo, merita una lodevole citazione il progetto EuroNcap, al quale collabora pure l'Aci, che prevede periodiche verifiche della sicurezza dei veicoli in commercio, mediante approfondite prove di crash-test, i cui risultati vengono regolarmente pubblicizzati.

Lo scopo è quello di garantire da un lato una corretta e trasparente informazione al consumatore, e dall'altro indurre le case costruttrici ad impegnarsi nella ricerca di sistemi sempre più in grado di assicurare l'incolumità dei passeggeri ed anche dei pedoni, in caso di investimento. Tant'è che oggi le stesse strategie di comunicazione delle case costruttrici stanno progressivamente spostando l'accento dalla prestazione alla sicurezza dei veicoli.

Sul versante delle infrastrutture, invece, un ruolo significativo lo sta svolgendo il consorzio di EuroTest, che raggruppa 16 Automobile Club europei, fra cui l'Aci, con prove che verificano la qualità delle principali infrastrutture, al fine di sollecitare proprietari e gestori delle strade a porre attenzione e, quindi,

rimedio alle condizioni di criticità individuate.

Al di là dei progressi sin qui raggiunti, resta, purtroppo, sul tappeto la tragicità di una problematica tutt'altro che risolta. Gli incidenti stradali continuano a mietere migliaia di vite umane all'anno, soprattutto giovani di età inferiore a 30 anni, con considerevoli ripercussioni anche sulla collettività, in termini sociali ed economici. Siamo ancora lontani dall'obiettivo fissato dall'Unione Europea per il 2010 - il dimezzamento del numero delle vittime della strada -, laddove gli altri Stati membri sono più avanti di noi nella riduzione della sinistrosità. Secondo stime Istat, permanendo l'attuale trend, è presumibile che l'Italia arrivi al 2010 solo con una diminuzione delle vittime pari a circa il 30%. Risultato apprezzabile, ma non sufficiente. Per raggiungere l'obiettivo occorrerebbe marciare ad un tasso medio di riduzione non inferiore al 7,5% annuo, mentre nel 2006, rispetto all'anno precedente, si è registrata solo una diminuzione del numero degli incidenti pari allo 0,8%, dei morti del 2,6% e dei feriti in misura dello 0,6%. Si

Le motivazioni che hanno impedito il raggiungimento di tale traguardo, peraltro anche da parte di altre nazioni come la Francia o la Germania, sono certamente dovute alla complessità del fenomeno, ma pure ad aspetti di carattere generale legati al livello di accettazione dell'insicurezza non uniforme per i vari ambiti di "rischio" e, addirittura, per le diverse tipologie di trasporti. Basti pensare alla relativa tolleranza con cui vengono accolti gli incidenti stradali: ogni giorno il numero dei morti sulle strade europee è praticamente pari a quello dei passeggeri di un aereo di medie dimensioni. Oppure alle morti sul lavoro, fenomeno intollerabile ma che desta molta più indignazione nonostante nel 2006 vi siano state circa 1.100 vittime, a fronte delle quasi 6.000 registrate sulle strade italiane (si precisa che, a partire dal 1999, si attribuiscono all'incidentalità stradale i decessi avvenuti entro 30 giorni dall'evento; prima, invece, tale limite era di 7 giorni).

Per colmare questo gap, occorrono volontà, costanza e risorse nell'ambito di una politica orientata alla gestione della mobilità, secondo principi di competenza ed efficienza. E, non da ultimo, bisogna stimolare la partecipazione attiva di tutta la società, perché quello della sicurezza stradale è un problema che riguarda tutti noi.

La mobilità è una risorsa vitale e come tale va sostenuta e tutelata con la realizzazione di quelle condizioni indispensabili affinché a ciascuno sia consentito di fare la scelta migliore del mezzo di locomozione da usare per i propri spostamenti, senza che ciò possa trasformarsi in un handicap per sé o in tragedie e diseconomie per la società. Per raggiungere questo obiettivo, l'Aci ha realizzato la "Carta dei valori per la mobilità responsabile" che, in otto punti, mira a conciliare il fondamentale diritto alla mobilità, sancito dalla nostra Costituzione e ribadito da quella Europea, con il primario diritto alla salvaguardia della vita umana, in un ambiente più salubre

e vivibile. Una nuova etica che possa ispirare le scelte di tutti, dai singoli individui, alle famiglie, alle associazioni, alle istituzioni, al mondo della politica, delle imprese e della ricerca, affinché si possa dar vita ad un sistema della mobilità sicuro, funzionale, pulito e responsabile. Nell'ambito di un rinnovato approccio sinergico e multidisciplinare a tale tematica, l'ingegneria potrà continuare a rivestire un ruolo significativo, fornendo il proprio prezioso e determinante contributo per una maggiore sicurezza stradale e per una migliore vivibilità complessiva.

Bibliografia

ACI, *Serie storiche sullo sviluppo della motorizzazione e sull'incidentalità stradale in Italia negli anni 1921-2003,* 2004.

ACI-ISTAT, *Statistica degli incidenti stradali,* 2006.

ANFIA, *Autotrends 2002 90°,* 2002

ANFIA, *Automobile in cifre,* 1998

A. COPPOLA, *20 anni di mobilità a Napoli,* Napoli, Cuen, 2003.

COMMISSIONE EUROPEA, *Libro Bianco. La politica dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte,* 2001

S. MAGGI, *Storia dei trasporti in Italia,* Il Mulino, 2005.

P. MARTUCCI, *La posizione del pedone nella sicurezza stradale: alcune riflessioni su di un tema trascurato,* «Rivista giuridica della circolazione e dei trasporti», LVI, 2002, 3.

M. RECCHIA, V. SABBADINI, *I costi sociali degli incidenti stradali,* Milano, Franco Angeli Editore, 1982.

F. TAGGI, G. DI CRISTOFARO LONGO, *I dati socio-sanitari della sicurezza stradale*, Roma, Istituto Superiore di Sanità, 2001.

Silvia Pennisi, Raffaella Riva Sanseverino

Ingegneria e beni culturali: interdisciplinarietà in una collaborazione recente e in continua evoluzione

Beni culturali materiali ed immateriali

I beni culturali si contrappongono, per definizione, ai beni naturali in quanto questi ultimi ci sono offerti dalla natura, mentre i primi sono il prodotto della cultura dell'essere umano. Secondo l'art.10 del Codice dei beni culturali e del paesaggio sono beni culturali, *"le cose immobili e mobili appartenenti allo Stato, alle Regioni, agli altri enti pubblici territoriali, nonché ad ogni altro ente ed istituto pubblico e a persone giuridiche private senza fine di lucro, che presentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico"*[1]. Un bene culturale si definisce *materiale* quando è fisicamente tangibile, come un'opera architettonica, un dipinto, una scultura. Si definisce invece *immateriale* quando non è fisicamente tangibile, come una lingua o dialetto, etc... Al di là della generica definizione, i beni culturali hanno trovato, nel tempo, più precise classificazioni, in specie da parte del diritto internazionale pubblico.

In particolare hanno provveduto alla definizione dei beni culturali:

- *materiali*, la convenzione sulla protezione dei beni culturali nei conflitti armati adottata all'Aja il 14 maggio 1954;

- *immateriali*, la convenzione per la salvaguardia del patrimonio culturale immateriale adottata a Parigi il 17 ottobre 2003.

La convenzione dell'Aja identifica i seguenti beni culturali materiali:

- i beni, mobili o immobili, di grande importanza per il patrimonio culturale dei popoli, come i *monumenti architettonici*, di arte o di storia, religiosi o laici; i siti archeologici; i complessi di costruzioni che, nel loro insieme, offrono un interesse storico o artistico; le opere d'arte; i manoscritti, libri e altri oggetti d'interesse artistico, storico o archeologico; nonché le collezioni scientifiche e le collezioni importanti di libri o di archivi o di riproduzioni dei beni sopra definiti;

- gli edifici la cui destinazione principale ed effettiva è di conservare o di esporre i beni culturali mobili definiti al comma precedente, quali i musei, le grandi biblioteche, i depositi di archivi, come pure i rifugi destinati a ricoverare, in caso di conflitto armato, i beni culturali mobili definiti al comma precedente;

- i centri comprendenti un numero considerevole di beni culturali, definiti ai commi precedenti, detti *centri monumentali*.

L'articolo tratterà di due particolari categorie di beni culturali, opere dell'ingegno umano che per la loro complessità costitutiva necessitano di contributi specifici secondo un approccio scientifico interdisciplinare. La pratica ed il lavoro sui beni culturali ha favorito la

formazione di alcune strategie specifiche da adottare nei vari casi: ma alla base di tutte le operazioni di progettazione ed intervento sui beni culturali monumentali, siano essi beni isolati (opere architettoniche), siano essi beni aggregati (centri storici), è necessario conoscere il bene - nelle operazioni di salvaguardia, restauro e di tutela - oggetto dell'intervento. L'Italia infatti si pone come un serbatoio inesauribile di beni culturali; per questo infatti è necessario portare sempre avanti il dibattito e la critica riguardo agli approcci sempre nuovi nei confronti dei beni culturali. La fase della conoscenza del bene è la fase più delicata e costituisce un racconto preciso e dettagliato sul bene culturale. Gli archivi (fotografici o di altro tipo) si rivelano una fonte preziosa per la progettazione degli interventi futuri sul patrimonio culturale. Recentemente gli intervenuti ad un convegno[2] sui beni culturali svoltosi a Pisa hanno evidenziato l'importanza - nelle operazioni di restauro e salvaguardia - della ricostruzione della storia del bene culturale, che dovrebbe restituire una sorta di carta di identità del bene, oggetto di intervento. Tutto questo oggi è particolarmente favorito dallo sviluppo di nuove attrezzature di supporto informatico (software, etc…), che, grazie all'archiviazione di una serie di dati specifici sul bene, permettono poi una lettura rapida degli interventi condotti nei secoli sul bene in oggetto, consentendo in tempo reale di scegliere delle strategie appropriate per la progettazione degli interventi futuri. La fase di conoscenza di un bene culturale può infatti rivelarsi un'operazione infinita, che necessita delle più svariate competenze. Infatti molto spesso ci si trova davanti ad un bene culturale *complesso*, contenitore a sua volta di altri beni culturali (contenuto). La salvaguardia e la tutela e le operazioni di conoscenza legate alla progettazione degli interventi da effettuare devono essere estese a tutti gli elementi che compongono il bene culturale. Appunto perché il processo di ideazione di un bene culturale, specie se è un'opera architet-tonica, può considerarsi un processo infinito che contempla le figure di una serie infinita di specialisti: il principio dell'interdisciplinarietà si configura come costitutivo del bene stesso. La conoscenza della storia del bene culturale serve a comprendere il processo di ideazione dello stesso, fase che serve a chiarire le diverse competenze che venivano coinvolte nel passato ed a cui riferirsi per la progettazione degli interventi futuri.

L'interesse verso la conservazione delle opere materiali dell'uomo non è sempre esistito.

In particolare per ciò che riguarda l'architettura, la tendenza per molti secoli fu quella del trasformare in funzione delle mutate esigenze.

Questo accadeva per la peculiarità delle realizzazioni architettoniche, rispetto alle altre manifestazioni dell'estro umano, di svolgere una funzione, di possedere una utilità.

Così ciò che ci è pervenuto dai secoli passati è spesso il risultato di molte stratificazioni e modifiche succedutesi nel tempo.

Soltanto alla fine del Settecento, con il crescente interesse verso l'archeologia, si iniziò a rivolgere l'attenzione verso l'importanza di conservare e tramandare le opere del passato a testimonianza sia storica che delle tecniche e dell'arte. Tale interesse fu inizialmente rivolto alle opere di un passato assai remoto, per avvicinarsi poi ad epoche più recenti nel secolo successivo ed in particolare dai primi decenni del 1900.

Dal secolo scorso il dibattito su cosa conservare e come farlo è stato intenso così come gli interventi sul patrimonio architettonico esistente, con la formazione di correnti di pensiero diverse e talvolta contrastanti, ma che sin dagli anni Trenta concordarono su un punto fondamentale: alla base del restauro deve porsi la conoscenza del bene. Ciò è valido per qualunque opera, di qualunque valore, epoca o consistenza e qualunque sia la tipologia di intervento.

Per quanto attiene ai centri storici, beni culturali aggregati, il concetto di tutela è abbastanza recente, come pure la nascita di una strumentazione urbanistica attuativa tarata nello specifico sulla città antica. Ancora alla fine dell'Ottocento il modo con cui vengono tutelati i beni culturali e la città storica è abbastanza risibile specie se confrontato al contemporaneo modo di operare: a Palermo ad esempio alla fine dell'Ottocento la perdita di un quartiere intero con chiese e monumenti viene consentito per la realizzazione del teatro Massimo, simbolo della nuova città.

Dagli anni Sessanta in poi ad opera dell'Ancsa (Associazione Nazionale Centri-Storico-Artistici) e, dell'Associazione Italia Nostra e di urbanisti illuminati si avviò un dibattito cosciente e maturo incentrato sull'analisi tipologica, frutto dell'elaborazione teorica e concettuale di Saverio Muratori. La conseguenza pratica fu la formazione di piani attuativi per i centri storici, che contenevano le indicazioni metodologiche anche per la progettazione degli interventi. L'oggetto della conservazione era la salvaguardia della città storica nel suo complesso.

Gli oggetti dell'intervento conservativo - l'opera architettonica ed i centri storici

Nel caso di un bene architettonico, cosa intendiamo per conoscenza?

Tanto è stato dibattuto anche su questo, possiamo affermare che si deve trattare di una conoscenza "storico-tecnica"[3], termine che sintetizza un complesso processo oggi definito diagnostico.

Il bene architettonico va così studiato come oggetto inserito in un contesto ambientale, fisico, sociale ecc., il cui studio fa parte della fase di anamnesi, con una sua individuale storia di costruzione, trasformazioni ed interventi che lo hanno consegnato a noi nei secoli. Intervenire su un bene culturale architettonico oggi significa svolgere un progetto accurato degli interventi da svolgere valutando al contempo le attuali condizioni del manufatto e le trasformazioni che si sono susseguite nei secoli.

Recentemente per quanto riguarda i centri storici concepiti come beni culturali aggregati, la ricerca ha indirizzato le

proprie risorse in banche dati sistematiche atte a valutare la vulnerabilità[4] in cui inserire le informazioni utili per l'approntamento dei piani di recupero e della progettazione degli interventi sui beni culturali. Tali informazioni riguardano le caratteristiche tecnologico-costruttive degli edifici, le caratteristiche della struttura e dei materiali (con particolare riferimento alle tecnologie costruttive ed ai materiali impiegati per le murature portanti). La valutazione sull'efficacia degli interventi svolti nelle epoche passate consente di formulare delle linee guida per la riparazione ed il miglioramento.

Anche sui centri storici, specie se monumentali, è necessario condurre una approfondita ricerca storica negli archivi e nelle biblioteche allo scopo di individuare le origini e l'evoluzione dei centri interessati, la ricostruzione degli eventi sismici nella zona e per spiegare la presenza di certe vulnerabilità[5] degli edifici attraverso la conoscenza del loro sviluppo in tempi successivi. Anche questo tipo di valutazioni fanno parte di un bagaglio di informazioni scientifiche che viene da settori diversi e che vede da una parte, i contributi dell'ingegneria strutturale, centrali per restituire nello specifico lo stato di salute del manufatto e dall'altra le sollecitazioni dell'urbanista che invece restituisce lo studio dei manufatti alla scala urbana.

"Compatibilità" delle scelte progettuali e delle destinazioni d'uso

Il termine "compatibile", riferito all'intervento sull'edilizia esistente, ha subito un'evoluzione parallela a quella delle teorie sul restauro dei monumenti.

Così mentre all'inizio del secolo scorso pareva compatibile l'uso del cemento armato, che allora sembrava corrispondere ad una garanzia di durabilità di un intervento, o rispetto la città l'isolamento di un monumento per garantirne una corretta fruizione, col tempo e l'avvicendarsi delle teorie si è giunti ad un concetto di compatibilità elastico, da valutare caso per caso.

Ricordando che ormai è assodata l'importanza di mantenere "in vita" un edificio[6] rimangono comunque molteplici aspetti da approfondire: la scelta delle destinazioni d'uso i materiali da utilizzare, le tecniche costruttive per poi arrivare alle scelte progettuali-funzionali.

Un intervento che utilizzi i materiali e le tecniche della tradizione, e dunque quelle proprie dell'edificio, sarebbe sempre auspicabile, ma naturalmente non sempre è possibile, per la difficoltà di reperire lo stesso materiale o manodopera adeguata, per questo le ricerche vertono alla valutazione di nuove tecniche e materiali compatibili.

L'ingegneria e la chimica forniscono strumenti utili a tal fine, con una continua ricerca volta al miglioramento delle prestazioni di materiali e componenti. Vedremo in seguito nel prossimo paragrafo alcuni nuovi materiali (nanomateriali per il recupero), che nascono proprio da questa ricerca interdisciplinare.

Nel caso di architetture storiche monumentali è consigliato sempre per quanto concerne la scelta dei materiali da usare per gli interventi di restauro lo

svolgimento di indagini chimico-fisiche atte a rilevare la composizione dei materiali esistenti. Da qui la modalità oggi diffusa di usare malte idrauliche per eseguire i consolidamenti.

Anche per quanto riguarda gli elementi della costruzione si tende sempre ad usare materiali e tecniche tradizionali: l'uso del legno ad esempio in sostituzione del ferro.

Riguardo invece alla compatibilità fra scelte progettuale e destinazioni d'uso si ricorda che spesso nei secoli venivano eseguiti interventi sugli edifici antichi non valutando bene quali "effetti" potevano avere determinate scelte progettuali - di ordine distributivo ad esempio - sulle capacità strutturali dell'edificio esistente.

Molto spesso infatti nel Settecento si trasformavano gli ambienti di rappresentanza ancora di impianto medievale costituiti da piccoli vani per creare ad esempio i sontuosi saloni delle feste; queste scelte molto spesso avevano delle ripercussioni sulla sicurezza strutturale dell'edificio.

L'esempio di alcuni interventi compiuti nei secoli in alcune residenze nobiliari nell'area del palermitano ripropone la tematica che era spesso alla base degli interventi di recupero nel passato.

Altro grande capitolo riguarda più da vicino la compatibilità fra le nuove e vecchie destinazioni d'uso riguardo al patrimonio edilizio storico specie quando ci riferiamo al patrimonio edilizio monumentale. Abbiamo già sottolineato come gli edifici antichi giungano a noi trasformati a causa degli adattamenti alle differenti funzioni che li hanno caratterizzati nei secoli. Il progettista viene così chiamato ad effettuare scelte progettuali che porteranno ad una nuova trasformazione e dunque a decidere cosa salvare delle variazioni succedutesi negli anni e cosa riportare ad uno stato originario. Tutto ciò è ulteriormente vincolato alle scelte progettuali riguardanti la futura destinazione d'uso.

Una corretta scelta in tal senso dovrebbe essere guidata da un preliminare studio di fattibilità, che tenga conto da una parte dai vincoli normativi (superfici, percorsi ecc.) che caratterizzano la nuova funzione da attribuire, e dall'altra alle esigenze contestuali (necessità di una specifica funzione in quel punto della città, ecc). La lettura critica ed attenta di tali fattori alla luce delle caratteristiche spaziali dell'edificio in esame, condurranno ad una scelta compatibile.

Il centro storico di Palermo ad esempio possiede un Piano Particolareggiato Esecutivo che, mette in relazione alle tipologie edilizie storiche delle specifiche modalità di intervento. Questa logica ad esempio può apparire poco convincente specie nel caso di architetture monumentali: per i palazzi storici - ad esempio - dove il piano propone come modalità di intervento la categoria "restauro" molto spesso si rivela poco attuabile per la composizione proprietaria dell'edificio, che spesso negli anni ha avuto notevoli variazioni passando dall'essere - nel passato - una residenza esclusiva ad un normale condominio oggi.

Abbastanza interessante a questo proposito analizzare nello specifico le variazioni subite delle varie parti dell'edificio storico, poiché le scelte progettuali devono tenere conto delle trasformazioni e degli adeguamenti che si sono sviluppati nel tempo. Ad esempio volendo entrare nel dettaglio esaminando la funzione avuta dai piani terra in una residenza nobiliare è necessario che gli spazi precedentemente occupati da funzioni residenziali non più esistenti - i piani terra erano spesso adoperati come ricovero dei cavalli e delle carrozze - vengano rifunzionalizzati proponendo soluzioni alternative in accordo con la nuova distribuzione degli spazi.

Un altro grosso problema riguardo le strutture monumentali è il tema degli impianti, molto spesso assenti nei sistemi edilizi antichi. Anche in questo caso il progettista deve compiere nel caso di architetture monumentali, le scelte tali da essere compatibili e rispettose degli ambienti, tenendo nel giusto conto i luoghi dove si interviene, nello stesso tempo adoperando il supporto delle nuove tecnologie.

Nanotecnologie per la "compatibilità" dei materiali

Nel campo del recupero dei beni culturali le innovazioni fondamentali rispetto ai materiali in uso nel campo del restauro e del recupero dipendono molto dall'utilizzo dei nanomateriali e delle nanotecnologie.

Le nanotecnologie sono l'insieme di metodi e tecniche per la manipolazione della materia su scala atomica e molecolare e hanno l'obiettivo di costruire materiali e prodotti con particolari caratteristiche chimico-fisiche. Ad oggi i prodotti nanotecnologici presenti sul mercato mondiale sono circa 400 e fanno riferimento a vari settori tra cui il settore edilizio, che è quello che ci interessa maggiormente. Gli scenari applicativi ipotizzati ne fanno un tema di grande attualità e le implicazioni[7] interdisciplinari unite alla tematica più vasta dei beni culturali appaiono rilevanti. Le nanotecnologie offrono un nuovo approccio allo studio della materia che si basa sulla comprensione e la possibilità di manipolazione delle sue proprietà su scala nanometrica: un nanometro - un miliardesimo di metro - corrisponde alla lunghezza di una piccola molecola. A questa dimensione la materia presenta svariate proprietà e le frontiere tra discipline diverse si attenuano, sottolineando la dimensione interdisciplinare fortemente associata all'uso delle nanotecnologie.

Le proprietà peculiari di tali materiali risiedono proprio nelle nanostrutture. Le nanotecnologie permettono di sintetizzare nuove classi di materiali con proprietà in precedenza non ipotizzabili. I materiali nanostrutturati basati su tecnologie dematerializzate finalizzate al risparmio di risorse, sono caratterizzati da un'elevata durabiltà e lavorabilità, possono reagire ali stimoli esterni migliorando la risposta ai fattori ambientali e la resistenza agli agenti aggressivi fino a favorire l'ossidazione di sostanze inquinanti (come le malte fotocatalitiche). Ancora una volta si presenta davanti a

noi un altro nuovo settore di interesse, dove emerge ancora una volta il dialogo fra diverse discipline afferenti all'ingegneria chimica da una parte e dall'altra invece dovrebbe avere una squadra di operatori (esperti in restauro/recupero, strutturisti,) per valutare bene gli effetti dei nuovi materiali sui beni culturali, poiché anche i nanomateriali – essendo materiali di nuova generazione – su cui si è poco o niente sperimentato possono riservare delle zone d'ombra specie per quanto riguarda la valutazione del grado di tossicità degli stessi.

La conoscenza del bene culturale: tecniche di indagine non distruttive

Il tema della conoscenza è alla base di una scelta compatibile, nella più vasta accezione del termine. Ed è proprio su questi temi che confluiscono le tecniche fornite dalle scienze ingegneristiche ed il rispetto verso i beni culturali. La redazione di un progetto rispettoso dell'oggetto di recupero è legata indissolubilmente a quella fase preliminare detta "processo diagnostico", infatti così come in medicina è fondamentale, prima di qualsiasi intervento, individuare le cause che hanno scatenato una patologia, e non curarne soltanto i sintomi.

A tal fine solo l'accurata scelta di tecniche diagnostiche adeguate al caso in esame può guidarci verso gli interventi compatibili, sia per quel che riguarda i materiali che le tecniche da adottare. In particolare la fase di diagnosi va progettata in funzione dell'oggetto di studio e del suo contesto. Le tecniche oggi in uso sono molteplici e spetta al progettista la scelta della metodologia da seguire, dalla quale dipenderà il giusto livello di conoscenza della fabbrica.

Vengono definiti tre diversi livelli di conoscenza di un manufatto:

- Conoscenza Limitata (L1C)
- Conoscenza Adeguata (LC2)
- Conoscenza Accurata(LC3)

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- geometria
- dettagli strutturali
- materiali

I diversi livelli vengono raggiunti attraverso le indagini indirette- bibliografiche, archivistiche, fotografiche ed iconografiche - e dirette - non distruttive e distruttive.

La scelta del livello di conoscenza e della tipologia di indagini da adottare, dunque, in sintesi, il progetto diagnostico, sono strettamente correlate all'edificio in esame. Vige assoluta la regola del "caso per caso", ovvero non seguire metodologie standadizzate ma adeguare la diagnosi all'edificio, in quanto organismo unico.

Nonostante infatti, si possano trovare affinità anche spiccate nelle tecniche costruttive o nei processi di invecchiamento fisiologico o patologico dei materiali e delle strutture, ogni edificio ha una sua storia differente ed un suo contesto, che, anche se soltanto per pochi elementi, può differenziarlo dagli altri.

Con l'esame visivo ha inizio il processo diagnostico, che continua con il rilievo della struttura, visto, nel caso del recupero di beni culturali, come uno stru-

mento di conoscenza e non una semplice restituzione di dati. Inoltre il rilievo va adeguato al caso in esame con carte tematiche, attraverso le quali il progettista esamina e trasmette agli altri operatori coinvolti nell'intervento, i dati significativi ai fini del progetto.

Sceglierà pertanto una mappatura del degrado, un abaco di elementi strutturali, una tavola tipologica sulla distribuzione degli spazi o altro, a seconda della tipologia di edifici, della sua età e della destinazione futura.

Formulate le prime ipotesi sullo stato di conservazione dell'edficio e sulle cause che hanno presumibilmente determinato evenutali patologie, il processo continua con le indagini dirette, le non distruttive, in primo luogo, che metteranno in rilievo zone di disomogeneità rispetto all'intero organismo e che necessitano di approfondimenti ulteriori con le indagini distruttive.

Le NDT (*non distructive testes*) non possono in genere fornire informazioni di natura quantitativa, ma soltanto qualitativa, il che le rende un utilissimo strumento per rilevare la presenza di elementi significativi (strutturali o di degrado) non riscontrabili con l'esame visivo, ma necessitano per completezza di alcuni campionamenti (prove distruttive).

Quando si opera su beni culturali diventa pioritario il limitare il più possibile i campionamenti sulla struttura, e attraverso l'uso delle NDT ciò è possibile.

Ad esempio la termografia permette di mettere in rilievo caratteristiche della morfologia manifestazioni di degrado agendo a distanza, limitando in tal modo le zone di interesse, e dunque i prelievi di materiale, alle sole che presentano disomogeneità o anomalie.

Ciascuna prova non distruttiva presenta dei limiti e delle potenzialità, sarà innanzitutto la professionalità del progettista e successivamente la capacità degli operatori che eseguiranno le prove a garantirne l'utilità ai fini del progetto di recupero dell'edificio.

Conclusioni

Tutta la fase di diagnosi richiede un' interdisciplinarietà, che pure caratterizza in genere il recupero edilizio, e che rende più complesso l'intero processo.

La collaborazione tra figure differenti, storici,urbanisti,strutturisti, chimici, restauratori ed altro, consente di valorizzare tutti gli aspetti dell'edificio esistente.

Le interrelazioni tra bene culturale - nel caso di beni architettonici isolati o nel caso prima esaminato di centri storici aggregati monumentali - e ingegneria - nelle varie specifiche - si vanno chiarendo e contemplano come abbiamo visto, sia la fase progettuale della conoscenza del bene, sia la fase più delicata degli interventi.

La conoscenza del bene si rivela il primo passo fondamentale per la progettazione dei futuri interventi. In questa fase le varie discipline concorrono alla formazione di una sorta di carta di identità del bene culturale composta da vari contributi tutti concorrenti alla ricostruzione del bene culturale, del suo aspetto presente, del suo stato di "salu-

te" (vulnerabilità), degli interventi effettuati nel tempo, dai materiali e dalle tecniche costruttive rilevate.

Il secondo aspetto invece concerne la pianificazione degli interventi da eseguire: quelli più generali di ordine progettuale (la distribuzione interna), le scelte funzionali collegati ai nuovi usi, le tecniche costruttive ed i materiali, portando avanti per determinati casi la sperimentazione anche sui nuovi materiali (nanomateriali). Quando ci troviamo come abbiamo precisato nel caso di beni culturali aggregati, centri storici monumentali, caratterizzati dalla presenza più fitta a livello urbano di beni culturali (il caso di Assisi è un esempio emblematico), dovremo coinvolgere una nuova competenza, che è quella urbanistica, che serve a studiare l'insieme di beni alla scala urbana.

Altro aspetto interessante riguarda invece l'archiviazione di tutti i dati reso ora possibile dall'utilizzo di nuovi sistemi operativi informatici (SiCar w/b, Artpast, etc…), voluti e sperimentati dalle Soprintendenze, che consentono di registrare il processo di restauro e recupero, addirittura mettendolo in rete per un coinvolgimento a vasto raggio interdisciplinare della platea di esperti e specialisti.

[1] D.Lgs.42/2000.

[2] *La tutela dei beni culturali: i cantieri, gli archivi e la comunicazione*, Pisa 3,4,5 ottobre 2007, Scuola Normale Superiore.

[3] S. Boscarino, *Storia e storiografia contemporanea del restauro in storia e restauro dell'architettura. Proposte di metodo*, a cura di G. Spegnesi, Roma, 1964.

S. Boscarino, *Il restauro architettonico nelle scuole di architettura oggi*, Roma, 1992.

[4] I casi di cui si riferisce riguardano in particolare i centri storici della Regione Umbra colpiti nel corso degli anni da eventi sismici, che hanno pregiudicato in maniera rilevante il patrimonio monumentale (Assisi, Nocera Umbra etc…).

[5] Inu, Urbanistica quaderni, *Regione Umbria. Vulnerabilità urbana e prevenzione urbanistica degli edifici del sisma: il caso di Nocera Umbra*.

[6] G. Giovannoni, *La tutela delle opere d'arte in Italia*, Roma, 1912.

[7] Recentemente è stato avviato presso l'Università degli studi di Palermo - Facoltà di Ingegneria e Architettura - un master di primo livello in "*Esperto di nanotecnologie per i Beni culturali*", Palermo, 2007.

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Rosalba La Creta, Luigi Alini

Innovazione tecnologica e innovazione formale nell'architettura: l'evoluzione delle costruzioni in calcestruzzo armato

Se, come sostiene Giulio Carlo Argan, " […] l'architettura rientra, ed anzi ha il primo posto, tra le attività umane intese a modificare l'ambiente fisico in rapporto alle necessità dell'esistenza"[1] e quindi ogni sua opera introduce nuovi sistemi fisici che inducono (o, almeno, dovrebbero indurre) nuove e migliori condizioni di vita, l'architettura è per sua natura fattore d'innovazione e, come tale, deve essa stessa innovarsi nelle sue forme e nei suoi modi di prodursi, al fine di dare risposte efficaci e possibili alle 'necessità dell'esistenza' che cambiano continuamente nel tempo e nello spazio. Risposte che si concretano in forme e spazi mediante l'atto tecnico della costruzione. Forme e spazi che sono strettamente legati all'uso di nuovi materiali e alle tecniche costruttive che danno luogo alla loro realizzazione, così come sono strettamente legate alle loro rispettive innovazioni. Un chiaro esempio di tale legame è dato dal calcestruzzo armato, frutto di una lunga e costosa sperimentazione industriale, e dalla sua tecnica sviluppatasi a partire dai primi anni del XX secolo.

Le prime applicazioni del calcestruzzo armato si ebbero nel settore nautico (a partire dal 1850 e ad opera del Lambot)[2] ed in seguito furono trasferite in architettura, settore nel quale la produzione industriale ne rese possibile, a costi competitivi, la applicazione su larga scala nell'edilizia di tessuto, con le stesse caratteristiche strutturali delle costruzioni metalliche intelaiate. L'industrializzazione del processo di produzione fu portatrice anche di un'accelerazione dei tempi realizzativi, per effetto della 'esternalizzazione' di alcune operazioni di cantiere. A questo rinnovamento seguì la definizione di un nuovo repertorio di elementi tecnici, che nella fase iniziale è tuttavia ancora segnato da una 'figurazione ingannevole'[3] e da procedure 'empiriche': l'innovazione è circoscritta quasi esclusivamente ad un'azione di 'sostituzione metrica'. La struttura portante in muratura è sostituita con quella più economica in calcestruzzo armato, trattata 'superficialmente' come la tradizionale muratura portante. Un atteggiamento chiaramente condizionato da un lato dalla qualità delle materie prime adoperate e, dall'altro, dal livello di conoscenza scientifica sul 'comportamento' del materiale. L'evolversi della ricerca ha consentito e sostenuto nel tempo la spinta delle sperimentazioni al 'limite' delle possibilità espressive e tecniche di questo 'nuovo' materiale. Limite che chiaramente si sposta sempre più in avanti in ragione del livello di definizione e di approfondimento cui la ricerca rinvia. In quest'ottica, la lettura di alcuni 'capolavori' dell'architettura

moderna e contemporanea vuole esplicitare le connessioni tra innovazione tecnica ed innovazione figurativa, sottolineando come quest'ultima sia il portato della prima Perché solo andando oltre la figurazione possiamo comprendere a pieno il senso ed il valore che ha avuto ad esempio la *Sidney Opera House* nel percorso di ricerca di Utzon o il *Padiglione Philips* in quello di Le Corbusier. Quello qui proposto è un punto di vista che cambia la prospettiva dalla quale si osserva e si indaga l'architettura. Un punto di vista che connette l'immagine architettonica e le 'nuove' spazialità al quadro tecnico di riferimento entro cui si sono realizzate quelle opere.

Perché l'architettura è figlia della materia che l'ha generata e l'ha resa possibile. L'evoluzione scientifica ha solo codificato delle possibilità che la materia aveva in sé in forma latente, potenziale. Perché la forma non è mai assoluta, libera: esiste nella relazione che essa stabilisce con la materia che la sostanzia. Cosicché è alla materia e alle sue possibilità che bisogna andare per mostrare, della materia stessa, ciò che è, ne è stato, né forse sarà, ma che avrebbe potuto essere.

Auguste Perret, Casa in rue Franklin, Parigi, 1903

Nel 1903 Auguste Perret, nell'edificio che forse è la prima casa d'appartamenti ad ossatura in calcestruzzo armato, con la libera distribuzione dei pilastri (consentita dalla versatilità della nuova tecnica), risolve una serie di problemi dovuti alle peculiarità della sua collocazione. "L'architetto realizza così una pianta libera pur nell'angustia dell'area disponibile. Partito dalla struttura in cemento armato, cui si devono tutte le valenze statiche, distributive ed espressive dell'opera, Perret svuota il pianterreno da ogni chiusura muraria, continua il prospetto compatto per cinque piani, arretrando gradualmente gli altri con attici, super attici ed altane fino al tetto piano. Questo variare dell'edificio in senso altimetrico completa, integra e ripropone un'articolazione equivalente a quella della sua ricca forma planimetrica.

La struttura, sebbene rivestita, è chiaramente in evidenza. Travi e pilastri, elementi verticali ed orizzontali costituiscono lo scheletro di questo edificio, ma anche uno dei suoi principali caratteri architettonici. Infatti questa è la prima opera in cemento armato dove la presenza degli elementi strutturali serve anche a scandire un ritmo lineare, a definire uno spartito figurativo. Fra tali elementi sono inserite le pannellature di tamponamento; è significativo che pur essendo tutto l'edificio rivestito in ceramica, quella che ricopre travi e montanti è a listelli lisci, mentre quella delle pennellature reca motivi floreali.

Questa differenza è un indubbio segno della volontà dell'autore di tenere

chiaramente distinte le parti portanti da quelle portate dell'edificio.Va infine segnalata la grande parete vetrata (una anticipazione del vetrocemento) illuminante la scala sul prospetto secondario, che […] non poteva avere aperture. Forse in relazione a ciò ed in genere alle



Fig. 1 - August Perret, Casa in rue Franklin, Parigi, 1903

difficoltà di dar luce a tutti gli ambienti, nella fronte principale i vuoti delle aperture, che vanno tutte da pavimento a soffitto, prevalgono nettamente sui pieni, ridotti in pratica al solo scheletro strutturale. In conclusione potremmo apprezzare questo edificio, nato con un programma commerciale della ditta 'Perret frères entrepreneurs' e fra cento vincoli di spazio e di regolamenti, come un'opera che per la prima volta sperimenta soluzioni ed elementi che resteranno patrimonio comune del successivo linguaggio architettonico validi fino ai nostri giorni"[4]. A questo proposito Gillo Dorfles nota che tale edificio "dove il tetto piatto ospitante un giardino pensile, la presenza delle ampie sporgenze e rientranze della facciata, l'uso del vetro che dà luce alla scala, la pianta che utilizza al massimo lo spazio reso libero dalla costruzione a scheletro, mostrano già i primi germi di quegli elementi che poi Le Corbusier avrebbe sapientemente sviluppato"[5], in accordo con i famosi 'cinque punti di una nuova architettura' da lui stesso fissati nel 1926: i *pilotis*, il tetto giardino, la pianta libera, la finestra a nastro, la facciata libera. "Essi sono consentiti dalla moderna tecnologia e in particolare dall'uso del cemento armato. Grazie a questo, infatti, è possibile sostenere una costruzione su esili pilastri, realizzare un tetto piano tanto forte da sopportare il peso della neve, avere una pianta sgombra da massicci sostegni, aprire finestre della lunghezza voluta, poiché le pareti di facciata non sono più portanti ma portate"[6]. Soluzioni, queste, codificate nella *Ville Savoy*.



Fig. 2 - Le Corbusier, Villa Savoy, 1929

Gio Ponti e collaboratori, Torre Pirelli, 1952-59

Nel panorama dell'architettura italiana del secondo dopoguerra, tra gli edifici che hanno espresso le più significative esperienze nel campo delle costruzioni multipiani per uffici, si inserisce la torre Pirelli. In quest'opera la collaborazione tra Ponti e Nervi si concreta nell'uso di una struttura in cemento



Fig. 3 - Torre Pirelli, Milano, 1952 - 1959

a vista, in ossequio alle idee di verità del materiale e di onestà della costruzione, che stanno alla base della concezione nerviana di 'etica del cemento armato', da lui ritenuto il più bel sistema costruttivo mai escogitato dall'uomo che, per le possibilità di produrre 'pietre fuse', capaci di resistere a tensioni, porta con sé 'qualcosa di magico'[7] , Tale principio è restituito in questo progetto nella concezione planimetrica 'a lente', "che a dire degli estensori [del progetto] consente diverse alternative […] di distribuzione nella pianta tipo […]. Il cemento armato è rivestito di intonaco, esso pure cementizio, ma 'spuntato': un artificio, questo della spuntatura, che consente di sollevare la struttura dalla originale materialità del cemento armato, temperandone l'impeto romantico e sublimandola a pura forma"[8] .

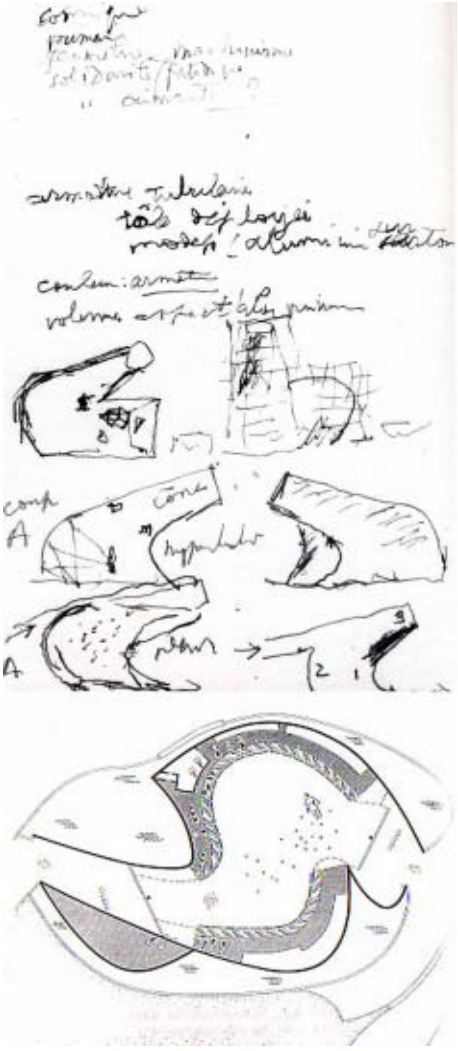
Le Corbusier, Padiglione Philips, Bruxell, 1957[9]

"Non vi farò un Padiglione con delle facciate, vi farò un poème èlectronique", questa fu la risposta di Le Corbusier alla proposta di realizzare un padiglione per la Philips all'Expo di Bruxell del 1957. Il concetto posto alla base del progetto è quello del rifugio: spazio primordiale dell'abitare. Un concetto che Le Corbusier traduce in una massa plastica. Da una concezione strutturale esoscheletrica passa ad una concezione strutturale fondata sull'uso di gusci e superfici curve. Struttura e involucro si fondono in un'unica superficie scritturale.

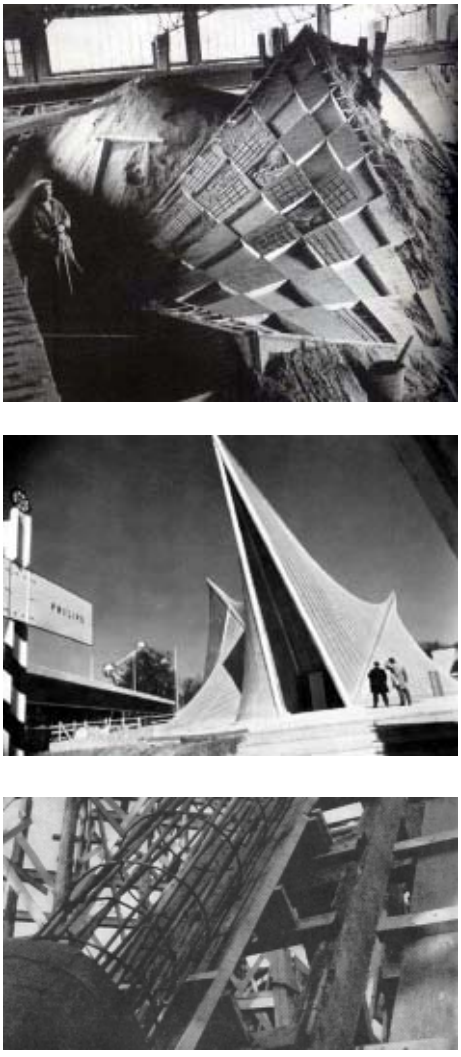
Jannis Xenakis, ingegnere, musicista e matematico è uno dei più efficaci collaboratori di Le Corbusier. Ed è proprio Xenakis che 'traduce' in costruzione le visioni spaziali del maestro"[10]. La realizzazione del Padiglione rappresentò in quegli anni un evento di straordinaria rilevanza per il livello d'innovazione ed il tasso di sperimentazione di cui si fece interprete: un 'oggetto' di alto artigianato industriale. La complessità delle geometrie 'costrinse' il team dei progettisti all'uso di modalità realizzative mai sperimentate prima e destinate a 'fare scuola'. Infatti, se l'utilizzo di forme 'sbilenche' non fu per quel periodo un elemento nuovo (furono molte le sperimentazioni condotte sui gusci sospesi), una novità fu sicuramente la concezione strutturale ed il processo costruttivo adottato. La realizzazione di un "guscio sottile" in calcestruzzo armato poneva i pro-gettisti dinanzi a numerose difficol-

tà, a partire dalle connessioni con la struttura di fondazione. I gusci furono realizzati in opera. In corrispondenza delle linee d'intersezione, costoloni cilindrici di calcestruzzo armato fungevano da ancoraggio per i cavi di precompressione.

Le lastre, di 1,5 m. di lato, spesse 5 cm, venivano realizzate a piè d'opera utilizzando come cassero un letto di sabbia che ne riproduceva agevolmente la complessa geometria della curvatura (una porzione di paraboloide iperbolico). Con questa tecnica furono realizzate



Figg. 4-5 - Le Corbusier, Padiglione Philips, Bruxell, 1957.
Schizzo di progetto e pianta dell'edificio



Figg. 6-8 - Le Corbusier, Padiglione Philips, Bruxell, 1957.
Fasi della costruzione

duemila lastre prefabbricate tutte diverse l'una dall'altra. I gusci, così ottenuti, sostenuti dall'impalcatura lignea, fungevano da piano di riferimento per la disposizione delle armature ed il getto di completamento.

I cavi dell'armatura di precompressione, trefoli spessi 8 mm, furono disposti secondo una griglia di 50 x 50 cm. e sottoposti ad una tensione 'lenta'. A getto realizzato si completava la trazione dei cavi, fino a raggiungere il 100% della compressione prevista[11].

J. Utzon, Opera House, Sydney, 1956-1973[12]

Una delle più significative architetture realizzate nel XX sec., il Teatro dell'Opera, è divenuto un'icona della città di Sydney[13]. Progettato dall'architetto danese Jorn Utzon, l'edificio sorge nella baia di Sydney segnandone il panorama con i suoi 'gusci a sezione sferica' visibili a distanza: un'immagine che rimanda alle vele delle barche ormeggiate nella baia.

Tralasciando le pretestuose critiche che furono mosse al progetto di Utzon durante la fase di espletamento del concorso, resta assolutamente innegabile l'originalità di quest'opera che ruppe tutti i canoni stilistici della produzione architettonica di quegli anni.

Lo studio Ove Arup, il più prestigioso gruppo di ingegneria multidisciplinare, affiancò Utzon nello sviluppo del progetto esecutivo. Come realizzare le enormi 'conchiglie' della copertura, la 'quinta facciata' come la definiva Utzon, questa la sfida alla quale fu chiamato il





Figg. 9-10 - J. Utzon, Opera House, Sydney, 1956 –1973. Fasi di costruzione e vista del Teatro dalla baia di Sydney

team dei progettisti. La messa a punto della soluzione richiese circa quattro anni di lavoro e numerose sperimentazioni condotte su prototipi.

Uno degli aspetti più complessi da affrontare fu la geometria dei gusci, la loro 'discretizzazione', oltre chiaramente a tutti i problemi strutturali che una struttura a guscio di quel tipo poneva. Ben 375.000 ore di lavoro non produssero ini-

zialmente risultati soddisfacenti, finché Utzon, nell'autunno del 1961, non propose di derivare tutti i gusci della copertura dalla superficie di una sfera virtuale di raggio definito (75 m.).

Le incalcolabili geometrie furono così 'discretizzate' in geometrie elementari.

Fu così possibile prefabbricare, con elementi di dimensione accettabile i gusci delle volte, che pur ridotte a 'frammenti del tutto', restituivano nel loro insieme, in un'immagine unitaria, l'armonia dalla sfera che li aveva generati. I gusci di copertura sono, infatti, quarti di un'unica sfera e sono composti di elementi a traliccio prefabbricato, rivestiti con piastrelle svedesi bianche, del tipo Höganäs, che nonostante si mantengano pulite per la loro natura intrinseca, sono oggetto di una periodica manutenzione e sostituzione.

R. Meier, Chiesa Dives in Misericordia, Roma, 2000

"*Cinquanta chiese per Roma 2000*", programma da realizzarsi in vista del Giubileo, fu l'occasione per bandire un concorso internazionale di architettura ad inviti. I progettisti chiamati a partecipare al concorso furono Tadao Ando, Santiago Calatrava, Richard Meier, Gunter Behnisch, Peter Eisnman e Frank O.Gehry. A fine maggio 2006 il progetto proclamato vincitore per la Chiesa Dives in Misericordia è quello di R. Meier, indiscusso maestro americano. La Chiesa, con le sue 'vele' rimanda simbolicamente, nell'idea di Meir, "alla barca della Chiesa" che solca i mari del terzo millennio.



Fig. 11 - R. Meier, Chiesa Dives Misericordia, Roma, 2000. Fasi della costruzione

Il prospetto principale rivolto verso la strada di accesso al lotto è caratterizzato da tre 'vele' di calcestruzzo, la più grande delle quali è alta 26 m. Tra le vele si inseriscono vetrate che fanno penetrare la luce e creano degli scorci attraverso i quali ammirare l'interno. La scelta di utilizzare blocchi massivi di cemento prefabbricato fu sviluppata dallo studio Meier in collaborazione con il Gruppo Italcementi.

L'impresa scelta per i lavori fu la Lamaro, mentre la realizzazione dei conci fu affidata all'azienda di prefabbricati Edilgori di Terni.

Il lavoro di Italcementi fu integrato dal M.S.C. di Milano (per verificare gli effetti termici e l'influenza dei giunti tra gli elementi prefabbricati) e da Enel Hydro (per valutare la risposta sismica del

sito). Scelte fatte in ragione della necessità di soddisfare sia le esigenze architettoniche sia quelle di durabilità.

Le tre grandi vele sono costruite in moduli formati da conci prefabbricati di calcestruzzo, di cemento bianco ad alta resistenza.

I blocchi prefabbricati sono assemblati tra loro tramite un giunto ed un'armatura di post tensione costituita da cavi, orizzontali e verticali. La vela più esterna è composta da 78 conci, quella centrale da 104 e quella più interna da 176. Per facilitare la progettazione, la produzione ed il montaggio, fu necessario contenere al minimo le tipologie di elementi: le tre vele, geometricamente, sono porzioni rettangolari di sfere aventi identico raggio esterno ed interno e sono ottenute dall'aggregazione di soli 22 tipi di pannelli. Tra i pannelli è stato necessario prevedere un giunto che permettesse adeguati margini di tolleranza, al fine di agevolarne il posizionamento sulle carpenterie.

Il calcestruzzo iniettato nei giunti, molto fluido, aveva inerti di 3 mm di diametro ed aveva un modulo elastico molto vicino a quello del calcestruzzo utilizzato per i conci. Il conglomerato dei conci è stato confezionato con marmo di Carrara macinato in modo da ottenere un conglomerato avente una resistenza caratteristica superiore ai 700 Kg/cm². L'uso della pietra di Carrara ha permesso di soddisfare i requisiti prestazionali ma anche di soddisfare la richiesta di Meier, che voleva fosse durabile nel tempo il caratteristico colore bianco dei conci. Data la notevole presenza d'inquinamento urbano si optò per l'impiego di Cemento bianco TX, un cemento sviluppato specificamente da Italcementi utilizzando come componente il biossido di Titanio (TX Millennium), Il TX Millennium attraverso l'azione fotocatalitica del biossido di titanio provoca l'ossidazione delle sostanze organiche presenti nello smog, che vanno a depositarsi sulle superfici delle vele.

Le strutture di fondazioni delle vele sono formate da tre robuste mensole curvilinee, ad L rovescia, incastrate in una platea di 2,00 m di spessore a sua volta palificata, per evitare anche i minimi cedimenti.

Alla trave di fondazione sono fissate le piastre di ancoraggio dei cavi di precompressione dell'armatura verticale delle vele.

La realizzazione delle mensole, costruite in opera, richiese margini di tolleranza dimensionali esigui, anche per garantire la continuità dei cavi di precompressione all'interno delle guaine. Il concio è formato, infatti, da una 'gabbia di armatura' racchiusa entro lastre d'acciaio contenenti anche i fori per il passaggio dei cavi delle armature. I cavi, orizzontali e verticali, e le barre garantiscono la stabilità della vela, ma anche una compressione sulla superficie che impedisce la formazione di fessurazioni nei conci e nei giunti.

I casseri utilizzati per la prefabbricazione dei conci sono stati progettati in modo che la superficie dei conci risultasse liscia e priva di imperfezioni. Il calcestruzzo all'interno delle casseformi è stato compattato mediante vi-

bratori fissi, applicati esternamente, modulabili nella frequenza di vibrazione e vibratori interni. Il disarmo dei conci è avvenuto in modo da mitigare e controllare il ritiro ed eventuali fessurazioni del calcestruzzo. Per evitare ciò, dopo il disarmo i pannelli sono stati stagionati in una camera di maturazione con acqua nebulizzata, la cui funzione era di assicurare il perdurare di un ambiente saturo rispetto alle condizioni termoigrometriche del manufatto.

L'assemblaggio dei conci è stato un'operazione molto complessa. I conci sono stati bloccati sul piano verticale attraverso barre d'acciaio poste tra i giunti. All'azione delle barre si è aggiunta quella dei cavi di post-tensione verticali, ancorati in fondazione ogni due ordini di conci per la prima vela, ogni tre per la seconda e la terza. Sul piano orizzontale la post-tensione è stata ottenuta con cavi introdotti al completamento di ogni corso. Una volta bloccati i conci con le barre e i cavi si procedeva al getto del giunto con Mapei fluid della Mapei.

La complessità della struttura ha reso necessarie, al fine del collaudo delle vele, una serie di prove di carico statiche e dinamiche. I risultati delle prove corrispondevano perfettamente ai dati teorici prefigurati dal progetto: ciascuna vela, anche se formata da più conci assemblati, presentava il comportamento caratteristico di un corpo omogeneo ed elastico, soddisfacendo i risultati attesi.

In conclusione, si può ritenere che la 'magia' del cemento armato non solo abbia fornito gli strumenti per la realizzazione di quel rinnovamento dell'architettura che va sotto il nome di Movimento Moderno, ma sia valsa anche a realizzare quelle opere di rilevante pregio che hanno riscattato, almeno in parte, la mediocrità e il basso livello di tante costruzioni speculative che hanno sconvolto tanti centri storici e ambienti naturali.



Fig. 12 - R. Meier, Chiesa Dives Misericordia, Roma, 2000. Fasi della costruzione



Fig. 13 - R. Meier, Chiesa Dives Misericordia, Roma, 2000. Vista dall'alto

[1] C.G. ARGAN, voce *"Architettura"* in *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, Roma, Istituto Editoriale Romano, 1968.

[2] L'uso del cemento armato per la realizzazioni di scafi e piroscafi è un filone percorso con alterne vicende fino al 1950 circa. Gli esempi più significativi sono quelli realizzati da P.L. Nervi. Tutte le sperimentazioni, tuttavia, come il primo natante di Lambot, sono rimaste solo prototipi.

[3] L'ingegnere Francesco Coignet, nel volume "*Béton agglomerés appliqués à l'art de costruire* (1861) pubblica i risultati sperimentali sul comportamento di travi, solette e volte.

[4] R. DE FUSCO, *Storia dell'architettura contemporanea*, Bari, Universale Laterza, 1974, pp. 169-171.

[5] G. DORFLES, *L'architettura moderna*, Milano, collezione «I Garzanti», 1972, p.131.

[6] R. DE FUSCO, *Storia dell'architettura contemporanea,* cit., p.273.

[7] Cfr. P. L. NERVI, *Costruire correttamente*, Hoepli, Milano, 1955.

[8] P. CEVINI, *Grattacielo Pirelli*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1996, pp. 55 e 99.

[9] Per una più esaustiva trattazione del *caso*, cfr. J.PETIT, *Le Poème Electronique*, *Le Corbusier*, Les Editions de Minuit, Parigi, 1958; M. TREIB, *Space calculeted in seconds: the Philips Pavillion, Le Corbusier*, Edgard, Princeton University press, 1996; A. CAPANNA, *Il Padiglione Philips a Bruxelles*, testo & immagine, Torino, 2000.

[10] Un contributo centrale fu offerto anche da Vredenburgh, ingegnere strutturista dell'Università di Dert e dall' impresa esecutrice, la belga Strabed, che sotto la direzione dell'ingegnere H.C.Duyster, specializzato in cemento precompresso, sviluppò le procedure per la realizzazione di pannelli prefabbricati a piè d'opera.

[11] Le operazioni di tesatura furono messe a punto dall'impresa Strabed.

[12] Per una più esaustiva trattazione, cfr. F. FROMONOT, *Jørn Utzon, architetto della Sydney Opera House*,Electa, Milano 1998.

[13] Nel 2007 il Teatro è stato riconosciuto dall'UNESCO Patrimonio dell'Umanità.

GIOVANNA GRECO

Costruire con la terra cruda: un esempio dall'antichità

*Ed essendo gli uomini atti per natura ad imitare e imparare gloriandosi delle proprie invenzioni, mostravano l'uno all'altro le loro costruzioni e così, esercitando l'intelligenza con l'emulazione, di giorno in girono miglioravano nei loro criteri. E per prima cosa, alzate delle forche e interposte dei rami, fabbricarono le pareti col fango. Altri, facendo seccare l'argilla, costruivano muri che legavano con legname e ricoprivano di canne e frondi contro le piogge e i calori. Avendo poi constatato che nelle tempeste invernali i tetti non potevano reggere alla pioggia, costruiti dei tetti a punta, spalmati di fango coll'inclinazione del tetto determinarono lo scolo delle acque. (*Vitr. *De Architecutra, II, 1, 3;* trad. S. Ferri, Roma 1960).

Costruire con la terra cruda costituisce una delle forme primarie, ma allo stesso tempo maggiormente diffuse, nella tecnologia della costruzione[1].

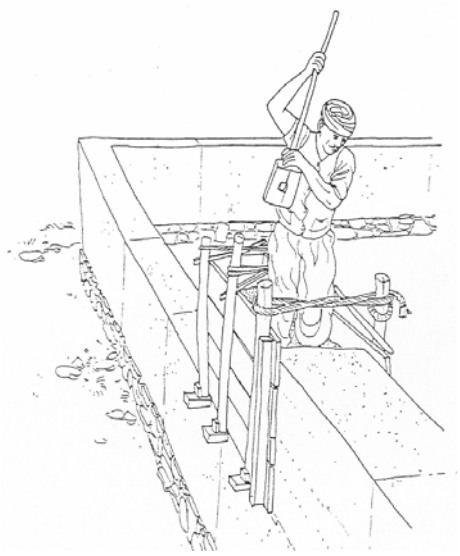
Il mondo antico restituisce un *dossier* documentario quanto mai vasto ed articolato che, se da un lato, mostra come tradizioni locali attestate già nel neolitico, in Grecia, non siano mai state interrotte, dall'altro evidenzia chiaramente quanto sia variegato, sfaccettato, diversificato e composito questo antichissimo metodo costruttivo. La sua storia è lunga, complessa, segue percorsi non sempre lineari, a volte paralleli, in ambienti differenti, ed il dibattito che si è andato sviluppando ne costituisce il riflesso problematico, non sempre chiarificatore.[2]

La presenza e lo sviluppo di un'architettura in terra cruda è stata sempre fortemente correlata alla situazione geomorfologia dei luoghi, alla economicità e rapidità di approvvigionamento della materia prima, ad una maggiore facilità di lavorazione. Sono sicuramente considerazioni valide che trovano ampia verifica e documentazione ma che non possono riassumere e comprendere una realtà che si presenta molto più complessa e sfaccettata. Così, in una cornice di economicità e facilità di approvvigionamento della materia prima, non si inserisce pienamente, ad esempio, la testimonianza conservata in un'iscrizione di Delo dove è riportato l'acquisto di terra da Mykonos (IG XI 2,219°, 1, 57) o quella delle iscrizioni ateniesi che rendono conto dell'acquisto di paglia secca (IG II, 1672, I, 57).

Ed anche la problematica legata alle numerose varianti operative nell'impiego della terra cruda, appare ancora piuttosto nebulosa e la documentazione archeologica, allo stato attuale degli studi, risulta del tutto sbilanciata; mentre infatti si dispone di una più ampia evidenza relativa all'impiego del mattone crudo di cui si riconoscono forme e moduli

che differiscono sia per ambiti regionali sia all'interno di un unico complesso ed a volte anche all'interno di uno stesso edificio,[3] non disponiamo di una altrettanto valida documentazione per i vari tipi, forme e materiali della cassaforma dove veniva pressata la terra cruda né d'altra parte si dispone di una documentazione materiale certa e reiterata relativa alla disposizione dei diversi filari per gli elevati di terra pressata.

Delle tre varianti tecnologiche note- il *torchis*, il *pisè* ed il mattone crudo[4] - la distinzione più evidente è data dalla forma del mattone mentre per le altre due varianti la differenziazione, a livello di evidenza materiale, risulta più difficile e sfuggente. È il caso anche di registrare una difficoltà di fondo della ricerca archeologica che non sempre è in grado di distinguere i residui materiali del costruito in terra cruda; nelle relazioni di scavo, infatti, a fronte del recupero di frammenti informi di argilla concotta o sfarinata si è propensi ad ipotizzare elevati in mattoni o più genericamente elevati in crudo e solo raramente si affronta il problema della presenza o meno di graticci o casseforme lignee dove era stata pressata la terra.



Alla difficoltà di riconoscere praticamente i residui materiali del costruito in terra cruda si deve aggiungere la possibilità - da non escludere del tutto - che le varianti tecnologiche potevano coesistere nello stesso ambiente se non nello stesso edificio dove poteva essere adottato il mattone crudo per alcuni elevati, il *pisé* per altri tipi di elevati ed il semplice *torchis* per gli intonaci[5].

E seppure la base materiale della costruzione è la terra, estremamente differenti e vari sono i componenti e gli additivi aggiunti per creare la materia atta alla costruzione, così come differiscono i metodi di applicazione e di sostegno della muratura; ogni ambiente ed ogni cultura sembra comportarsi diversamente e sviluppare una propria tecnologia specifica della costruzione in terra, rendendo quindi del tutto improponibile letture ed analisi generalizzate e complicando ancor più il riconoscimento e la corretta interpretazione del residuo restituito da uno scavo archeologico.

L'impiego dell'elevato, realizzato con livelli successivi di terra cruda pressata, sembra essere molto più diffuso di quello che le relazioni di scavo fanno presupporre e gli esempi non mancano: a Sardi,nell'entroterra dell'Anatolia, le case arcaiche costruite nel corso del VI sec. a.C. presentano muri realizzati con

una zoccolatura in pietra ed un elevato in terra cruda dove sono attestate le due varianti in mattoni crudi ed in *pisé* .

E la tradizione continua largamente se a Delo è stata portata alla luce una casa costruita nel corso del III sec. a . C. che presentava gli elevati realizzati con livelli successivi di argilla pressata[6] e per l'età romana sono editi alcuni edifici di Ampurias.[7]

In Magna Grecia e Sicilia sono numerosi gli esempi dove le due varianti tecnologiche sembrano coesistere: a Siris è stato riconosciuto un elevato in legno e *pisé* alternato al mattone crudo[8] ed a Locri nel santuario di Marasà è stato esplorato un *oikos* arcaico risalente ancora alla prima metà del VII sec. a.C. il cui elevato era in *argilla e legno*[9] ; il tempio arcaico che verrà costruito alla fine del secolo presenta i muri perimetrali realizzati con uno zoccolo in pietra ed un elevato costruito con argilla cruda trattenuta da una intelaiatura di legno. Lo scavo di Locri ha restituito una testimonianza di grande valore sul piano dello sviluppo della tecnologia specifica del costruire in terra cruda; sono state, infatti, recuperate una serie di lastre in terracotta dipinta che fungevano da rivestimento decorativo della parete[10]; le lastre conservano i fori per il fissaggio alla parete ed è stata avanzata l'ipotesi che l'elevato fosse costruito con un vero e proprio telaio ligneo, struttura portante della terra cruda[11]. D'altra parte una serie di modellini in terracotta - non sappiamo se di tempio o di casa - rinvenuti sia ad Argo che a Perachora e datati ancora nel corso del VII sec. a.C., presentano le pareti dipinte restituendo così quello che doveva essere il sistema di ornato parietale applicato direttamente sull'elevato in crudo.[12]

La recente esplorazione ad Ischia di un complesso abitativo a Punta Chiarito ha restituito l'evidenza di una casa costruita tra VIII e VII sec. a.C. che , il rinvenimento di alcuni nuclei di argilla cruda con tracce posteriori di incannucciata, lascia ipotizzare la possibilità che l'elevato delle pareti fosse in terra cruda [13], mentre a Cuma, un recentissimo rinvenimento, ha documentato la presenza di una casa arcaica costruita nei decenni finali dell'VIII sec. a. C. i cui muri perimetrali sono realizzati con una zoccolatura in pietra a secco ed un elevato in *pisé*; sono stati infatti raccolti numerosi frammenti di nuclei di terra cruda argillosa che conserva, posteriormente, la traccia orizzontale della cassaforma e, anteriormente, un leggero strato di intonaco sottile biancastro.[14]

Gli esempi potrebbero essere molto più numerosi se si riuscisse a superare l'equivoco, sempre presente nelle relazioni di scavo, dell'utilizzo del mattone crudo o del più semplice *pisè*;[15] emblematico il caso dell'Amastuola di Taranto, dove, a fronte del riconoscimento, nel corso dello scavo, di *argilla disfatta* si ipotizza un elevato in mattone crudo[16] .

Ad Elea, dove è largamente documentato l'uso del mattone crudo e dove è stato possibile riconoscere moduli e forme del mattone, non abbiamo, in realtà ancora tracce significative per ipotizzare l'uso del *pisé*.[17]

Nel mondo indigeno dell'Italia antica la tecnica del costruire in terra cruda è quanto mai diffusa e le evidenze spaziano dall'età del bronzo e del ferro (Scoglio del Tonno, Broglio di Trebisacce, Termitito, Thapsos, Colle Metapiccola di Leontinoi) e fino all'età ellenistica.[18]

Nei numerosi siti indigeni della Lucania antica, le strutture abitative presentano, generalmente, le murature realizzate in zoccolatura di pietra ed elevato in terra cruda: così ad Oppido Lucano[19] come a Pomarico[20]; strutture di maggior pregio messe in luce a Lavello che rivestivano probabilmente funzioni pubbliche, presentano elementi decorativi a rilievo e dipinti.[21]

Serra di Vaglio: un'esperienza di archeologia sperimentale

In questo quadro di riferimento, sommariamente delineato, si inserisce l'esperienza realizzata a Serra di Vaglio ormai nel lontano 1989[22].

La collina di Serra S. Bernardo di Vaglio si trova a circa 18 Km. a NE di Potenza ed ospita, sul pianoro del colle, a circa m. 1095 s. l. m., un insediamento indigeno che vive , senza soluzione di continuità dall'VIII sec.a. C. alla fine del III sec.a.C., ed ha tratto sviluppo, ricchezza e potenza proprio dalla sua posizione strategica, a controllo dei percorsi naturali che collegavano la costa ionica alla costa tirrenica.

L'abitato si organizza già nel corso dell'VIII sec. con un agglomerato di capanne che assume modalità e forme piuttosto complesse ed articolate tra strutture abitative e strutture funzionali, tra spazi coperti e spazi scoperti. Le due capanne scavate presentano una struttura costruttiva piuttosto interessante dove già compare lo zoccolo in pietra a formare la pianta leggermente polilobata o ellittica del vano interno; sullo zoccolo si impianta l'elevato in terra cruda sorretto da incannucciata e pali di legno, di cui rimangono chiare le tracce; è interessante sottolineare come le pareti così realizzate fossero completate da un sottile intonaco che, nei frammenti conservati, presenta una coloritura biancastra.

Ed anche nell'impiego della terra cruda, le capanne di Serra di Vaglio, restituiscono l'evidenza di una diversità e varietà di applicazione e di lavorazione, lì dove per il pavimento interno viene utilizzata una terra pressata e mescolata con argilla giallastra mentre per la pavimentazione esterna viene usato un additivo differente che restituisce una diversa colorazione; un modo elaborato e ricercato per differenziare interno ed esterno. Ed il livello di articolazione raggiunto nell'impiego della terra cruda trova un documento quanto mai eloquente in un frammento in terra cruda pertinente ad un elevato che, sul lato posteriore conserva i chiarissimi segni della incannucciata; in facciavista si conserva una decorazione caratterizzata da profonde scanalature tra due fasce parallele aggettanti; è chiaramente un elemento decorativo che disegna un rudimentale meandro o una sorta di triglifo (se non è azzardata la definizione, una sorta di proto elemento architettonico) pertinente quindi ad una strut-

tura di un certo rilievo, con una sua ricercata monumentalità.[23]

Nei decenni iniziali del VI sec.a. C. nell'abitato indigeno avvengono importanti fenomeni di trasformazione senza dubbio determinati da una maggiore e più evidente influenza delle genti greche della costa; l'abitato si struttura con edifici ampi, a pianta rettangolare allungata, allineati su un primitivo asse stradale e caratterizzati dall'uso generalizzato e costante della decorazione fittile del tetto con terrecotte architettoniche policrome, di impronta ellenica.

Tra VI e V sec. a. C. l'abitato indigeno della Serra vive un momento di grande floridezza economica e prosperità.[24]

Dinamiche interne di sviluppo e di trasformazione portano l'insediamento ad organizzarsi, tra fine V e nel corso del IV sec. a.C., con un abitato molto più fitto di case orientate lungo l'asse centrale e con una possente cinta di fortificazione che circonda il colle su tre lati e che conserva almeno due monumentali porte di accesso: quella orientale e quella settentrionale.[25] Queste importanti trasformazioni politiche e territoriali coincidono con l'affermarsi dell'*ethnos* lucano nel territorio.

La guerra annibalica e lo scontro con Roma hanno effetti devastanti nell'abitato - centro politico di una realtà cantonale più ampia - ed i segni di una distruzione violenta che si colgono numerosi sulle strutture sia della fortificazione che delle case sono chiaramente da porre in relazione con eventi bellici disastrosi; le evidenza archeologiche scompaiono improvvisamente nei decenni finali del III sec.a. C e l'abitato di Serra di Vaglio cessa di esistere mentre, agli inizi del II sec. a C. nasce, poco distante, la colonia latina di *Potentia.*

La casa dei pithoi: lo scavo

In due successive campagne di scavo tra il 1986 ed il 1987, è stata messa in luce una struttura abitativa di particolare interesse e complessità che conserva una successione stratigrafica, completa ed emblematica sintesi di tutta la vita dell'insediamento indigeno; nel limitato spazio di un'unità domestica è stata identificata e restituita l'evidenza archeologica della continuità d'uso dall'VIII sec. a. C. alla metà circa del III sec. a.C.

La casa, nella planimetria finale, è stata costruita ed utilizzata nel corso della seconda metà del IV sec. ed è rimasta in uso fino al momento di abbandono dell'insediamento.

I muri perimetrali, tuttavia , sono di riutilizzo ed appartengono ad una casa preesistente risalente al V sec. a. C.; quest'ultima, a sua volta, si è impiantata, tagliandola ed obliterandola, su una capanna di VIII sec. e su un nucleo di sepolture di pieno VII sec.a.C.

Dunque una sequenza stratigrafica che rappresenta l'intera vita dell'insediamento.

Lo scavo particolarmente delicato e complesso, ha tuttavia consentito di recuperare tutti i dati essenziali e significativi per la lettura delle sovrapposizioni di fasi edilizie e soprattutto ha restituito una notevole quantità di dati tecnici re-

lativi tanto alla planimetria ed alla scansione degli spazi quanto proprio ai particolari tecnici della costruzione.

La casa riferibile al IV sec. a. C. presenta lo spazio interno suddiviso in tre vani con l'impianto di muri divisori; i muri perimetrali sono di riutilizzo, nella zoccolatura in pietrame; il piano pavimentale è stato rialzato ed è stata coperta un'area che, nella fase precedente, era acciottolata e scoperta; al muro perimetrale occidentale sono stati appoggiati due vani secondari ed una scala per l'accesso ad un piano superiore.

È stata chiamata *casa dei pithoi* perché in uno degli ambienti, chiaramente di deposito, erano addossati, alla parete orientale, in ordine, in fila e rincalzati con pietrame, quattro grossi *pithoi* per derrate alimentari

L'accesso al secondo vano è segnato da una soglia in pietra con larghi basoli bianchi ed era chiuso da una porta in legno di cui sono state riconosciute chiarissime le tracce dei montanti lignei carbonizzati, grappe e chiodi in ferro; è stata recuperata anche la chiave in ferro.

Il secondo vano è chiaramente definito dalla presenza del focolare, delimitato da un circolo di pietre disposte a taglio sul battuto; un telaio verticale, a parete, era addossato alla parete SO; si raccolgono 108 pesi trapezoidali in terracotta; un piccolo zoccolo in muratura addossato alla parete SE doveva costituire la base di un piccolo armadio ligneo di cui si recuperano tracce carbonizzate; i frammenti di un louterion in terracotta su colonnina scanalata e numeroso vasellame da cucina definiscono le diverse funzioni dell'ambiente.

Il vano con telaio e focolare è in comunicazione con uno stretto vestibolo che comunica con l'esterno attraverso un'apertura ristretta, sul lato SE.

Le mura perimetrali e quelle divisorie sono realizzate con identica tecnica: zoccolatura in pietra a secco ed elevato in *pisé* documentato da numerosi frammenti di nuclei recuperati nei crolli che presentano, sul lato posteriore, la traccia delle costolature del legno e su quello anteriore un leggero strato di intonaco sottile. Nei nuclei recuperati sono evidenti le tracce degli elementi vegetali aggiunti all'argilla.

La casa era coperta da un tetto pesante di tegole e coppi con fila di *kalypteres heghemones* sul colmo; la presenza di due aperture, una a parete ed una a soffitto sono attestate dal recupero di due *opaia* in terracotta.

La casa occupa una superficie di 65 mq. ed è orientata NO-SE.

La conservazione

Al termine dell'esplorazione è sorta la necessità da un lato di conservare le realtà strutturali messe in luce, dall'altra di rendere fruibile l'area occupata dalla casa eventualmente coprendo e proteggendo le realtà sottostanti.

Il progetto elaborato risponde a più di un'esigenza e nasce dal tentativo di conservare e restituire alla fruibilità del pubblico, in una soluzione unitaria, la complessità strutturale dell'insediamento non affidandosi unicamente a pannelli esplicativi o a modellini ricostruttivi.

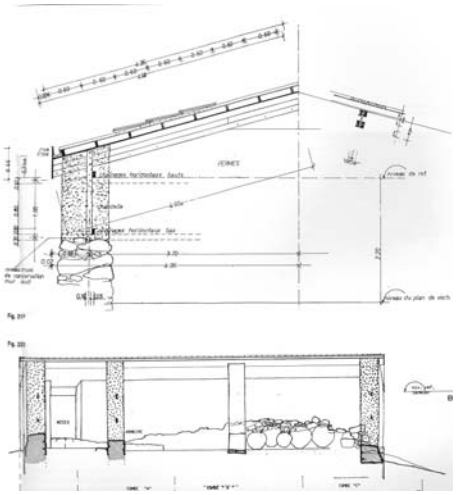
Va inoltre sottolineato che il sito archeologico di Serra di Vaglio non è mai entrato in un circuito turistico di grande portata, ma è rimasto e rimane tuttora piuttosto isolato e marginale al grande pubblico che solitamente si dirige verso i parchi archeologici di Metaponto e Policoro; inoltre della realtà monu-mentale di Serra colpisce quasi esclusivamente la fortificazione con le possente mura conservate, in alcuni tratti, in altezza con più filari di blocchi, mentre dell'abitato non si è in grado di riconoscere case e strade rimanendo l'evidenza strutturale al solo filare dello zoccolo in pietre delle fondazioni; l'illustrazione della storia del sito e della sua monumentalità rimaneva esclusivamente affidata a qualche pannello o depliant illustrativo.

L'ipotesi quindi di ricostruire una unità abitativa nella sua volumetria e nei suoi elementi strutturali rispondeva ad una esigenza di comunicazione e di fruibilità ed allo stesso tempo voleva costituire un esperimento, del tutto nuovo, di riproporre l'impiego della tecnologia antica della terra cruda evitando interventi invasivi o l'impiego di materiali nuovi; lo sforzo maggiore è stato quello della conservazione in *situ* per una fruibilità chiara delle successioni stratigrafiche e strutturali così da consentire una lettura immediata e completa dei modi e delle forme di occupazione ed abitazione sul pianoro della Serra nel corso di circa cinque secoli di vita.

Questo obiettivo si poteva raggiungere solo restituendo la volumetria della casa di IV sec. a. C. che finiva così per rivestire una funzione di contenitore, di protezione e tutela per le strutture sottostanti, non altrimenti fruibili; dunque un progetto complesso che, proponendo una casa lucana di IV sec. a. C. consentisse di vedere, comprendere e tutelare, la successione strutturale dell'insediamento dall'VIII sec. a. C al III sec. a.C.

La base essenziale del progetto è stata la registrazione attenta e puntuale di tutte le unità stratigrafiche dello scavo, la minuziosa registrazione di ogni anomalia ed evidenza, la raccolta completa dei materiali; la rigida e stringata metodologia scientifica di ricerca non ha lasciato spazio ad ipotetiche e fantasiose ricostruzioni.

Il progetto[26]



Le fondamenta

Le fondazioni integre non sono state toccate ed il problema da affrontare per primo ha coinvolto proprio la zoccolatura in pietra a secco sia dei muri perimetrali

che di quelli interni divisori. I muri si presentavano, al momento dello scavo, conservati ad altezze differenti e con spanciature e qualche lieve lacuna; per evitare in ogni modo l'inserimento di malte moderne e comunque rinforzare e sostenere la zoccolatura di fondazione stato sperimentato un accorgimento innovativo con micropaletti di acciaio inossidabile conficcati nel terreno fino al livello attuale del suolo, lungo le pareti esterne perimetrali; questa serie di paletti, praticamente invisibili, svolgono la funzione di sostenere e rinforzare lo zoccolo in pietrame e possono essere moltiplicati a seconda della necessità di stabilità della muratura. L'altezza conservata dello zoccolo in pietra è stata sempre rispettata e la sovrapposizione dei filari successivi di *pisè* ha consentito di lasciare esattamente lo zoccolo nel suo stato di rinvenimento .





L'elevato

Per l'elevato è stata riproposta la muratura in terra argillosa sgrassata con paglia; l'argilla è stata reperita lungo il Basento e la paglia secca ed asciutta è stata fornita da contadini del posto; sono state create sul sito delle vasche piuttosto larghe e poco profonde dove poter far decantare l'argilla con l'acqua prima di impastarla con la paglia e lavorarla col badile per renderla uniforme e compatta .

Questo composto di terra e paglia è stato costipato, su diverse assise, entro casseformi di legno ed è stato a lungo pressato con un pestello di legno costruito appositamente.

La cassaforma è stata realizzata con due fiancate di legno identiche intervallate da paletti di legno verticali; si è avuta cura di realizzare contemporaneamente ed allo stesso modo sia la muratura esterna che quella interna dei muri divisori. Realizzata la prima colata si è proceduto alla seconda ed alle successive iniziando sempre dallo stesso angolo della struttura e sformando di volta in volta la cassaforma.

Nella muratura delle pareti ricostruite è stata impostata una intelaiatura in legno funzionale sia alla ricomposizione della parete che a sostenere la struttura del tetto, così come era nell'antichità.

L'elemento moderno è costituito dall'adozione di grappe e chiodi in acciaio e non in ferro come documentati dallo scavo.

Per l'altezza dei muri , dal momento che dallo scavo non si ricava alcun elemento utile, è stato operato un calcolo proporzionale fra lo spessore dello zoccolo in pietra ed il peso che esso poteva sostenere; inoltre si è calcolato un'altezza media umana per rendere facile l'accesso e la visita all'interno, riservando così uno spazio di m. 2,02 fin sotto l'architrave della porta di accesso. I muri sono stati ricoperti da un leggero intonaco ottenuto anch'esso da argilla sgrassata maggiormente e lavorata più finemente con la paglia.

Sebbene lo scavo abbia restituito frammenti di *opaia* funzionali alla chiusura di finestre, tuttavia non ha dato alcun valido elemento per una esatta ubicazione delle aperture che dunque risultano arbitrarie e dettate prevalentemente dal problema dell'esposizione ai venti mentre si è volutamente tralasciata l'apertura sul tetto (funzionale in antico alla sola fuoriuscita del fumo) per problemi di protezione ed impermeabilizzazione della copertura.[27]

Il tetto

Il tetto era sicuramente a doppio spiovente coperto con tegole e coppi, ma non possiamo ricostruire con esattezza l'inclinazione del tetto; l'aver recuperato un consistente numero di tegole, ha consentito la restituzione di una falda completa della copertura. Nella ricostruzione del tetto sono intervenuti elementi valutativi contingenti che hanno suggerito un intervento maggiormente protettivo rispetto a quella che doveva essere la copertura in antico; questa infatti era costituita essenzialmente da una travatura lignea protetta e ricoperta da una *couche* di terra cruda più sottile ed omogenea sulla quale era sistemato il manto di tegole e coppi.

Problematiche di fruizione e valutazioni economiche e temporali hanno portato a sostituire la semplice *couche* di argilla con lamiere di acciaio le cui nervature sono state riempite dell'argilla impastata e su questa è stata ricom-posta una falda con le tegole antiche recuperate dallo scavo.

Per lo smaltimento delle acque è stata impostata una grondaia coperta da una fascia di legno che riprende il modello del fregio ligneo

Della decorazione con terrecotte architettoniche - soprattutto antefisse e tegole dipinte - che doveva completare la composizione del tetto è stata proposta una restituzione grafica dal momento che lo scavo aveva restituito un numero così limitato di elementi da non consentire una loro reale ricollocazione.



Interno

I piani pavimentali in terra battuta sono stati integralmente conservati così come definiti al momento dello scavo sia quelli relativi alla casa di IV sec. che, attraverso dei vuoti, quelli della casa di V sec. a. C. I piani pavimentali sono stati ripuliti e trattati semplicemente con un preparato incolore legante conservativo.

Nell'ambiente del deposito sono stati ricollocati i *pithoi*, restaurati mentre nell'ambiente del focolare è stato ricostruito il telaio a parete con i pesi e l'armadio. Per consentire la lettura e la visibilità della capanna di VIII e delle sepolture di VII è stata creata una stretta e modesta infrastruttura a passerella che consente il passaggio lungo la parete occidentale della casa sia nel vano-telaio che nel vano-deposito .

Il piano acciottolato della capanna è stato semplicemente rinsaldato ed il battuto pavimentale è stato consolidato con preparato legante incolore. Le sepolture sono rimaste in *situ* e lo scheletro è stato consolidato; solo gli oggetti del corredo sono stati sostituiti da copie realizzate da artigiani specializzati.

L'illuminazione avviene attraverso micro faretti sospesi mentre nel vano - vestibolo sono stati appoggiati alle pareti panelli illuminati che illustrano le diverse fasi dello scavo e del progetto.

Il progetto è perfettamente reversibile non essendo minimamente intaccata la struttura antica; l'unica infrastruttura moderna realizzata all'interno non poggia e non intacca la struttura antica avendo creato una intercapedine così da evitare qualunque danneggiamento della realtà antica.

Realizzazione del progetto

Il progetto è stato realizzato in quattro mesi nel 1989 ed è costato E. 516 a metro quadro. È stato realizzato con mano d'opera specializzata e con un esperto maestro carpentiere; è stato seguito in tutte le sue fasi dall'archeologo e dall'architetto ed è stato condotto sotto la direzione dell'Ufficio Tecnico della Soprintendenza Archeologica della Basilicata e del funzionario responsabile.

Fruizione ed obiettivi del progetto

La ricostruzione volumetrica di un'abitazione di IV sec.a. C. ha consentito di illustrare e presentare un modello di casa adottato dai Lucani nel centro di Serra di Vaglio ed ha permesso al visitatore di entrare in una realtà piuttosto fedele alla situazione del passato.

La restituzione consente una fruizione immediata, suggestiva e comprensibile sia del modo e delle forme dell'abitare di IV sec.a. C. sia delle sovrap-



posizioni strutturali che avvenivano nell'insediamento e propone al visitatore un diverso modo di comprendere l'antico, non attraverso illustrazioni e grafica ma realizzando praticamente una struttura nella sua completezza .

Bilancio

A distanza di circa 16 anni dalla realizzazione del progetto si registra un ottimo livello di conservazione delle diverse realtà archeologiche messe in luce , che non sono state semplicemente ricoperte, ma sono state rese visibili, fruibili ed al contempo ben conservate perché coperte e protette dal tetto.

L'impiego delle tecniche e dei materiali usati nell'antichità - legno, paglia ed argilla - ne ha verificata la validità e la solidità ed ha risposto pienamente alla situazione ambientale del sito : l'altitudine, la rudezza del clima con forti piogge, precipitazioni nevose ed ampia escursione termica tra il giorno e la notte non hanno minimamente intaccato la struttura che ha perfettamente conservato la sua stabilità che non ha mai subito, in tutti questi anni cedimenti o qualche danneggiamento; l'impiego dei micropaletti di acciacco ha assicurato perfettamente la stabilità delle zoccolature di fondazione che non hanno richiesto alcun intervento ulteriore.

Sono solo gli intonaci esterni a presentare fessurazioni e micro fratture ed in realtà la *casa di terra* richiede soltanto una costante, piccola manutenzione degli intonaci soprattutto esterni, quelli cioè maggiormente soggetti alle intemperie ed all'usura. Gli interni si sono perfettamente conservati e non richiedono ulteriori interventi; anche le pareti conservano ancora piuttosto bene gli intonaci superficiali. Il tetto non ha presentato alcun problema e non si sono verificate infiltrazioni.

Il progetto ha pienamente realizzato gli obiettivi principali che si era preposto sia sotto l'aspetto pedagogico e di comunicazione al grande pubblico sia, in modo particolare, di conservazione della sequenza stratigrafica individuata che consente di leggere in maniera diretta e semplice quasi una sintesi di tutta la vita dell'abitato sulla Serra: in un'unica realtà ricostruita è possibile conoscere quasi sei secoli di vita del sito ed entrare, fisicamente, in una casa che ripropone, per tecniche e materiali, quella che doveva essere la casa del IV sec. a. C. dei Lucani che abitavano sul pianoro.

[1] A. Gilbert, R. Mattone (a cura di), *Terra:incipit vita nova. L'architettura di terra cruda dalle origini al presente.* Atti del seminario .Politecnico di Torino 1998.

[2] R. Martin, *Manuel d'architecture grecque* ,I Paris 1965, pp. 46 ss.; De Chazelles –Gazzal , *Les maisons en terre de la Gaule méridionale,* Monographies Instrumentum 2, Montagnac 1997; C.A. De Chazelles, *Les procédés de construction en terre crue dans l'architecture protohistorique de Gaule mérdionale :acquis et problémes d'identification,* Cahier IV, 2002/03 CNRS, Université Paris X.

[3] Cfr. le case arcaiche di Elea: L.Cicala, *L'edilizia domestica tardo arcaica di Elea*,Quaderni del Centro Studi Magna Grecia 2, Pozzuoli 2002, pp. 206 ss.

[4] R. Ginouvès – R. Martin *Dictionnaire méthodique de L'architecture grecque et romaine. I Materiaux, Techniques de construction, techniques et formes du décor,* Rome 1985

[5] Cfr. il caso di Sardis, A. Ramage, *Lydian hauses and Architectural Terracottas,* London 1978.

[6] Martin , op. cit., p. 48.

[7] C.A. De Chazelles , *Les constructions en terre crue d'Empuries à l'époque romaine,* Cypsela 1990, pp. 101-118

[8] D. Adamesteanu, *Altri documenti di Siris. Due capitelli in antis,* in *L'incidenza dell'antico.* Studi in memoria di Ettore Lepore, Napoli 1996, vol. III, p. 452

[9] A. De Franciscis, *Il santuario di Marasà a Locri Epizefiri, I. Il tempio arcaico,* Napoli 1979, p. 35.

[10] ibidem, p. 61.

[11] G. Gullini, *La cultura architettonica di Locri Epizefiri* , Taranto 1980, p. 22.

[12] W.B.Dinsmoor, *The Architecture of ancient Greece* .New York 1950

[13] C. Gialanella, *Pithecusa: gli insediamenti di Punta Chiarito,* in Apoikia. Scritti in onore di G. Buchner, AION, N.S. I ,1994, p. 181, fig. 12.

[14] G. Greco, *Evidenze di età arcaica dal Foro,* in *Indagini archeologiche e nuove scoperte a Cuma.* Atti Seminario Università degli studi di Napoli, Federico II, Napoli 2007 , in cds.

[15] D. Mertens, *Città e monumenti dei Greci d'Occidente,* Roma 2006.

[16] G. Mareggi ,*Cristiano (Taranto). L'Amastuola,* in F. D'Andria – K. Mannino, *Ricerche sulla casa in Magna Grecia e Sicilia* , Galatina 1996, p. 207.

[17] Cicala, op. cit.,p. 198 ss.

[18] D. Mertens, op. cit.

[19] E. Lissi Caronna , *Oppido Lucano:quattro case di IV e III sec.a.C.*, in Atti MemMagna Grecia , XXIV-XXV, 1983-84, pp. 193-212.

[20] M. Barra Bagnasco , *Pomarico Vecchio I* , vol.I , Galatina 1997, p. 29,. nota 146.

[21] A. Bottini –M.P. Fresa, *Forentum II.L'acropoli in età classica,* venosa 1991, pp. 21 ss.

[22] G. Greco, *Serra di Vaglio . La casa dei pithoi,* Modena 1991 (con bibliografia precedente)

[23] ibidem , p. 15, fig. 42.

[24] A. Bottini – E. Setari , *La necropoli italica di Braida di Vaglio in Basilicata,* MAL, Serie Miscellanea, vol.VII , Roma 2003.

[25] G. Greco, *Per una definizione dell'architettura domestica di Serra di Vaglio* , in F. D'Andria –K. Mannino, op. cit, pp. 255-299.

[26] il progetto è stato elaborato dall'architetto J. Rougetet del Centro J. Berard di Napoli ed è stato realizzato con la direzione tecnica della Soprintendenza Archeologica della Basilicata.

[27] G. Greco – J. Rougetet, *La casa dei pithoi a Serra di Vaglio: proposta di un restauro,* Papers of IV Conf.of Italian Archaeology, London 1990 (London 1992), pp. 3-16.

Carmine Ianniello

Breve storia dell'evoluzione dei modelli per il suono nelle grandi sale

Introduzione

Nel passato la progettazione acustica di un auditorium aveva poco di scientifico e di ingegneria. Grandi sale con una buona acustica erano spesso il frutto di una certa dose di fortuna. L' architettura delle fortunate era imitata nell'intento di realizzare la stessa acustica ma non pochi risultati sono stati deludenti. Poco era noto sul perché una sala fosse acclamata per le sue qualità acustiche ed un'altra, apparentemente simile, non godesse pure di una reputazione simile.

Il disagio dovuto all'assenza di conoscenze scientifiche sull'acustica delle grandi sale è evidente nelle parole dell'architetto Jean Louis Charles Garnier (1825-1898) progettista della grandiosa Opéra di Parigi: "*…Mi sono preoccupato di conoscere a fondo questa bizzarra scienza* [dell'acustica] *ma…da nessuna parte ho trovato regole sicure che potessero guidarmi; al contrario solo contraddizioni…Io devo dichiarare di non aver adottato alcun principio, che il mio progetto non si basa su alcuna teoria e che dal caso soltanto attendo l'insuccesso o la riuscita …come un acrobata che ad occhi chiusi si aggrappa alle corde di un pallone che sale.*"[1]

È solo alla fine dell'ottocento che Wallace Clement Sabine (1868 - 1919), il pioniere dell'acustica architettonica quantitativa, gettò la prima luce sulla materia rimasta oscura per più secoli. È nota l'aneddotica su come questo sagace giovane ricercatore dell'Università di Harvard (USA) giunse alla determinazione della famosa formula del tempo di riverberazione, ancora oggi preziosa[2].

La formula del tempo di riverberazione di Sabine, rappresenta a ragione il primo modello matematico utile per l'ingegneria dell'acustica degli auditori. Successivamente, studi teorici e sperimentali sono stati pubblicati con un tasso crescente nel tempo nell'intento della previsione sempre più accurata delle loro prestazioni acustiche.

Questa nota descrive brevemente le linee fondamentali degli sviluppi in materia da Sabine ai giorni nostri. Sono esaminati i primi tentativi basati su modelli fisici bidimensionali con la visualizzazione ottica di certi aspetti della propagazione ondosa, studi acustici con modelli fisici tridimensionali in scala ridotta che in certe realizzazioni consentivano anche l'ascolto di come sarebbe stata l'esperienza uditiva della sala in progetto (auralizzazione) e, infine, i modelli al calcolatore sempre più perfezionati rispetto alle prime realizzazioni della fine degli anni sessanta che oggi consentono anche auralizzazioni realistiche del manufatto in progetto.

Modelli fisici bidimensionali e tridimensionali

Ultrasuoni e fotografia Schlieren

Nel 1913 Sabine[3] pubblicò un lavoro sperimentale basato su una tecnica da lui indicata come metodo di Toepler-Boys-Foley modificato per la ripresa fotografica di disturbi nell'aria. Sostanzialmente, si tratta delle prime applicazioni della visualizzazione di campi ultrasonici in fluidi trasparenti basata sull'interazione acusto-ottica (la parola tedesca *Schlieren* corrisponde a *striature*)[4]. In pratica, era costruito un modello in scala ridotta dell'auditorium in progetto dal quale erano rimosse delle superfici, ad esempio le pareti laterali sostituite da superfici trasparenti alla luce. Un suono di durata molto breve era prodotto nel punto in cui si supponeva collocata la sorgente reale e mentre il suono si propagava nel modello un lampo di luce prodotto da un lato del modello lo attraversava andando ad impressionare una lastra fotografica dall'altro lato. Usualmente, il flash era generato dalla scintilla che scoccava tra due elettrodi. Un dispositivo analogo era utilizzato come sorgente sonora impulsiva. La ripresa di fotogrammi in successione temporale forniva un'idea della propagazione e dell'interazione dei fronti d'onda. La Fig.1 riporta un'istantanea ripresa ed analizzata da Sabine per una sezione del modello del New Theatre di New York.

Un esempio ulteriore di studio è rappresentato più chiaramente nella Fig. 2 riportata da J. Engl[5]. Si tratta di un'istantanea Schlieren del modello della famosa sala da concerto Neues Gewandhaus di Lipsia distrutta dagli eventi bellici della II Guerra Mondiale. Sono evidenziati meglio gli effetti di diffrazione e diffusione causati dai dettagli geometrici del soffitto e le traiettorie delle onde.

Vasca con onde superficiali sull'acqua

Questa tecnica, nota anche come "ripple tank", è stata usata spesso nel passato. La Fig. 3 mostra la realizzazione dell'apparato come riportato da Davis e Kaye[6]. Una vasca con il fondo trasparente aveva il contorno profilato come quello della sezione della sala da studiare. La punta di un'asticciola col-

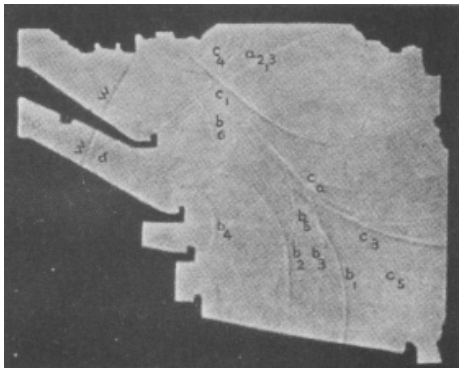


Fig. 1 – Foto Schlieren con l'identificazione dei fronti d'onda effettuata da W.C. Sabine per lo studio acustico del New Theatre in New York

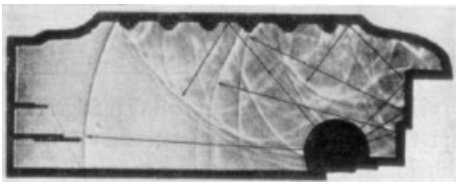


Fig.2 – Foto Schlieren che mostra il rinvio dei fronti d'onda ultrasonici dal soffitto di un modello della Neues Gewandhaus di Lipsia

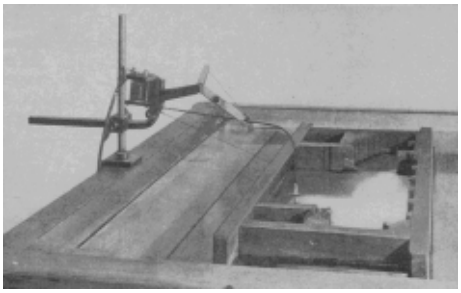


Fig. 3 – Allestimento di un "ripple tank

legata ad un generatore di vibrazioni era immersa nel punto sorgente appena sotto il pelo libero dell'acqua profonda qualche centimetro. La frequenza dell'eccitatore era scelta in modo tale che la lunghezza d'onda delle onde superficiali generate sul pelo dell'acqua fosse in un rapporto con le dimensioni geometriche del modello simile a quello tra le lunghezze d'onda nell'aria e le dimensioni geometriche della sala in scala reale, per il parlato e/o la musica.

Come per la tecnica fotografica Schlieren a ultrasuoni, un lampo di luce emesso da un lato del modello impressionava una lastra fotografica posta opportunamente dall'altro lato. La Fig. 4 mostra una sequenza di immagini riprese dagli stessi Autori[6] con la tecnica del ripple tank per una sezione di un modello di auditorium in scala ridotta nel rapporto 1:50. La lunghezza d'onda nel modello era dell'ordine di 13 mm corrispondente ad una lunghezza d'onda di circa 610 mm per l'aria nell'auditorium in scala reale (frequenza ˜ 560 Hz). Gli Autori[6] riportano che già nel 1843 Scott Russel utilizzava le onde superficiali sull'acqua per indagare sull'acustica degli ambienti chiusi.

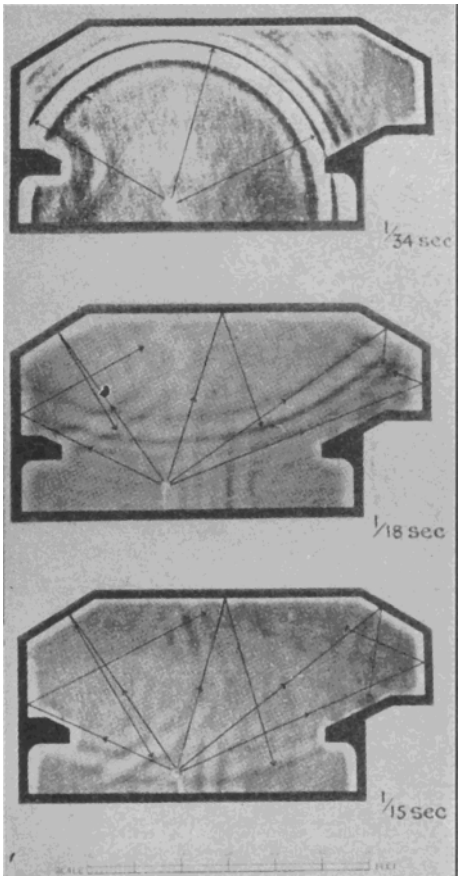


Fig. 4 – Ripple tank. Tre fotografie riprese in sequenza 1/34 s, 1/18 s e 1/15 s dopo l'attivazione della sorgente di vibrazione per una sezione di un modello di un auditorium che mostrano l'evoluzione dei fronti d'onda nel tempo

Raggi di luce

Questa tecnica ottica utilizzata da Takeo Satow[7] è basata sul semplice apparato illustrato nella Fig.5. Una cassa di vetro in cui era inserita una sezione, o una pianta o un'altra superficie, di un modello realizzato in metallo molto lucidato. Una sorgente di luce S era posta nella posizione della sorgente so-

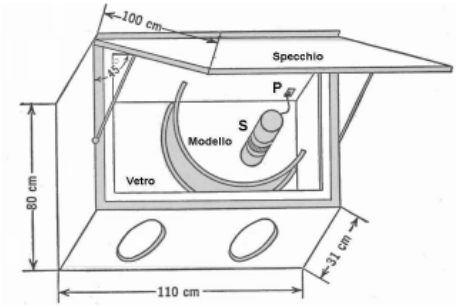


Fig. 5 - Apparato ottico di Satow

nora. La lampada era contenuta in uno schermo cilindrico dotato di fessure lungo una circonferenza che producevano numerosi raggi luminosi con una distribuzione angolare uniforme. Questi raggi erano riflessi dalle superfici speculari del modello ed erano resi visibili dalla diffusione della luce causata dalle particelle del fumo che riempiva l'apparato. Le superfici assorbenti erano annerite.

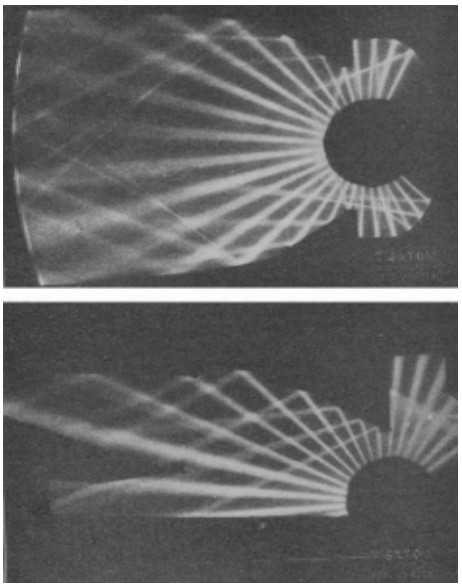


Fig. 6 – Raggi luminosi nel modello della pianta (alto) ed in quello della sezione longitudinale (basso) dell'Okuma Memorial Auditorium

La Fig. 6 mostra le fotografie dei raggi luminosi fatte da Satow in occasione dello studio acustico preliminare della pianta e della sezione longitudinale dell'Okuma Memorial Auditorium in Giappone. Sostanzialmente, questa tecnica consentiva di osservare solamente le riflessioni del primo ordine. In tempi più recenti la tecnica si è giovata del raggio laser che, intenso e molto collimato, consente puntamenti più precisi per indagare sulle prime riflessioni. I ricercatori della Nagata Acoustics hanno studiato le prime riflessioni in un modello ottico tridimensionale della sala da concerto Suntory Hall inaugurata a Tokyo nel 1986.

Luce distribuita

Oltre che studiare una sala con i raggi luminosi, Vermeulen e De Boer[8] tentarono di valutare l'intensità del suono sulla base delle variazioni della luminosità delle riflessioni della luce. In un loro modello ottico, durante uno studio per il Teatro della Philips ad Eindhoven in Olanda, sostituirono la platea occupata dagli spettatori con una lastra di vetro opalino. Le superfici riflettenti erano rivestite di fogli in alluminio. Con una sorgente luminosa, opportunamente schermata, posta nel modello, impressionavano una lastra fotografica sotto il vetro opalino nello scopo di registrare la distribuzione dell'illuminamento come rappresentazione della distribuzione dell'energia sonora superficiale in regime stazionario. La Fig. 7 mostra un modello ottico di una sala con il soffitto concavo in scala molto ridotta.



Fig. 7 – Modello ottico di una sala con soffitto concavo per lo studio della distribuzione dell'energia sonora sul pavimento della platea

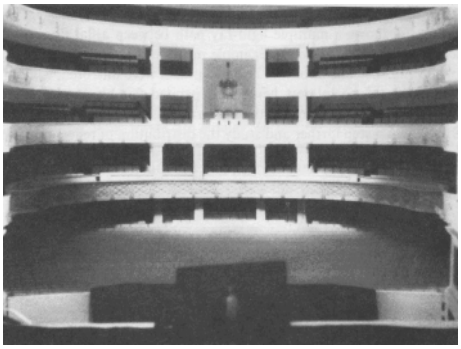


Fig. 8 – Modello ottico tridimensionale del Teatro Nazionale di Monaco di Baviera

Un modello tridimensionale a distribuzione della luce è riportato da Cremer[9]. Il modello fu realizzato per dimostrare la necessità di cambiare il soffitto a cupola originale del Teatro Nazionale di Monaco. Questo teatro d'opera, costruito agli inizi dell'ottocento, doveva essere rifatto come era prima della sua distruzione avvenuta durante la II Guerra Mondiale. La Fig. 8 evidenzia che la sorgente di luce sul palcoscenico, schermata affinché la luce emessa non giungesse direttamente al pubblico, illumina il palco reale ed i suoi dintorni principalmente a causa della luce riflessa dal soffitto. La concentrazione del suono dalla cupola costituiva un rischio di eco udibile. Il problema fu risolto diminuendo la concavità fisica e dipingendo una prospettiva di cupola all'intradosso che evocava visivamente la sensazione di profondità dell'originale. La Tabella 1 mostra sinteticamente le caratteristiche dei metodi elencati sopra.

	Metodo Schlieren	Ripple Tank	Metodo ottico Raggi di luce	Metodo ottico Distribuzione	Metodo ottico Raggio Laser
Anno della prima pubblicazione	1913	1921	1929	1936	1985
Numero di dimensioni D	2D	2D	2D	3D	3D
Aspetto fisico	Ultrasuoni	Onde sull'acqua	Luce	Luce	Luce Laser
Fronte d'onda	X	X			
Lunghezza d'onda		X			
Rapporto di scala tipico	1:200	1:50	1:50	1:200	1:10
Riflessioni iniziali	X	X	X		X
Distribuzione dell'energia				X	
Assorbimento superficiale	X		((X))	((X))	((X))
Effetti di diffusione (scattering)	X	X			
Effetti di diffrazione	X	X			

Tab. 1 – Caratteristiche dei metodi fisici (Da Rindel modificata)

Modelli acustici in scala ridotta

Similitudine acustica

La base teorica di questa modellistica è la relazione di similitudine:

$$\frac{\lambda_m}{\lambda_w} = \frac{l_m}{l_w} = \mu$$

dove λ_m e λ_w sono le lunghezze d'onda nel modello e nella sala reale rispettivamente; l_m è una lunghezza nel modello e l_w è la lunghezza corrispondente nella sala reale; ì è il rapporto di scala. Se il mezzo è aria, sia nel modello sia nella sala reale, la relazione di similitudine diventa:

$$\frac{f_m}{f_w} = \frac{1}{\mu}$$

dove f_m e f_w sono la frequenza nel modello e la corrispondente nella sala reale. Se il rapporto di scala è ì = 1/10, tutte le frequenze usate nel modello devono essere 10 volte quelle corrispondenti nella sala reale. Il campo di frequenze di interesse in una sala reale è almeno quello definito dalle bande ottave con frequenze centrali da 63 Hz a 4 kHz. Pertanto, quello da utilizzare nel modello deve essere esteso alle bande ottave da 630 Hz a 40 kHz. Questa trasposizione in frequenza implica l'uso di sorgenti e sensori con prestazioni adeguate nel campo degli ultrasuoni.

Il problema centrale rispetto all'accuratezza dei modelli acustici in scala ridotta è il coefficiente di assorbimento di ciascuna superficie che alla frequenza del modello f_m deve essere uguale a quello nella sala reale alla frequenza corrispondente f_w. Anche l'aria ed il pubblico devono avere un comportamento scalato. Una discussione approfondita di questi aspetti è riportata da Polack et al.[11]

*Evoluzione dei modelli acustic*i

Nel 1934 Spandöck[12] pubblicò un lavoro su un metodo per la valutazione soggettiva dell'acustica di una sala di cui aveva realizzato un modello tridimensionale in scala 1:5. Utilizzò un registratore che incideva la traccia di un segnale sonoro sulla superficie di un cilindro rivestito di cera che ruotava a 60 giri al minuto. Tramite un altoparlante il segnale fu riprodotto nel modello a 300 giri al minuto e registrato all'interno alla stessa velocità. La riproduzione di questa registrazione a 60 giri al minuto consentiva di apprezzare in anticipo gli effetti dell'acustica della sala da costruire. Successivamente Jordan[13] migliorò questo metodo della trasposizione in frequenza utilizzando un registratore magnetico a filo per dimostrare a orecchio gli effetti acustici di sistemi fonoassorbenti sull'intelligibilità del discorso in un suo modello. Tra le varie attività progettuali con modelli, Jordan è stato molto impegnato durante il lungo e tormentato iter (circa 1957-1973) della progettazione e realizzazione del complesso della Sydney Opera House[14] (Fig.9).



Fig. 9 – Vista del complesso della Sydney Opera House



Fig. 10 – Jordan in un modello 1:10 della "Major Hall" della Sydney Opera House (da [10])

La Fig.10 mostra Vilhelm Lassen Jordan nel modello acustico in scala 1:10 (circa 1966) dell'ultima versione della "Major Hall" della Sydney Opera House dovuta all'architetto Jørn Utzon. Questo modello non corrisponde alla realizzazione finale della sala. Durante le sue attività Jordan sviluppò un registratore a nastro magnetico di alta qualità, per la trasposizione in frequenza, nonché sorgenti miniaturizzate (anche un dodecaedro).

Walter Reichardt[15] della Scuola di Dresda iniziò ad organizzare già dal 1947/48 studi sui modelli di sale. Con lui altri ricercatori utilizzarono scale con rapporti 1:10 e 1:20. Allo scopo di assimilare gli effetti dell'assorbimento dell'aria nel modello a quelli dell'aria ordinaria, essa veniva disidratata fino ad un'umidità relativa del 2% (in altre ricerche era sostituita anche da azoto



Fig.11 – Modello del teatro storico di Dresda: Semper Oper in scala 1:20

molto puro). Un esempio di modello accurato in scala 1:20 è quello del teatro storico Semper Oper a Dresda (Fig. 11). Nella figura è visibile in primo piano una sorgente impulsiva realizzata con un generatore elettrico di scintille. Come era stato fatto in precedenza, l'acustica della sala veniva giudicata oggettivamente in base alla struttura delle risposte all'impulso registrate nel modello con un oscilloscopio.

In occasione della riprogettazione della sala del teatro Semper Oper fu realizzata anche una testa artificiale in scala per registrazioni binaurali nel modello (Fig.12) [16].

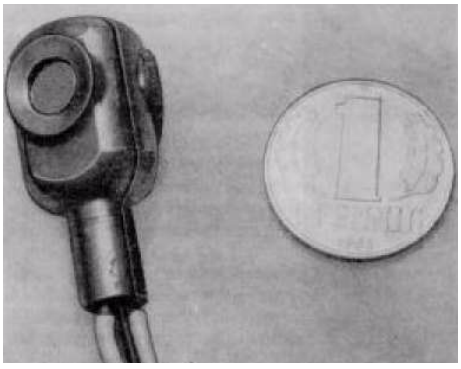


Fig.12 – Modello in scala di testa artificiale

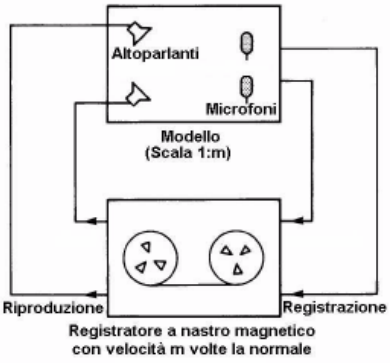


Fig. 13 – Principio della registrazione analogica in un modello (modificato da [19])

Nel 1968 la BBC (The British Broadcasting Corporation) riscontrò la necessità di impegnare risorse nella modellistica in scala e dal 1970 ha svolto studi intensivi con modelli molto dettagliati in scala 1:8[17]. Le applicazioni hanno riguardato preminentemente gli studi di registrazione e di monitoraggio. Furono sviluppati con attenzione particolare sistemi di registrazione analogici per la trasposizione in frequenza con l'ascolto stereofonico (Fig. 13), sorgenti che riproducevano in scala la risposta in frequenza e la direttività degli altoparlanti usati (Fig. 14) e microfoni molto miniaturizzati.

Lo scopo principale era l'ascolto fedele degli effetti acustici di scelte progettuali e di modifiche degli ambienti destinati alla produzione ed alla riproduzione della musica e della parola.

Dalla metà degli anni cinquanta non poche sale importanti sono state progettate fondando su prove sperimentali con modelli in scala di vario genere. Sono stati utilizzati modelli accurati, come nel

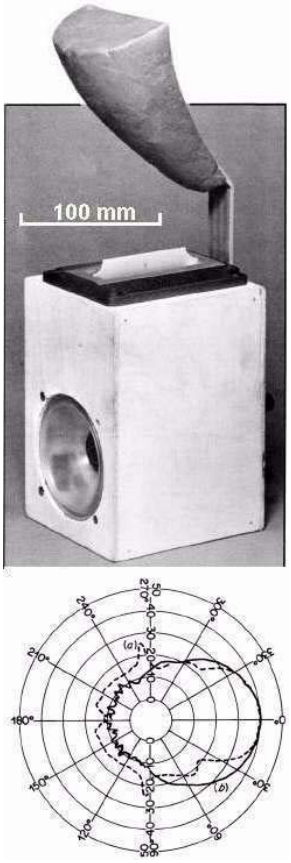


Fig. 14 – Altoparlante in scala costruito dalla BBC. Il corpo sovrastante la cassa contribuiva a realizzare in scala una direttività simile a quella degli altoparlanti monitor in uso



Fig. 15 – M. Barron nel modello della sala da concerto Barbican in scala 1:8

caso del Barbican a Londra per il quale la Fig. 15 mostra l'esperto Michael Barron[18] nel modello acustico in scala 1:8, ma anche modelli più o meno semplificati.

In sostanza, la necessità di semplificazione era legata a più motivazioni. I modelli in scala con rapporti bassi e molto dettagliati risultavano molto costosi (talvolta il 20% del costo dell'opera), nonché ingombranti e poco maneggevoli per le modifiche durante il corso dello studio. Di fatto, necessitavano della riduzione dell'umidità dell'aria e di prove preliminari sui materiali in camere riverberanti in scala ridotta per realizzare i coefficienti di assorbimento in scala corretti. L'approfondimento delle conoscenze sull'acustica dei grandi ambienti, lo sviluppo di parametri descrittori della qualità del suono basati sulla risposta all'impulso, che poteva essere rilevata facilmente con sorgenti costituite da generatori di scintille elettriche, la disponibilità di mezzi per l'elaborazione del segnale ed altri avanzamenti tecnici hanno consentito di giungere alla riduzione delle dimensioni dei modelli fino ad un rapporto di scala 1:50[21]. In particolare, per le sale da concerto gli aspetti più importanti erano le forme geometriche più rilevanti e gli effetti acustici degli ascoltatori. Day[22] pubblicò uno studio su modelli in scala ridotta di persone sedute che bene rappresentavano sia l'assorbimento che gli effetti di diffrazione e diffusione del pubblico in una sala. Tuttavia, nei modelli meno accurati erano utilizzati pezzi di materiale poroso sagomati (lana di vetro, neoprene, etc.).

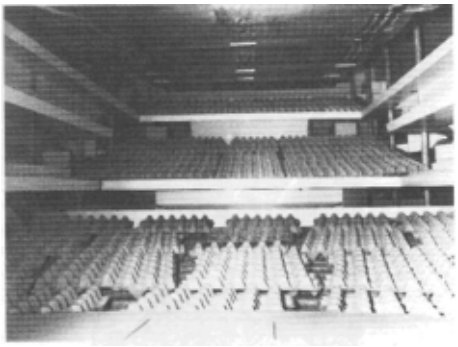


Fig. 16 – Modello di una sala in scala 1:16 in cui il pubblico era realizzato con contenitori di cartone per uova

È singolare l'esempio di Cremer[11] che in suo modello di sala in scala 1:16 - non molto dettagliato- trovò nei contenitori di cartone per le uova capovolti idonei rappresentanti acustici del pubblico (Fig. 16).

Spesso la modalità di indagine con questi modelli non del tutto accurati era l'aggiustamento del solo tempo di riverberazione ai valori di progetto alle frequenze medie (scalati) senza curare la disidratazione dell'aria. In certi casi la registrazione delle risposte binaurali con testa artificiale miniaturizzata, ricondotte alla scala reale e convolute con suoni anecoici, consentiva anche delle auralizzazioni approssimate come avveniva in precedenza con la trasposizione in frequenza analogica. La Fig.17 riporta il modello di una sala in scala 1:50. L'interno del modello è molto semplice in quanto lo scopo era lo studio della prima parte della risposta all'impulso in relazione alle prime riflessioni laterali[20].

Ancora oggi i modelli acustici in scala ridotta sono utilizzati per ricerca e da società di consulenza importanti. Tutta-

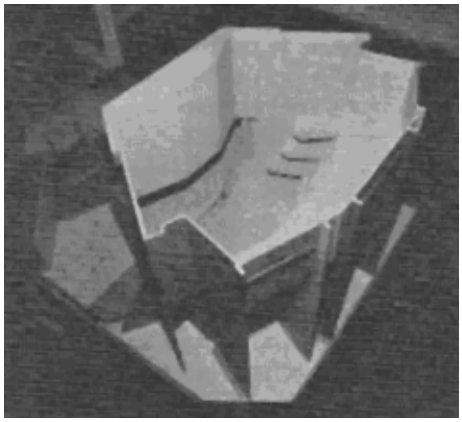


Fig.17 – Modello di una sala in scala 1:50

via, fatta eccezione per i trasduttori, tutte le operazioni sui segnali sono effettuate nel dominio del digitale. Prendendo a prestito le locuzioni introdotte da Burd[20], Rindel[10] divide i modelli acustici in scala in tre tipi: *Technicolor*, a *Mezza Tinta* ed in *Bianco e Nero*. Con questa classificazione la Tabella 2 presenta una sintesi sulle caratteristiche di questi modelli.

Modelli al calcolatore

A partire dalla pubblicazione dei lavori sul tempo di riverberazione di Sabine sono state sviluppate formulazioni per il suono negli ambienti chiusi, basate sia su teorie statistiche sia su correlazioni empiriche, utilizzabili per applicazioni ingegneristiche senza la necessità di mezzi di calcolo molto impegnativi. L'applicazione era ed è limitata ad ambienti non sproporzionati nella regione delle frequenze alte (dimensione geometrica >> lunghezza d'onda).

La potenza descrittiva della teoria ondulatoria per il suono negli ambienti chiusi raggiunse un buon grado di maturazione teorico-sperimentale nella prima metà del novecento. Tuttavia, le soluzioni analitiche dell'equazione delle onde erano ristrette a pochi casi alquanto idealizzati. L'avvento diffuso dei mezzi di calcolo automatico ha permesso lo sviluppo di procedure di calcolo numerico in grado di risolvere l'equazione delle onde per problemi ingegneristici inerenti al campo sonoro in un ambiente chiuso. Le modellazioni con metodi quali gli Elementi Finiti (FEM), gli Elementi di Contorno (BEM) e le Differenze Finite (FDM) sono impiegate per ambienti chiusi di dimensioni piccole o paragonabili con la lunghezza d'onda. Inconvenienti legati alla limitazione della potenza di calcolo disponibile, alla difficoltà della descrizione di certi particolari geometrici e del comportamento acustico dei materiali ne impediscono l'uso per auditori ed altri ambienti di dimensioni grandi ancora oggi.

Idealmente, lo scopo ottimale sarebbe la descrizione del campo sonoro in termini di conoscenza della risposta all'impulso, ovvero della risposta in frequenza, per ogni coppia sorgente/ricevitore all'interno dello spazio chiuso. La risposta all'impulso permette di ricavare i descrittori della qualità del suono in una sala per cui tutti i metodi al calcolatore, per quanto approssimati, tendono alla valutazione di questa informazione che caratterizza la trasmissione del suono tre una sorgente ed un ricevitore.

Il preludio all'uso del calcolatore per la progettazione acustica di sale ed auditori è ravvisabile nei lavori di M.

	Modelli Technicolor Sorgente elettrodinamica	Modelli Technicolor Sorgente impulsiva	Modelli a mezza tinta	Modelli in bianco e nero
Anno della prima pubblicazione	1934	1956	1968	1979
Rapporto di scala tipico	1:8 - 1:20	1:8 - 1:20	1:8 - 1:20	1:50
Tipo di sorgente	Altoparlante	Scintilla elettrica	Scintilla elettrica	Scintilla elettrica
Direttività della sorgente	X	(X)		
Ricevitore: microfono	X	X	X	X
Ricevitore: testa artificiale mini	X	X	(X)	
Assorbimento delle superfici	X	X	(X)	((X))
Riflessioni iniziali	X	X	X	X
Effetti di diffusione	X	X	X	X
Effetti di diffrazione	X	X	X	X
Risposta all'impulso	X	X	X	X
Tempo di riverberazione	X	X	(X)	(X)
Parametri ISO 3382	X	X	X	(X)
Auralizzazione	X	X	(X)	
Tempo per la costruzione	12-24 settimane	12-24 settimane	8-20 settimane	3 settimane
Tempo per le misure	4-8 settimane	4-8 settimane	3-8 settimane	1 settimana

Tab. 2 – Caratteristiche dei modelli acustici in scala ridotta (Da Rindel modificata)

Schroeder e colleghi[21] presso i Laboratori della Bell Telephone negli Stati Uniti e di Krokstad, Ström e Sörsdal[22] in Norvegia. I metodi utilizzati sono basati sui presupposti dell'acustica geometrica che non tiene conto dei fenomeni legati alla natura ondosa del suono ma solo dell'energia. I metodi geometrici del tracciamento dei raggi e delle immagini sono stati usati da lungo tempo nella loro versione manuale 2D operando su piante e sezioni di una sala con matita e tecnigrafo per lo studio delle riflessioni iniziali limitatamente ai piani disponibili.

Metodo del tracciamento dei raggi e delle particelle di energia

Il concetto del tracciamento dei raggi nella sua versione fondamentale è alquanto semplice. Come è rappresentato nella Fig. 18[21] in 2D l'energia emessa da una sorgente puntiforme è inviata lungo un numero finito di direzioni. L'energia assegnata a ciascuna direzione viaggia alla velocità del suono nel mezzo lungo traiettorie rettilinee (raggi) ed interagisce con i confini dell'ambiente. Ad ogni interazione il corredo di energia (detto anche particella di energia) è depauperato in ragione del coefficiente di assorbimento della superficie impattata. L'energia residua è rinviata lungo la direzione speculare ed il processo dello specifico raggio continua fino a quando la sua energia non è giudicata trascurabile. Durante il percorso a tratti rettilinei l'energia è decrementata a causa dell'assorbimento dell'aria. La stessa vicenda è seguita da tutti gli altri raggi emessi.

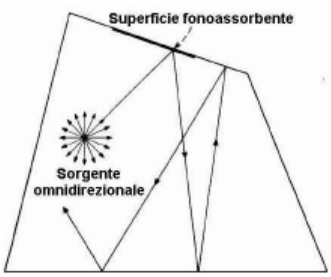


Fig. 18 – Principio del tracciamento dei raggi (particelle di suono)

La Fig. 19 mostra il decadimento nel tempo del livello dell'energia di due raggi (gradinate) e quello dell'energia media dei trecento raggi emessi complessivamente dalla sorgente.

La prima versione tridimensionale di una procedura di tracciamento dei raggi utile per la progettazione acustica di una sala fu pubblicata da Krokstad, Ström e Sörsdal[22]. La sala in studio era modellata con poligoni piani connessi in modo da approssimare la geometria delle superfici di confine dell'aria interna. Utilizzando relazioni classiche della geometria analitica venivano simulati i processi prima accennati: la sorgente che emetteva un grande numero di raggi prefissato, i raggi che erano riflessi specularmene quando intercettavano una

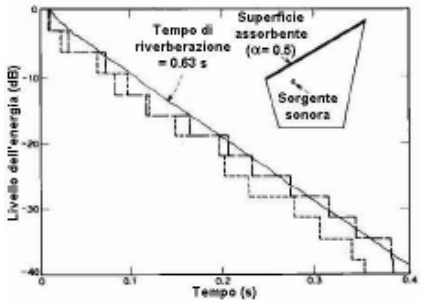


Fig.19 – Decadimento del livello dell'energia delle particelle

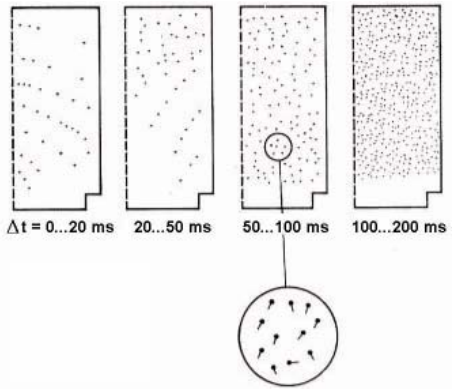


Fig.20 – Tracce dei raggi sulla superficie del pubblico in intervalli di tempo consecutivi

faccia del confine e la raccolta dell'energia sui piani occupati dal pubblico. La Fig. 20[22] mostra un esempio grafico dei risultati del tracciamento dei raggi nella metà della pianta di una sala pressoché rettangolare. I punti rappresentano gli impatti sulla superficie occupata dal pubblico in determinati intervalli di tempo rispetto all'istante di attivazione della sorgente. Nell'ingrandimento sono riconoscibili anche le proiezioni delle direzioni secondo le quali l'energia del raggio giunge sul piano dell'uditorio. L'ordinamento temporale dell'energia su una certa area consentiva di visualizzare anche una forma grossolana di ecogramma energetico locale (idealmente corrisponde al quadrato della risposta all'impulso).

La discretizzazione della sorgente con un numero di raggi finito comporta che il ricevitore non può essere un punto. Una superficie opportuna può rivelare e consentire la registrazione della sequenza temporale dell'energia ricevuta. Per ottenere informazioni più preci-

se sull'ecogramma sono stati introdotte successivamente superfici e volumi di "cattura" dell'energia dei raggi in progresso. Erano ottenuti ecogrammi più accurati che permettevano una migliore valutazione di descrittori della qualità del suono[23, 24].

Metodo delle sorgenti immagine

Questo metodo è basato sul fatto che la riflessione da un piano può essere costruita considerando l'immagine speculare della sorgente reale nel piano. Per un ambiente a forma di parallelepipedo è facile costruire tutte le immagini di una sorgente puntiforme interna (teoricamente un numero infinito) fino ad un ordine di riflessione desiderato[25, 26]. Per un ambiente di forma qualsiasi[27] la costruzione delle immagini è molto laboriosa in quanto specchiando la sorgente reale in tutte le giaciture delle facce piane costituenti l'involucro della sala fino all'ordine desiderato per la durata scelta dell'ecogramma, non tutte le sorgenti immagine rappresentano cammini effettivi di raggi sonori che interessano un determinato ricevitore. La Fig. 21 riporta un esempio elementare di applicazione del metodo in parola. Si nota che l'immagine del primo ordine S_p non vede l'ascoltatore A, tuttavia è valida in quanto genera l'immagine del secondo ordine S_{p-s} che corrisponde ad una riflessione doppia che raggiunge l'ascoltatore. Il processo di scarto delle immagini non valide è oneroso. Una volta determinata la costellazione di immagini valide per la lunghezza della risposta desiderata, la sala vera e propria non ha più un ruolo nel calcolo. Congiungendo una sorgente immagine valida con il ricevitore si determina il ritardo e l'ampiezza di una riflessione che va a costituire un contributo all'ecogramma energetico. Un vantaggio del metodo delle immagini rispetto al tracciamento dei raggi è che, trovate le immagini valide, è possibile valutare precisamente la trasmissione tra un punto sorgente ed un punto ricevitore.

Metodo del tracciamento dei coni e delle piramidi

Il tracciamento dei coni è un'alternativa all'uso di volumi e superfici per la registrazione del passaggio dei raggi. Il ricevitore è considerato puntiforme ed è investito dalla base del cono il cui asse è la traiettoria del raggio (Fig.22)[30].

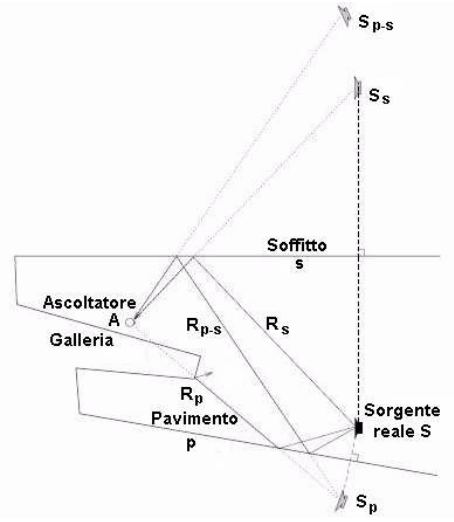


Fig.21 – Esempio di tracciamento delle immagini. La retta congiungente un'immagine valida con il ricevitore equivale alla traiettoria di un raggio

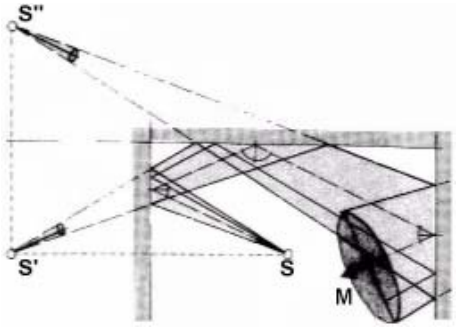


Fig. 22 – Tracciamento dei coni

Il metodo ha il problema della sovrapposizione di coni adiacenti. Questo problema specifico è risolto con coni a base triangolare[31] (piramidi), tuttavia è difficile ottenere risultati affidabili solo con questo metodo.

Modelli ibridi

All'avanzare degli sviluppi nel settore sono state evidenziate diverse carenze dei metodi appena menzionati. Gli aspetti "migliori" dei metodi di base sono stati combinati[29-32]. Il comportamento speculare delle superfici da solo è apparso insufficiente a rendere la complessità dell'interazione energetica. Nella realtà il suono rinviato è un misto di contributo secondo la legge di Snell e di contributi di suono diffuso rinviato lungo direzioni molteplici in dipendenza della natura della superficie, della frequenza e dell'angolo di incidenza. Varie tecniche sono state proposte per integrare questo aspetto nelle procedure di calcolo. La diffrazione da bordo è pur essa apparsa una necessità per la previsione più accurata delle risposte in una sala. Il tasso di sviluppo e delle proposte in questa materia cresce a valanga ed è impossibile riportare qui qualche dettaglio. La tematica interessa non solo la progettazione acustica degli auditori ma presenta sviluppi incrociati anche con la realtà virtuale acustica che richiede un compromesso tra l'accuratezza dei risultati e la velocità del calcolo[33]. La Tabella 3 mostra un tentativo di inquadramento storico, delle caratteristiche e delle prestazione dei modelli di calcolo. La scala qualitativa dei tempi di lavoro a cinque gradi va da 1 (molto veloce) a 5 (molto lento).

Conclusione

Questo resoconto molto sintetico porge un'idea dell'evoluzione nell'ultimo secolo dei mezzi per la previsione dell'acustica di grandi sale per pubblico spettacolo dove è importante la qualità del suono. Gli approcci attuali fondano prevalentemente sull'uso del calcolatore. Dal disegno digitale giungono a parametri descrittori della qualità del suono nonché ad auralizzazioni realistiche. Date le diversità di impostazione di procedure diverse è indispensabile la competenza e la sensibilità del progettista nel loro uso.

[1] M. FORSYTH, *Edifici per la musica*, Zanichelli, Bologna, 1991, p. 174.

[2] W.C. SABINE, *Collected Papers on Acoustics.* Edizione Dover, New York, 1964.

[3] W.C. SABINE, The American Architect, Vol.104, 1913, p. 257, riportato nel riferimento 2, p. 180.

	Equazioni basate sulla statistica	Equazione delle onde	Sorgenti immagine	Tracciamento delle particelle	Tracciamento dei raggi	Tracciamento dei coni	Modelli ibridi
Prima pubblicazione	**1900**		**1972**	**1970**	**1968**	**1986**	**1989**
Frequenze basse		X	(X)				
Frequenze alte	X		X	X	X	X	X
Sorgente puntiforme		X	X	X	X	X	X
Direttività sorgente			X		X	X	X
Punto ricevitore		X	X		(X)	X	X
Griglia di ricevitori		X			X	X	X
Distribuzione suono					X	X	X
Media nel volume	X			X			
Assorb. superfici	X	X	X	X	X	X	X
Riflessioni iniziali			X		X	X	X
Tracciamento eco 3D			X		(X)	(X)	X
Effetti scattering				X	X	X	X
Effetti diffrazione		X					X
Spazi accoppiati		X		X	X	X	X
Risposta all'impulso			(X)		(X)	(X)	X
Tempo di riverberaz.	X			X	(X)	(X)	X
Parametri ISO 3382					(X)	(X)	X
Auralizzazione			(X)		X	X	X
Tempo modello (1-5)	1	5	3	3	3	3	3
Tempo calcolo (1-5)	1	5	5	1	4	4	2

Tab. 3 – Caratteristiche dei modelli di calcolo (Da Rindel modificata)

[4] T. NEUMANN and H. ERMERT, *Schlieren visualization of ultrasonic wave fields with high spatial resolution*, Ultrasonics, Vol. 44, Supplement 1, 22 December 2006, pp. e1561-e1566.

[5] J. ENGL, *Raum und Bauakustik*, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1939.

[6] A.H. DAVIS and G.W.C. KAYE, *The Acoustics of Buildings*, Bell, London,1927.

[7] T. SATOW, *Acoustics of Auditorium Ascertained by Optical Treatment in Models*, World Engineering Congress, Paper N. 118, 1929.

[8] R. VERMEULEN and J. DE BOER, Philips Technical Review, Vol. 1, 1936, p. 46.

[9] L. CREMER and H. A. MÜLLER Translated by T. J. SCHULTZ, *Principles and Applications of Room Acoustics Vol. 1*, Applied Science Publishers, London and New York, 1982, Chap. 1.7.

[10] J. H. RINDEL, *Modelling in auditorium acoustics – From ripple tank and scale models to computer simulations*, Proc. Forum Acusticum, Sevilla, Sept. 2002, paper KL-04.

[11] J.D. POLACK, A.H. MARSHALL and G. DODD, *Digital evaluation of the acoustics of small models: The MIDAS Package*, J. Acoust Soc. Am., Vol.85, N.1, Jan,1989, pp. 185 – 193.

[12] F. SPANDÖCK, *Akustische Modellversuche*, Ann. Phys., vol.20 (5) (1934) pp. 345 - 360.

[13] V.L. JORDAN, *Tesi di Dottorato*, Copenhagen 1941 citato in [10].

[14] V.L. JORDAN, *Acoustical Design Considerations of the Sydney Opera House*, Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales, vol. 106 pts 1-2, 1973, pp. 33 - 53

[15] W. REICHARDT, *Die Akustik des Zuschauerraumes der Staatsoper Berlin Unter den Linden*, Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, vol. 64, 1956, p. 134.

[16] W. FASOLD, E. SONNTAG AND H. WINKLER, *Bau und Raumakustik*, Verlag für Bauwesen, Berlin, 1987.

[17] C. D. MATHERS, *Acoustic Scaling: The Development of improved Instrumentation*, BBC Report BBC RD August 1985 (PH 272).

[18] M. BARRON and C.B. CHINOY, *1:50 Scale Acoustic Models for Objective Testing of Auditoria*, Applied Acoustics, vol, 12, 1979, pp.361-375.

[19] B.F. DAY, *A tenth-scale model audience*, Applied Acoustics. Vol. 1, 1968, pp.121-135.

[20] A.N. BURD, *Acoustic Modelling-Design Tool or Research Project?* in "Auditorium Acoustics" R. Mackenzie (ed.), Applied Science Publishers, London, 1975, pp. 73 – 85.

[21] M.R. SCHROEDER, *Digital Simulation of Transmission in Reverberant Spaces*, J. Acoust. Soc. Am., Vol.47, N.1, 1970, pp. 424-431.

[22] A. KROKSTAD, S. STRÖM and S. SÖRSDAL, *Calculating the Acoustical Room Response by the Use of a Ray Tracing Technique*, J. Sound and Vibration **,** vol. 8 (1), 1968, pp. 118-125.

[23] U. STEPHENSON, *Eine Schallteilchen-Computersimulation zur Berechnung der für die Hörsamkeit in Konzertsälen massgebenden Parameter*, Acustica, vol. 59, 1985, pp. 1-20.

[24] P.A. FORSBERG, *Fully Discrete Ray Tracing*, Applied Acoustics, vol.18, 1985, p, 393-397.

[25] B.M. GIBBS and D.K. JONES, *A Simple Image Method for Calculating the Distribution of Sound Pressure Levels within an Enclosure*, Acustica, vol. 26, 1972, pp. 24-32.

[26] J. ALLEN and D.A. BERKLEY, *Image method for efficiently simulating small-room*

acoustics. J. Acoust. Soc. Am., vol. 65, 1979, pp. 943-950.

[27] J. BORISH, *Extension of the image model to arbitrary polyhedra*, J. Acoust. Soc. Am., vol. 75, 1984, pp. 1827-1836.

[28] J.P. VIAN and D. VAN MAERCKE. *Calculation of the room impulse response using a ray-tracing method*, Proceedings of 12th ICA Symposium, Vancouver, 1986, pp. 74-78.

[29] T. LEWERS, *A Combined Beam Tracing and Radiant Exchange Computer Model of Room Acoustics*, Applied Acoustics**,** vol. 38, 1993, pp.161-178.

[30] M. VORLANDER, *Simulation of the transient and steady- state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm*, J. Acoust. Soc. Am., vol. 86, 1989. pp. 172–178.

[31] Y,W. LAM, *A comparison of three diffuse reflection modelling methods used in room acoustics computer models*, J. Acoust. Soc. Am., vol. 100 (4) Pt.1, 1996, pp. 2181- 2192.

[32] M.J. HOWHARTH, Y.W. LAM, *An assessment of the accuracy of hybrid room acoustics model with surface diffusion facility*, Applied Acoustics, vol. 60, 2000, pp. 237 – 251.

[33] T. LENZ, D. SCHRÖDER, M. VORLANDER, I. ASSENMACHER, *Virtual Reality System with Integrated Sound Field Simulation and Reproduction*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Volume 2007, Article ID 70540, 19 pages.

SIGFRIDO LESCHIUTTA

Il progetto e la costruzione degli apparati radioelettrici durante il secondo conflitto mondiale: diverse filosofie

Introduzione

La seconda guerra mondiale è terminata da oltre mezzo secolo e quindi non è del tutto ozioso ripercorrere la storia di alcune componenti ingegneristiche, sin che ne resti qualche memoria o interesse. Gli eventi che generarono, accompagnarono e seguirono il secondo conflitto mondiale sono ben noti e sono illustrati da una sterminata letteratura storica, politica, tecnica e militare, sia su grandi temi sia su particolari vicende o tecnologie o apparati o armi od infine sistemi d'arma.

Questa nota considera un minuto settore di questa panoplia, quello delle realizzazioni radioelettriche; la tesi che si vorrebbe sostenere ed illustrare è che esistono marcate differenze tra i belligeranti; queste differenze sono più evidenti se si consideri una stessa classe di apparati che ambedue i fronti dovettero realizzare per risolvere uno specifico problema e che, in questo caso, è quello degli apparati radioelettrici campali.

Le differenze vengono meglio percepite perché questa classe di apparati venne progettata e realizzata per risolvere gli stessi problemi di telecomunicazione, rispettando analoghe condizioni di contorno (ingombri, portata, potenza di alimentazione…); il trattamento é basato su cognizioni generali di ingegneria e non richiede conoscenze specifiche dalla materia. Il tema che di cercherà di illustrare è quello degli apparati radioelettrici, un tema di per se' smisurato perché durante il conflitto si ebbero tra le novità inaspettate lo sviluppo del radar, delle trasmissioni in modulazione di frequenza, del calcolatore elettronico, dell'uso delle microonde, dei dispositivi piezoelettrici, della sintesi di frequenza e perfezionamenti radicali nei sistemi di radionavigazione, nella tecnica del tubo elettronico, nelle conoscenze sulla radiopropagazione.

In questa nota il campo è limitato agli apparati di radiocomunicazione campale usati dai vari belligeranti, perché è possibile individuare marcate differenze tra apparati realizzati dai vari belligeranti per coprire lo stesso scopo.

In questo senso si può parlare di diverse filosofie, perché queste differenze possono essere individuate nella architettura anche costruttiva, nei componenti, nei tubi, nell'uso o meno di dispositivi piezoelettrici, nella preparazione necessaria per il radio-operatori o marconisti, nel rapporto qualità/costo.

Le nozioni scientifiche disponibili sui due fronti dei belligeranti erano equivalenti[1], non lo erano le capacità industriali di realizzare nelle quantità e qualità necessarie gli apparati che erano sviluppati nei laboratori di ricerca. Radicalmente diverse, ma qui il discorso ci por-

terebbe lontano, erano le strutture di comando e quelle industriali e l'ossessione del segreto che in taluni casi, tra i quali primeggia quello italiano, impedì o comunque rallentò il raggiun-gimento di risultati altrimenti possibili.

Nelle prossime sezioni si presenteranno vari aspetti di questi approcci ed in taluni casi di vere e proprie filosofie, con la seguente articolazione:

Modalità di costruzione

Scelta dei componenti e circuiti

Uso o meno di tubi elettronici speciali o unificati

La preparazione necessaria negli operatori

La "standardizzazione" degli apparati, anche tra le forze armate di uno stesso Paese

L'uso di componenti piezoelettrici

Uso della modulazione di frequenza

Criteri di manutenzione e riparazione.

Ovviamente alcuni di questi temi sono tra loro interfacciati; ad esempio il tema 6 e quello 7: la possibilità di sfruttare operatori non preparati, portò, nell'esercito americano ad un massiccio uso di piezorisuonatori ed alla realizzazione in un paio di anni di un'apposita industria che per un solo apparato, il ben noto BC 611 - il Walkie-Talkie, il radiotelefono portatile[2], portò alla costruzione letteralmente di milioni di piezorisuonatori.

Come nota di carattere generale, si può subito osservare che poche cose al mondo, pur facendo la stessa cosa e con risultati comparabili, sono così radicalmente diverse, come gli apparati militari germanici da una parte e quelli americani o francesi o inglesi dall'altra. Il caso degli apparati militari italiani sta a parte, ma è molto più vicino alla scuola anglosassone che a quella tedesca. Tutto, come si vedrà è diverso: i telai, le strutture, le valvole, i componenti, i criteri di produzione e pur anco le antenne.

Si potrebbe anche fare, e sarebbe istruttivo, un saggio sulle diverse filosofie tecniche, economiche oltre che militari, che dettarono le varie scelte, ma questi argomenti sono al di fuori di questa nota.

Modalità di costruzione

La differenza forse più rilevante, tra tedeschi da una parte e tutti gli altri, è forse nelle modalità di costruzione. Gli anglo americani propendevano per una costruzione di tipo tradizionale, con un telaio orizzontale, sul quale erano montati i tubi, i trasformatori, i condensatori variabili e così via. L'aspetto dell'apparato non era dissimile da quello usato per le apparecchiature civili.

I tedeschi invece tendevano ad occupare tutto lo spazio assegnato alla apparecchiatura. Tutti i componenti, tubi compresi erano montati orizzontalmente, verticalmente, o comunque inclinati, entro una struttura tridimensionale, ricavata per pressofusione, realizzata in alluminio o una lega con magnesio, ottimizzando al meglio il volume e la lunghezza delle interconnessioni. Nel caso del magnesio, si otteneva l'ulteriore vantaggio che la struttura se esposta a fiamme, prendeva fuoco e si autodistruggeva.

Il volume era diviso per le varie sottosezioni che erano interconnesse

mediante morsettiere con collegamenti con viti; era così possibile, ad esempio sostituire in molti casi l'amplificatore di frequenza intermedia o quello in bassa frequenza, usando il solo cacciavite. La struttura presso fusa aveva l'ulteriore vantaggio che i vari stadi, essendo ospitati in vani separati della struttura metallica fatta come un cubo od un parallelepipedo, facevano a meno di necessarie schermature. I collegamenti a radiofrequenza, che non potevano ricorrere a delle morsettiere, passavano da una scatola all'altra, attraverso dei fori praticati nella presso struttura, muniti di perline di ceramica.

Gli apparati americani ed inglesi facevano ricorso a matasse di collegamenti individualmente saldati che correvano entro il telaio.

Da un punto di vista ingegneristico, l'approccio tedesco è nettamente superiore, ma certamente richiedeva in fase sia di progettazione sia di costruzione, un ammontare ragguardevole di ore lavorative, ma un netto risparmio in fase di eventuale manutenzione.

La scelta del tipo di componenti

Anche in questo caso due filosofie diverse: nel caso tedesco la ricerca della qualità e della eleganza delle soluzioni ed in certi casi l'adozione di componenti ad hoc, nel caso angloamericano l'adozione di componenti usuali e la ricerca del minimo costo di produzione e quindi, a parità delle risorse, del massimo numero di esemplari prodotti. Quando un apparato si guastava, i tedeschi cercavano di ripararlo, gli angloamericani lo sostituivano con uno nuovo. Un'altra linea-guida era la stabilità di frequenza, poiché i tedeschi praticamente non usarono cristalli piezoelettrici, quindi la stabilità di frequenza doveva essere ottenuta con la stabilità, soprattutto termica e dimensionale, dei componenti di ogni circuito oscillatorio e la qualità intrinseca dei circuiti. Queste prestazioni erano ottenute mediante l'uso di:

• Componenti ceramici, caratterizzati da una rilevante stabilità dimensionale, trascurabili perdite elettriche ma alto costo di progetto e produzione,

• Combinazioni di condensatori con coefficienti positivi e negativi di temperatura,

• Uso di materiali, tipo le ferriti, con riduzione delle dimensioni e dei campi magnetici dispersi,

• Adattamenti di impedenza molto accurati e complessi[3] tra stadio e stadio e tra i circuiti risonanti di uno stesso stadio. Un paio di esempi:

• variometri[4] per frequenze di decine di megahertz, con strutture portanti in ceramica,

• induttanze con elevata stabilità dimensionale e perdite elettriche ridotte, ottenute con un tubo in ceramica sulla cui superficie esterna veniva praticato un solco elicoidale di sezione quadrata. Le pareti interne del solco erano ramate od argentate. Due i vantaggi, la bobina era stabile perché l'induttanza dipendeva dalla stabilità dimensionale della ceramica prescelta, il fattore di merito della bobina risultava elevato, perché la corrente a radiofrequenza percorreva dei

conduttori sottili e cioè lo spessore delle metallizzazioni[5] (effetto pelle).

Tutti questi perfezionismi ed a volte equilibrismi, se rappresentano altrettanti capolavori di ingegneria radioelettrica, dall'altra parte hanno comportato certamente un impegno di risorse sproporzionato ai risultati ottenuti.

Tubi elettronici

Parlando di valvole, innanzitutto si resta perplessi dal fatto che gli anglo americani usarono per le diverse funzioni centinaia di tubi elettronici diversi, contro la scarsa decina di modelli usati dai tedeschi, con ovvie conseguenze per quanto riguarda scorte e manutenzioni. Il discorso che faremo riguarda i tubi usati nelle radiocomunicazioni o in bassa frequenza, lasciando da parte quelli sviluppati per radiotrasmettitori di potenza od i radar.

Un esempio vale mille discorsi: consideriamo i carri armati Tigre e Pantera, del quale nel periodo 1943-1945, furono costruiti rispettivamente almeno 2500 e 3600 esemplari; eguali la dotazione radioelettrica con tre radiotelefoni , almeno due interfonici e da due a tre antenne. La tabella 1 illustra la situazione. Nella normativa internazionale, che i tedeschi seguivano, A1 indica la classica telegrafia con interruzione della portante, A2 era la telegrafia modulata ed A3 la telefonia. Sui carri, prevalente era l'uso della A3, la A2 era usata per richiamare l'attenzione dei corrispondenti, la A1 solo sui carri-comando, per le comunicazioni a distanza, ma era necessaria la presenza di un marconista.

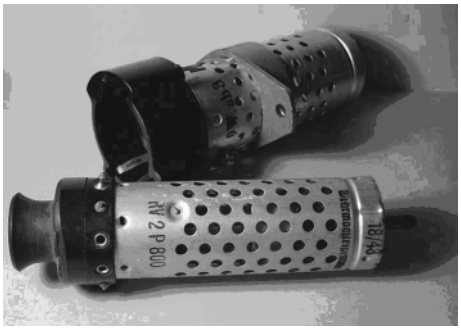


Fig. 1 - pentodo RV2,4 P800, per apparati alimentati con batterie

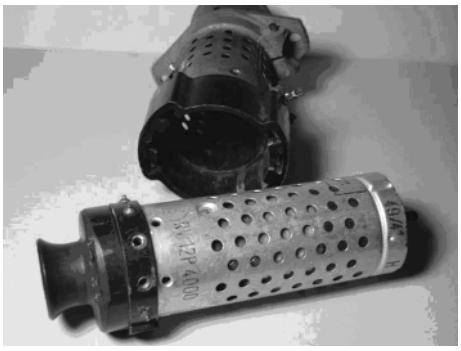


Fig. 2 - pentodo RV2,2 P800, per apparati alimentati con batterie

E' immediato constatare che questi due carri armati avevano solo quattro tipi di valvole: 23 pentodi P4000, sette P2000, 5 pentodi di potenza RL12P35 ed un altro tipo di valvola.

Negli apparati militari e segnatamente per quelli installati su veicoli furono usati inizialmente gli stessi tubi usati per la radiodiffusione, ma con esperienze negative, ed allora l'Ufficio delle Armi dell'Esercito tedesco prese l'iniziativa di promuovere lo sviluppo, circa il 1933, di tubi "unificati" per gli amplificatori trasportabili e per gli apparati radio del Reichsweher e più tardi della Wehrmacht.

Le prestazioni desiderate erano:

• Insensibilità a scosse e vibrazioni,

• Relativa insensibilità alle variazioni delle tensioni d'alimentazione,

• Una più solida inserzione nello zoccolo,

• Sostituzione più rapida ed effettuabile al buio,

• Dimensioni più ridotte,

• Ridotta dispersione delle caratteristiche elettriche tra i tubi di uno stesso tipo.

Dopo prove comparative, già nel 1935 sembrò opportuno iniziare con lo sviluppo di pentodi per ricezione che furono inizialmente:

• il tubo a riscaldamento diretto a 2 volt, RV2P800, per apparati portatili alimentati con batterie,

• il tubo con riscaldamento indiretto a 12 volt, RV12P4000 per mezzi di trasporto cingolati o con ruote o alimentari da rete.

Questi due tubi furono usati per tutta la durata della guerra, al secondo si affiancò nel 1941 un pentodo, analogo come caratteristiche, ma di ingombro minore.

Per tutti i tipi fu abbandonata la struttura interna, usata quasi esclusivamente e sin a quel momento per i tubi civili, con il sostegno degli elettrodi e l'uscita dei reofori affidati ad un elemento cilindrico in vetro schiacciato, disposto ortogonalmente al tubo, dal quale uscivano i fili di contatto verso i piedini degli zoccoli. Invece fu introdotta la tecnica nella quale le due funzioni di sostegno degli elettrodi ed uscita verso il mondo esterno erano ambedue affidate ad un fondello piatto, ricavato per pressione e che chiudeva l'estremità inferiore del tubo[6].

In questo metodo di costruzione, le connessioni che, provengono dal basso dalla base dell'involucro di vetro ove vi sono fuse per assicurare la tenuta del vuoto, nello stesso tempo sostengono meccanicamente gli elettrodi interni Gli stessi conduttori attraversano il fondello, la superficie piatta del fondo del corpo della valvola ed escono lungo una corona circolare vicino ai margini del fondello.

Circa e dopo il 1940 furono costruiti in Germania dei tubi sia riceventi sia trasmittenti per frequenze più elevate con questa nuova tecnica del fondo piatto, ma con conduttori più spessi che servivano direttamente come contatti per lo zoccolo.

All'altra estremità dell'involucro di vetro, erano montati il codolo per la pompa del vuoto ed il collegamento di griglia, realizzato in ottone argentato che passava al centro di una rondella terminale in ceramica oppure in bakelite che chiudeva il tubo metallico.

Come zoccolo era stata adottato un supporto metallico traforato, munito di una base in bachelite per le molle dei contatti entro il quale il tubo era completamente racchiuso, sostenuto assialmente da due anelli di gomma.

Simile a questi tubi comparve la leggendaria RV12P2000, che rispettava le caratteristiche generali del sistema, ma era notevolmente più piccola. Questa valvola continuò ad essere prodotta persino dopo la fine della guerra nello stabilimento di Ulma della Telefunken ed



F*ig. 3 - pentodo RV12P4000 per mezzi mobili o alimentati dalla rete*

in Germania orientale Nella P2000, i collegamenti erano ancora più sottili e attraverso il fondello di vetro raggiungevano direttamente i contatti posti attorno ad un piccolo anello in bakelite. Questa costruzione del tubo era in questo modo talmente stabile si poteva usare direttamente lo zoccolo senza l'interposizione di rondelle elastiche in gomma, in modo che poteva usare negli amplificatori microfonici dei mezzi corazzati, sebbene questi apparati fossero rigidamente connessi meccanicamente al telaio del carro armato

Per i nuovi apparati sviluppati sino alla fine della guerra furono prodotti dei tubi trasmittenti con caratteristiche migliorate per onde decametriche e metriche da usare negli apparati di collegamento dei mezzi corazzati, come i tubi. I tubi RL12P10 e RL4,8P15 sono tubi trasmittenti realizzati anche essi con fondello di vetro, piccolo zoccolo in bakelite, e tutte le connessioni da una sola parte dell'involucro. Negli ultimi anni della guerra comparve un notevole tubo di potenza, la LS50, chiamato colloquialmente in Italia il barattolo di marmellata per la sua forma cilindrica, di caratteristiche notevoli, tanto che è tuttora costruito in serie in Cina e Russia.

Concludendo, i tedeschi hanno fatto tutta la guerra (questa indagine si ripete è limitata ai tubi per radiocomunicazioni campali) con otto tipi di valvole, contro letteralmente le molte decine o centinaia usate dagli angloamericani o dagli inglesi.

Un simile approccio di riduzione del numero delle valvole fu effettuato anche in Italia; alcuni apparati per aviazione e marina erano infatti muniti di un solo o ai più, due tipi di valvole che d'altra parte erano di tipo civile[7].

Uso di componenti "nuovi", praticamente sconosciuti o non praticati dall' avversario

Si già visto al punto 3 un elemento caratteristico della componentistica tedesca, con l'uso diffuso di materiali ceramici, per realizzare strutture portanti, bobine incise o stampate su nuclei cilindrici, variometri, terminati o supporti di commutatori, passanti per conduttori portanti segnali a radiofrequenza entro i telai presso fusi, connettori.

Un'altra componentistica particolare, pressochè ignota agli angloamericani, risiedeva nell'uso sistematico di ferriti, ovunque si dovesse contenere o guidare un campo magnetico a radiofrequenza, con ragguardevoli risparmi in dimensioni e soprattutto vantaggi in efficienza[8].

Preparazione degli operatori

In Italia ed in Germania anche in tempo di pace, l'attività dei radiodilettanti era severamente proibita od ostacolata; in Italia, era ammessa, ma controllata da stretto, solo presso taluni GUF- Gruppi universitari Fascisti. Negli Stati Uniti, Francia ed Inghilterra, questa attività era invece diffusa. Questa situazione si tradusse nel fatto che, iniziato il conflitto, gli angloamericani si ritrovarono con numerosi giovani che conoscevano il funzionamento di un radiotrasmettitore, sapevano innalzare un'antenna e conoscevano di prima mano elementi della Radiotecnica, oltre al codice Morse. Questi giovani, se militari, gestivano le radiocomunicazioni, se civili operando nelle varie fabbriche sapevano quello che era chiesto loro di fare; era in altri termini, mano d'opera specializzata. Il contrario avvenne in Germania, al punto che per aiutare le fabbriche, nel 1942 e nel 1943, i militari con nozioni di radiotecnica furono smobilitati, anche se appartenenti ad unità impegnate sui vari fronti.

Ove le comunicazioni avvenissero in telegrafia, nasceva il problema di preparare quelli che noi italiani chiamavamo marconisti Per gli operatori su carri armati, sia tedeschi sia italiani si usò d'altra parte la radiotelefonia. Differenze fondamentali quindi per gli operatori: gli angloamericani ed in parte gli inglesi li trovarono in casa; sull'altro fronte, giapponesi compresi, i radio-operatori erano meno numerosi e dovevano essere tutti preparati. Si deve aggiungere che nel caso degli americani, parte del traffico era svolto con apparati semiautomatici, che non richiedevano esplicite preparazioni.

"Standardizzazione" degli apparati

Progetto e costruzione erano in coordinati in Germania, nel mondo anglosassone meno. Ciò é provato dal fatto che gli apparati americani di tipo diverso erano molte centinaia e nessun sforzo venne fatto per "normalizzare" la produzione.

Il contrario avvenne in Germania, in particolare dopo il 1943 ove venne definito un prototipo, ad es. un radioricevitore e lo stesso apparato venne usato oltre che in qualche radioricevitore, in sistemi di navigazione circolare, iperbolici ed a radio faro direttivo, in sistemi di radiodisturbo, radar, in altimetri radioelettrici, in sistemi di radio-guida, come ripetitore in ponti radio e così via.

Uso diffuso di componenti piezo-elettrici

All'inizio della seconda guerra mondiale, le richieste di dispositivi piezoelettrici aumentò bruscamente e le principali nazioni in conflitto decisero di costituire una riserva strategica di quarzo. Inghilterra e Stati Uniti, nel 1939, trovarono, con loro sorpresa, che la produzione brasiliana era già in buona parte saturata da commesse giapponesi e tedesche. Cominciò allora una ricerca di sorgenti alternative, che dette pochi risultati, e numerosi tentativi per aumentare la produzione brasiliana ed accelerare o rendere più sicuro, tramite il trasporto aereo o sottomarino, l'approvvig-

gionamento. Comunque ogni nazione belligerante cominciò ad accumulare cristalli di quarzo.

Il motivo tecnico di questo accaparramento del materiale brasiliano, oltre all'ovvio aumento del numero di apparati di telecomunicazione, risedette nelle quattro constatazioni seguenti:

• necessità di adottare apparati di telecomunicazione in grande quantità, di tipo automatico ed in fonia, per consentirne l'uso da parte di personale non qualificato; negli apparati tradizionali radiotelegrafici, usati prevalentemente in molti eserciti, le operazioni di sintonia dei vari stadi dei trasmettitori e l'uso erano operazioni complesse che richiedevano diverse misurazioni ed era quindi necessaria l'opera del "marconista",

• la stabilità e la precisione di frequenza nei collegamenti facilitavano le comunicazioni, riducevano il tempo necessario per stabilire un collegamento e riducevano la possibilità di intercettazione e localizzazione da parte dell'avversario,

• la stabilità e la precisione di frequenza consentivano la costituzione di reti, basate su un certo numero di "canali" con frequenze prefissate e ben definite, gli stessi per tutti gli utenti presenti in una certa zona,

• l'opportunità di usare sistemi in modulazione di frequenza, in particolare sui mezzi mobili, come si vedrà nel prossimo punto 8, data la relativa insensibilità alle interferenze prodotte dalle candele del motore dei mezzi mobili, richiedeva la stabilità delle frequenze delle portanti e l'uso di discriminatori di frequenza, e quindi di dispositivi piezoelettrici.

La produzione inglese passò da circa 10 000 risonatori nel 1938 a circa 1,5 milioni l'anno verso la fine della guerra.

Negli Stati Uniti apparati con quarzi si diffusero in particolare nel mezzi corazzati, in aviazione ed in infanteria; esempi sono alcuni apparati, quali il radiotelefono SCR500 per carro armato, con 16-20 quarzi per apparato, lo SCR 600 per artiglieria campale con 24 quarzi ed il radio-telefono portatile SCR536, il noto Handie-Talkie, che aveva da due a quattro quarzi, ma che da solo comportò la costruzione di circa un milione di risonatori nel 1944. Ogni trasmettitore BC610, del quale furono prodotti circa 10 000 esemplari, era dotato di 98 quarzi campione, ognuno dei quali era tarato individualmente. Il noto frequenzimetro BC221 era munito di un quarzo sotto vuoto ad 1 MHz, con un'incertezza attorno a 10-7-10-8.

La produzione statunitense di risonatori che era di circa 10 000 pezzi nel 1939, salì a circa 10 milioni di esemplari nel 1944; ad alcune fabbriche, come la Western Electric, fu richiesto nel 1942 di moltiplicare per un fattore 750 la produzione di piezorisonatori , il che richiese ovviamente, non solo la soluzione di problemi di approvvigionamento e di tecnologia, ma soprattutto di formazione del personale.

Saltuario era l'uso di dispositivi piezoelettrici in apparati militari germanici; in alcuni radiotelefoni, come il Fu era contenuto un risuonatore piezoelettrico, sotto vuoto, il cui bulbo poteva essere visto

attraverso una finestra praticata sul pannello frontale. Quando la frequenza del trasmettitore coincideva con quella di risonanza del quarzo, il risuonatore si metteva a vibrare ed ai suoi capi si localizzava una tensione sufficiente per ionizzare un gas contenuto nel bulbo. In altri apparati più moderni, come il ricetrasmettitore FU8 citato al punto 4, un oscillatore piezoelettrico oscillava alla frequenza attorno a 32 MHz, e era utilizzato per tarare, con il metodo del battimento zero, una armonica dell'oscillatore pilota del trasmettitore.

Uso della modulazione di frequenza

Ogni candela di un sistema di accensione di un motore a combustione, con i relativi cavi, da un punto di vista radioelettrico, si comporta come un trasmettitore ad onde smorzate che irradia ad ogni scintilla un treno di oscillazioni ad onde smorzate. Un rivelatore d'ampiezza, assieme alla informazione desiderata, modula tutte queste oscillazioni, da qui la necessita di schermare elettromagneticamente lo spinterogeno, i cavi ed infine le candele. Queste schermature erano efficaci, ma non risolvevano il problema, che era ulteriormente peggiorato dal fatto che gli apparati, ricevitore e trasmettitore erano affiancati e frequentemente racchiusi un una stessa scatola metallica rappresentata dalla struttura del carro armato.

La soluzione del problema avvenne con l'uso della modulazione di frequenza, pratica che fu avviata dagli americani nel 1943. Tutti gli altri belligeranti, a quanto risulta, continuarono ad usare la classica modulazione di ampiezza, con le conseguenti limitazioni nella portata, dato il peggior rapporto segnale/disturbo.

Criteri di manutenzione e riparazione

Si è gia accennato che in molti apparati tedeschi era possibile la sostituzione di una parte avariata, usando un cacciavite; questo non è possibile negli apparati angloamericani. La filosofia americana ed inglese era quella di distruggere l'apparato in avaria, soprattutto perché non cadesse in mani nemiche e di sostituirlo; i tedeschi per ogni struttura militare avevano un apposito servizio di manutenzione installato su un camion, solitamente attrezzato anche con un piccolo tornio.

Una possibile conclusione

(visto da parte inglese)...

Durante la cosiddetta "battaglia di Inghilterra" con il tentativo tedesco di impadronirsi dei cieli dell'Inghilterra per costringerla ad una resa, alcune decine di bombardieri tedeschi vennero abbattuti e fu possibile agli inglesi recuperare e studiare gli apparati radioelettrici degli avversari. La stessa cosa fu fatta sistematicamente per gli apparati italiani a giapponesi; non era ancora terminato il conflitto che vennero preparati in proposito alcuni rapporti, la maggior parte ovviamente coperti da segreto militare, ma un rapporto riassuntivo fu pubblicato già alla fine del 1943 e pervenne nello stesso anno in Italia, a Torino, tramite la Svizzera.

La lettura di questo ed altri rapporti è estremamente interessante.

Gli inglesi riuscirono a ricostruire ed a far funzionare la dotazione radioelettrica di caccia, di bombardieri tedeschi ed aerei italiani, anche di un quadrimotore tedesco, con motori diesel ottenere una ragguardevole autonomia e che imperversava nell'Atlantico del Nord e che fu definito da Churchill "una sciagura nazionale".

In questo aereo gli apparati radioelettrici erano tra ricevitori, radiogoniometri. Radiotelefoni, trasmettitori, ricevitori del sistema di navigazione "Sonne" . interfonici una buona trentina,

Non è questa la sede di riferire su questi rapporti, ma una notazione generale può essere utile. Gli inglesi con riuscivano a rendersi conto non della qualità tecnologica, perché quella era inoppugnabile, ma dell'errore di prospettiva compiuto da italiani e tedeschi nel produrre apparati complessi, di difficile progetto e costruzione, tanto la vita di un apparato sarebbe stata al più di alcune decina di ore, al massimo poche centinaia di ore. Li colpiva soprattutto la propensione tedesca ed italiana per i commutatori a tamburo ruotante, in particolare in molti ricevitori tedeschi e nel ricevitore italiano AR18 della Ducati: questi oggetti erano definiti bellissimi pezzi di ingegneria, ma ci si domandava quanto fossero costati il progetto e poi la costruzione. Secondo l'impostazione anglosassone, in momenti bellici è da folli cercare la perfezione, che non arriva mai. Importa invece avere un apparato che funzionji abbastanza bene e che costi non troppo. La storia dei radar aeroportati britannici usati a partire dal 1943 contro i sottomarini tedeschi, è una lunga esemplificazione di queto principio,

... (visto da parte tedesca)

Sono usciti nel dopoguerra in Germania dei libri con una documentazione sulle attrezzature radio dell'esercito, quelle di radionavigazione, quelle di radiodisturbo e quelle di radio guida di aerei e missili, oltre ovviamente a quelle sui radar. La documentazione quindi non manca e chi ha preparato questa nota ebbe occasione di discutere varie questioni con il prof. Mario Boella e con il prof. Gernot Winkler, fino ad alcuni anni or sono Direttore dell'Osservatorio della Marina degli Stati Uniti, che in gioventù era stato un addetto alle radiocomunicazioni nell'esercito tedesco ed anche con il dott. R.L. Smith Rose del National Physical Laboratory, che ebbe dal suo Governo, dal 1941 al 1946 di coordinaree le attività investigative sugli apparati tedeschi, italiani e giapponesi, caduti in mano britannica.

L'opinione era che in genere gli apparati erano ben progettati, affidabili, di relativamente facile manutenzione e gestione, ma tutti i trasmettitori per uso campale, erano inguaribilmente scarsi per quanto riguarda la potenza irradiata, gli apparati tedeschi irradiavano qualche watt o poche decine di watt, mentre gli analoghi inglesi, ed ancor più quelli americani, irradiavano potenze largamente maggiori.

apparato	Banda MHz	Tipo	Potenza W	Tipo di modulazione	Tubi	Tubi
Fu5	27,2 – 33,3	ricetrasmittente	10	A2 – A3	dieci RV12P4000	due RL12P35
Fu8	1,12 –30,0	ricetrasmittente	30	A1-A2-A3	tredici RV12P4000	tre RL12P35 + una RL12T15
Fusprecht	23,1- 25,01	ricetrasmittente	1,2	A3	sei RV12P2000	una RL12P10
Kasten 20 u LSG		Amplificatore interfonico	4	audio	una RV12P2000	una RP12P10

tubo	anno	Tipo del tubo	Potenza massima W	Frequenza massima MHz
RL12T15	1936	triodo	15	60
RL12P35	1937	pentodo	35	65
PL12P10	1938	pentodo	10	100
RL4,8P15	1939	pentodo	15	100

[1] Se si sfogliano le annate del Proceedings of Radio Engineering dello Institute of Radio Engineers americano, una delle poche riviste di radiotecnica per il periodo prebellico, si incontrano fondamentali articoli teorici ed anche di tecnica di autori inglesi, tedeschi, italiani, francesi e giapponesi, oltre che di americani.

[2] L'apparato aveva due soli comandi: L'estrazione dell'antenna, abbinata all'interruttore di accensione, ed un commutatore parla-ascolta. Questo radiotelefono poteva essere usato anche camminando, da qui il nomignolo con il quale era conosciuto, ed usato da chiunque, senza alcun corso di istruzione.

[3] Gli accoppiamenti, ad esempio tra i due avvolgimenti di un trasformatore di frequenza intermedia non erano lasciati al caso oppure ad una regolazione da praticare a cose fatte, ma affidati ad un meticoloso progetto, utilizzando delle reti tra un punto di una bobina ed un altro punto dell'altra, le quali bobine erano singolarmente progettate e realizzate per raggiungere determinati fini.

[4] Il variometro è un dispositivo nel quale variando una disposizione meccanica, ad esempio facendo ruotare una bobina dentro un'altra, si può variare l'accoppiamento tra due circuiti o variare il valore di una induttanza.

[5] La resistenza ohmica presentata da un conduttore al passaggio di una radiofrequenza aumenta con il valore della frequenza, quindi a parità di sezione, conviene usare fili o superfici sottili.

[6] Incidentalmente una tecnica simile fu introdotta negli stessi anni nelle miniatura, nelle rimloch, lock-in e poi nelle valvole noval.

[7] Fa eccezione un radiotelefono sviluppato per i paracadutisti, munito di cinque valvole speciali tutte eguali.

[8] Esistono in proposito stupefatti rapporti tecnici inglesi in particolare sulle antenne riceventi per radiogoniometri da montare sugli aerei. Queste antenne sono contenute in un oggetto sferico o globoidale che, per definizione deve sporgere dalla superficie del velivolo, con conseguente carico aerodinamico. L'antenna tedesca era una pallina di una decina di centimetri di diametro.ed il segnale raccolto, a parità di condizioni era di quasi cinquanta volte maggiore rispetto a quello dei telai dei radiogoniometri inglesi.o amricani, che erano oggetti attorno a 30-40 centimetri di diametro.

Anna Sinopoli

Origini filosofiche del principio delle velocità virtuali

Introduzione

La storia dell'evoluzione del pensiero scientifico dimostra come la suddivisione specialistica e settoriale delle discipline sia frutto dell'epoca moderna; mentre, fin dagli inizi, la scienza è stata intimamente connessa ad aspetti speculativi diversi, in modo particolare con il pensiero filosofico e quindi con l'organizzazione sociale. È durato, infatti, più di venti secoli il processo che ha condotto la Meccanica a divenire una scienza formale ed assiomatica, basata su principi ben evidenti, i cui teoremi riescono a fornire interpretazione di fatti empirici.

La Statica, con cui la Meccanica si è pressoché identificata fin al XVII secolo, è una delle scienze più antiche. I suoi primordi possono essere situati agli albori della cultura greca, alcuni secoli prima della nascita di Cristo, ed essa non si è evoluta in un processo di continuo accrescimento, ma è restata pressoché ferma alle conoscenze del periodo greco fino al Medioevo.

I motivi di tale stallo vanno imputati non soltanto alla totale coincidenza in quel periodo della Meccanica con la Statica, ma soprattutto all'ambiguità che nasce dall'enunciazione di principi che coinvolgono l'oscuro e intuitivo concetto di forza, che dagli stessi principi trae la sua definizione. Scopo della Meccanica, infatti, non è tanto quello di accertare i fatti dell'esperienza, quanto di inter-pretarli alla luce di evidenti principi. Ebbene, la Meccanica è essenzialmente Statica presso i Greci e l'intuitivo concetto di forza, *il peso*, è strettamente connesso alle leggi della Statica.

Il concetto di forza su cui si basa la Statica è rimasto un concetto oscuro e non definito fino al momento in cui Newton, nel XVII secolo, ha enunciato le sue leggi; ma l'introduzione di tali leggi non ha eliminato la confusione. Spesso, infatti, le leggi sono concepite intuitivamente per soddisfare la doppia intenzione che generalmente accompagna una legge fisica: delineare un concetto di una realtà preesistente e, allo stesso tempo, connotare quel concetto di proprietà fenomenologiche ad esso assegnate.

I più grandi progressi della meccanica sono stati ottenuti soltanto quando l'attenzione è stata distolta dal concetto di forza ed orientata verso grandezze direttamente misurabili o il cui stato ontologico era più chiaro, come il tempo e lo spostamento.

La sperimentazione sistematica di Galileo basata sul metodo scientifico è rivolta allo studio del moto dei gravi; ed Eulero, il primo grande assiomatizzatore della storia della meccanica, la definisce nel titolo della sua opera come: *Mechanica, sive motus scientiae analytice exposita*.

La soluzione del problema dell'equilibrio attraverso la legge di composizione delle forze ad opera di Varignon ha richiesto uno sforzo durato circa venti secoli; e dopo la sistematizzazione della meccanica operata da Eulero nel XVIII secolo, sarebbe occorso ulteriore tempo perché le leggi dell'equilibrio assumessero il moderno connotato di equazioni fondamentali della statica, sulla base di una assiomatizzazione di carattere sostanzialmente algebrico.

Il moderno schema assiomatico della meccanica introdotto da Nolle permette di ignorare ogni stato ontologico del concetto di forza. Alla questione: cos'è la forza? L'unica risposta possibile è matematica: "Le forze sono oggetti indefiniti come punti e linee in geometria; le loro proprietà sono definite matema-ticamente. Usando queste proprietà i matematici possono provare teoremi sulle forze".

Il concetto di forza e gli oggetti della meccanica

La storia della meccanica è in qualche modo simile alla storia[1] della metafisica: la sua evoluzione non si è organizzata ordinatamente in un modello narrativo basato sulla crescita delle conoscenze empiriche, ma sul perenne conflitto d'interpretazione concernente sempre la stessa questione originale connessa al concetto di forza. Tutti e tre i principi della statica, infatti, il principio della leva, il principio delle velocità virtuali e quello di composizione delle forze, possono essere unificati in un'unica relazione funzionale del tipo:

$$\sum_1^k t_i n_i = 0 \qquad (1)$$

in cui t_i rappresenta l'i-esima forza, e n_i a turno il braccio della forza applicata rispetto al fulcro, lo spo-stamento virtuale a parità di tempo o il coseno direttore dell'angolo formato dalla forza rispetto ad una direzione prefissata.

Ebbene, il termine *tn* ha un nome caratteristico: in greco, $\rho o \pi \eta$ ed in latino, *momentum*. Questo termine, inoltre, presenta un caso epistemologico, spesso ignorato, ma di grande interesse. Esso è restato lessicalmente identico, nonostante gli siano stati attribuiti nel corso del tempo significati diversi, rintracciabili anche nella tradizione peripatetica, che rimase rigidamente legata all'analisi testuale di Aristotele.

I primi dati che stabiliscono la scienza meccanica non sono derivati da una sperimentazione pura, ma dalla necessità di confrontarsi con esperienze pratiche guidati da un qualche principio.

Invece, il vero scopo della Meccanica è quello di interpretare i fatti dell'esperienza alla luce di principi evidenti, anche se spesso tali principi non sono semplicemente basati sull'osservazione dei fatti come le leggi fisiche, ma richiedono piuttosto ipotesi interpretative.

Così, le varie circostanze che caratterizzano l'equilibrio di un corpo possono essere ricondotte tutte all'azione di un singolo, mutevole ente: la *forza*. Ma la ragione interpretativa, che correla tutte le azioni nel concetto di forza, non è indipendente dalle leggi della statica; essa ne è una conseguenza, e forse una

implicita definizione. Questa è più precisamente la ragione per cui il più precoce pensiero scientifico meccanico, ha assunto come suo riferimento *oggetti* particolari, quali la *leva*, usata fin dai tempi più antichi come uno strumento necessario. Anzi, l'intera storia della meccanica fino al XVIII secolo può essere formulata in termini di *oggetti* particolari che incarnano un concetto e testimoniano un principio, attraverso un'immagine fisica della linea di pensiero.

Fin dall'epoca greca, la *bilancia*, la *leva* o più in generale le *macchine semplici* hanno rappresentato simbolicamente il *momentum*, inteso come prodotto del peso per la velocità ad esso associata in un meccanismo, testimoniando la più precoce intuizione del principio delle velocità virtuali assunto come postulato fondamentale per il problema dell'equilibrio.

La legge della leva, il principio delle velocità virtuali e la legge del parallelogramma derivano tutte da conoscenze intuitive dei concetti coinvolti e così ricevuti dall'antica tradizione: essa è la tradizione aristotelica. Aristotele, più d'ogni altro, è il responsabile dei concetti pregiudiziali e degli strumenti linguistici, cui anche il moderno pensiero scientifico è debitore.

Dalla laicizzazione della τεχνη al problema del divenire

La filosofia greca del periodo classico dopo Parmenide[2], ha ormai preso le distanze da tutto ciò che è mutevole, *divenire* e che attiene quindi al mondo dell'osservazione empirica e del pressapoco. La cesura operata fra mondo naturale e mondo del *logos* è quindi preclusione ad ogni sviluppo scientifico delle scienze meccaniche.

Nello stesso tempo, la definizione più precisa di quello che è l'oggetto della *sophia*, il *logos* (la razionalità stessa, l'ordine che presiede alla deduzione, il principio di identità), se da un lato favorisce la nascita degli *Elementi* di Euclide, dall'altro vanifica, almeno per la Meccanica, la trasformazione rivoluzio-naria introdotta dalla scuola Ionica e dai suoi filosofi (VII-VI sec. a.C.).

Talete, Anassimandro, Anassimene e Anassagora avevano trasformato in pensiero positivo, che ha come oggetto di conoscenza la natura, la cosmogonia mitica di importazione orientale del periodo arcaico. Essi avevano ricondotto tutto ciò che esiste nella *physis*, tale quale può essere osservata tutti i giorni, e nella quale ogni cosa che esiste può trovare il suo fondamento e la sua ragione.

Tutto può essere spiegato, senza bisogno di cosmogonia, facendo riferimento ai quattro elementi naturali: *il caldo, il freddo, il secco e l'umido*, concepiti come *archetipi* della realtà e responsabili di ogni effetto fisico determinato.

Al *thauma* provocato da un fenomeno naturale strano e incomprensibile, che aveva la sua giustificazione nel soprannaturale e nel mito, la Scuola Ionica sostituisce l'accettazione di ogni fenomeno come naturale e l'interrogazione della natura. Quando il *thauma* è reintegrato nell'ordinario e nel quotidiano, non re-

sta di meraviglioso che l'ingegnosità della soluzione proposta: la *teoria*.

Questo è, infatti, un periodo di grande attività tecnica e commerciale. La natura è osservata ed imitata e il filosofo-scienziato-tecnico della Scuola Ionica sostituisce il *demiourgos* del periodo omerico, unico depositario della *τεχνη*, maestro del *saper fare*, artigiano ed indovino insieme, sacerdote e stregone.

Ed in questo processo di interrogazione della natura, che cerca di dar ragione dei cambiamenti nel cosmo, l'uomo capisce meglio ciò che egli stesso costruisce; il movimento di una macchina, che si esplica nella struttura permanente della materia di cui essa è fatta, è più comprensibile dei cambia-menti provocati dal dinamismo vitale, dalla crescita delle piante e da tutte le altre trasformazioni.

Questo è uno dei motivi per cui la laicizzazione della *τεχνη* non conduce alla nascita di un vero e proprio pensiero tecnico nella Scuola Ionica; le innovazioni e i perfezionamenti di attrezzature e conoscenze tecniche, tutte prese dall'Oriente in antica data insieme alla cosmogonia mitica, si fissano nell'applicazione della forza umana o animale attraverso vari strumenti e non nella utilizzazione delle forze della natura attraverso macchine motrici. A questo livello, le forze della natura, anche se private della loro valenza mitica e accettate come fatti naturali, sono e restano incomprensibili per l'uomo.

La cultura tecnica dei Greci fino all'età classica non supera dunque lo stadio definito come tecnica dell'*òrganon*, che non agisce in virtù di una sua struttura interna o di un principio, ma che è prolungamento del braccio umano, che trasmette ed amplifica la forza dell'uomo.

Questo ristagno tecnico e questa persistenza di una mentalità pre-meccanica, nel momento stesso in cui il pensiero tecnico pare prendere forma, sembra un fenomeno tanto più sorprendente, in quanto a prima vista sembra che i Greci disponessero di quella attrezzatura intellettuale che aveva permesso già nel VI sec. a. C. ad Eupalino di Megara la costruzione a Samo di un canale sotterraneo, che presupponeva l'uso di ardui procedimenti di triangolazione; Talete, infatti, il primo geometra e matematico greco, è anche il primo dei filosofi ionici.

La spiegazione può essere trovata solo su un piano di carattere filosofico, specchio di un'organizzazione sociale in trasformazione. La natura concepita come un meccanismo, che l'uomo imita con le sue macchine, pone il problema dell'origine del movimento: il divino si concentra al di fuori della natura, in opposizione ad essa, è lui che la anima e la regola come il *Nous* di Anassagora.

Nello stesso tempo, in Magna Grecia, i saggi pongono l'accento non più sull'unità della *physis*, ma sulla dualità *anima-corpo*; c'è un'anima diversa e distinta dal corpo, che lo dirige come il divino fa per la natura. L'anima possiede una dimensione diversa da quella spaziale, una forma di azione e di movimento; *il pensiero*, parente del divino,

è il solo che può conoscerlo e raggiungere così una dimensione libera dal tempo e dai cambiamenti. Tuttavia questo divino non ha niente né di soprannaturale né di mitico; esso è pura astrazione, identità di sé, principio stesso del pensiero razionale, oggettività sotto la forma di *logos*.

Se presso gli Ioni l'esigenza di positività aveva condotto all'assoluto nel concetto di *physis*, in Parmenide (V a.C.) l'esigenza nuova di intellegibilità conduce al concetto di *Essere*, immutabile ed identico. Presso gli Ioni, il reale si esprimeva ancora con il plurale *τα οντα*, con Parmenide, l'Essere si esprime al singolare *το ον*; non più le cose diverse che conosce l'esperienza, ma l'oggetto intellegibile del *logos*. E le domande diventano: cosa c'è di immutabile nella natura? quale è il principio della realtà? come possiamo raggiungerlo ed esprimerlo?

La dottrina di Parmenide segna il momento in cui la contraddizione è proclamata tra il divenire del mondo sensibile e le esigenze logiche del pensiero.

La riflessione matematica ha giocato in ciò un ruolo decisivo. Attraverso il suo metodo di dimostrazione e il carattere ideale dei suoi oggetti, essa ha infatti assunto il valore di modello; sforzandosi di applicare il numero ai concetti essa ha dovuto affrontare il problema del rapporto fra l'uno e il molteplice, l'identico e il diverso: essa li ha posti con rigore in termini logici. Non solo, ma essa ha condotto a denunciare l'irrazionalità del molteplice e a formulare chiaramente le difficoltà teoriche del giudizio e dell'attribuzione. Il pensiero filosofico ha potuto così sganciarsi dalle forme spontanee del linguaggio in cui esso si esprimeva; al di là delle parole, *επεα*, usate dalla gente volgare, c'è una ragione immanente al discorso, un *logos*, che è esigenza assoluta di non contraddizione: l'*essere* è, il *non-essere* non è. Sotto questa forma categorica il *pensiero* si trova completamente separato dalla realtà fisica: il *logos* non può avere altro oggetto che l'*essere*, immutabile ed identico.

La filosofia a questo punto si pone dei problemi che attengono alla sua stessa natura; essa elabora i suoi concetti, costruisce la sua razionalità.

In tale ambito, la filosofia non si appoggia sul reale sensibile, né si dedica all'osservazione dei fenomeni naturali; soprattutto essa non fa sperimentazione, anzi la nozione stessa di sperimentazione gli è estranea. La sua ragione non è la nostra ragione sperimentale della scienza contemporanea, orientata verso i fatti e la loro sistemazione teorica.

La ragione greca ha dato origine ad una matematica, prima formalizzazione dell'esperienza sensibile, ma non ha cercato di utilizzarla nell'esplorazione del reale fisico. È mancata la connessione fra matematica e fisica, fra calcolo ed esperienza. Per il pensiero greco, la natura rappresenta il mondo del pressapoco, al quale non è possibile applicare né esatta misura, né ragionamento rigoroso.

La ragione non si forma attraverso le tecniche che operano sulle cose, ma

si costituisce per la messa a punto e l'analisi dei diversi mezzi d'azione sugli uomini, di tutte quelle tecniche di cui il linguaggio è lo strumento comune: l'arte dell'avvocato, del retore, del professore, dell'uomo politico. La ragione greca è quella che permette di agire in modo positivo, riflessivo, metodico sugli uomini, non per trasformare la natura. In questo senso la filosofia greca è figlia della *polis*.

Alla figura del *demiourgos* omerico dei secoli VIII-VII a.C., succede durante la Scuola Ionica (VII-VI a.C.) la figura del filosofo della *physis*, matematico-scienziato-costruttore; e tale periodo di laicizzazione della *techné* è contemporanea al processo di democratizzazione delle *poleis* e ad una più chiara precisazione della categoria artigianale. Essa risponde ad un'esigenza puramente economica ed estranea alla politica; lavorando per vendere ciò che ha fabbricato l'artigiano si situa nello stato al livello della funzione economica dello scambio.

Nel periodo classico di Socrate, Platone ed Aristotele (V-IV a.C.) compare l'uomo di pensiero: politico, avvocato, filosofo, professore, retore, architetto, che attraverso il *logos* esercita la sua azione sugli uomini. Tale trasformazione nella storia del pensiero sembra avere nella comparsa della categoria sociale degli schiavi la sua ragione fondamentale.

L'*architékton*, in Platone ed Aristotele, designa, in opposizione all'artigiano o al manovale (*ergastikòs*) che lavora con le proprie mani, il *professionista* che dirige i lavori, che comanda e coordina gli operai del cantiere.

L'architetto, costruttore di navi, di macchine da guerra, d'apparati e macchinari scenici, si appoggia su una *techné* che ha la forma di una teoria più o meno sistematica, di carattere prevalentemente matematico. La professionalità del costruttore, del coordinatore del cantiere non risiede tanto nell'interrogarsi sul come e sul perché delle cose della cui costruzione è responsabile; la sua *techné*, la sua abilità sta nella capacità di dominare e controllare la situazione, in modo che la costruzione giunga a termine.

È su un altro piano che le questioni vanno poste; spetta ad altri, al filosofo o al matematico, come ad Aristotele, come all'autore peripatetico dei *Μηχανικα Προβληματα* o come ad Archita di Taranto porsi domande sul perchè delle questioni meccaniche e trovare una risposta sul piano della logica, ma non della sperimentazione.

Così la via aperta dai filosofi Ionici sfocia in un altro orizzonte: il *logos*, la ragione dimostrativa e la ragione pratica rinunciano *a priori* alla possibilità della sperimentazione, e quindi ad uno sviluppo del pensiero tecnico, nel momento in cui denunciano l'illusorietà e l'inconsistenza del mutevole, di ciò che ha l'emergenza del molteplice e del mobile.

La filosofia naturale di Aristotele (IV a.C.) e la sua *Fisica* sono l'unico tentativo di porre ordine e ragione nel divenire. La risposta è su un piano metafisico non solo per ciò che riguarda la que-

stione più generale del *divenire*, ma anche per ciò che attiene alle questioni fisiche e meccaniche: il suo *motore immobile*, intuizione precoce ma vaga della necessità di qualcosa di immutevole, che si conservi nei processi di trasformazione, prelude ad un principio che sarà enunciato molto più tardi: quello della conservazione dell'energia.

Purtroppo, la Scuola Peripatetica (III a.C.) si limiterà ad un'analisi testuale degli scritti di Aristotele, disattendendo quindi le possibilità insite nella sua opera e riaffermando un carattere metafisico dei principi da lui enunciati.

L'unico tentativo in quel periodo di formulare la meccanica in modo assiomatico è dovuto ad Archimede (287-212 a.C.) nel III secolo a. C., che primo nella storia ed in ciò precursore di Galileo, analogamente a quello che Euclide aveva fatto per la geometria, fonda i suoi principi della statica su postulati ritenuti evidenti e su concetti matematicamente definiti; egli inoltre fa della sperimentazione soprattutto per ciò che riguarda il principio di galleggiamento dei corpi. Il suo esempio tuttavia non avrà seguito nella storia della scienza; Aristotele e la Scuola Peripatetica domineranno il pensiero scientifico fino a Galileo.

Filosofia naturale di Aristotele

Aristotele (384-322 a.C.) ha affrontato i concetti fondamentali[3] e i temi della fisica in un modo molto lontano dallo spirito della moderna ricerca. La reale differenza sta, non nelle ipotesi o nelle soluzioni cui egli giunse, ma nelle questioni che egli si pose e nei problemi che ritenne degni di attenzione.

La sua *Fisica* può avere un posto nel pensiero contemporaneo, anche se secondario, soltanto nella filosofia della natura. Secondo Maritain, e quasi in completo accordo con la visione Aristotelica benché dopo circa duemila anni, essa è la scienza che ha come oggetto "il divenire, l'ente mutevole proprio perchè muta; l'ente, allora [...] ma non l'ente come ente che è, o in accordo al suo mistero di intellegibilità, che è l'oggetto della metafisica; [...] ma l'ente in accordo al reale mistero associato con il divenire e il mutevole del movimento nello spazio in cui i corpi sono in relazione, del movimento di generazione e corruzione materiale che è il regno più profondo della loro struttura ontologica, del movimento della crescita vegetativa in cui l'ascesa della materia all'ordine della vita rivela sé stessa"[4].

Il pensiero contemporaneo ritiene tali problemi poco rilevanti e pertinenti ad altri settori quali l'epistemologia e la filosofia della natura. Tuttavia, è importante ricordare che, al suo inizio, la scienza, usando sperimentazioni rudimentali e tecniche interpretative, era animata dal tentativo di comprendere il tutto in un solo colpo. Invece di cercare di descrivere e spiegare la realtà fisica in tutta la sua diversità, essa cercò una sintesi onnicomprensiva che considerava ogni dettaglio in anticipo. Ciò è ben evidente nelle pagine della *Fisica* di Aristotele, in cui vengono discusse la natura dell'*ente* e le quattro cause: *efficiente, finale, formale* e *materiale*.

La critica alla Scuola Eleatica e ai suoi successori si pone decisamente "sul cammino della Metafisica, che è lo studio della prima realtà"[5].

La distinzione che Aristotele opera, tra fisica e metafisica, può essere così riassunta. Ogni *ente naturale* (*sostanza*) ha soltanto la *realtà* (intesa come *atto*) che un *ente mobile* può acquistare. Ogni *sostanza* è composta di *forma* e *materia*, ma la *forma* che interessa il fisico non è la *forma pura* che cerca il metafisico; in fisica, la *forma* acquista il significato specifico di *motore*, di ciò che è movimento. Solo alla fine del suo cammino speculativo il fisico può raggiungere il vertice da cui vedere il *primo motore*, unico, inesteso, *immobile*, generatore di un moto perpetuo e uniforme, circolare dall'inizio dei tempi. Il *primo motore* è la *forma pura* che rende l'universo fisico intellegibile: a questo vertice la metafisica permea la fisica proprio perchè la teoria della *sostanza* che è sviluppata dalla metafisica non può ignorare il movimento. Per Aristotele, *materia* e *forma* sono reciproche, eterne, non create.

Da un punto di vista scientifico, la fusione aristotelica di fisica e metafisica è stata un disastro; infatti, la priorità del moto circolare sul moto rettilineo ha impedito per secoli l'enunciazione della legge di inerzia.

Inoltre, in teologia, la sintesi aristotelica ha creato l'illusorio e confortante sillogismo dell'esistenza di Dio, sillogismo che riduce l'Essere Divino ad un predicato super-cosmico.

Su un piano metafisico, Aristotele fonda dunque l'intellegibilità del *divenire* sul concetto di *sostanza* come fusione di *materia* e *forma*: se qualcosa avviene, la *forma* (realizzazione del divenire) deriva dalla *materia*, che non è assenza di forma, ma sua *potenzialità* o *virtualità*. L'unione di materia e forma acquista un valore dinamico, in relazione al divenire; la *materia* è *potenzialità* o *potenza*, e la *forma* è *atto*.

La dualità *potenza-atto* diventa estremamente importante in meccanica; fra l'altro, *potenza* in greco si dice *δυναμισ*, mentre *atto* corrisponde ad *ενεργεια* o talvolta *εντελεχεια*. Allora, la *δυναμισ (forza)* è potenzialità di *ενεργεια*, che se diventa *atto* è movimento. Ciò che diventa atto è sempre limitato da ciò che è possibile, ma ciò che è possibile avviene solo se c'è una *causa efficiente* per una sua realizzazione. Come dice Aristotele: "Se una cosa è in movimento, essa necessariamente sta per essere mantenuta in moto da qualcosa"[6].

Il movimento è dunque potenzialità e attualità insieme; e questo porta molto vicino ad una concezione statica del movimento. L'equivalenza fra *motore* (*causa efficiente* che agisce su una *materia* che si può muovere) e *moto reale* è sempre perfettamente verificata. Un motore, però, può a sua volta essere in movimento e richiede pertanto un altro motore, e così in successione; la spiegazione diventa perfetta solo se si trova un motore che non è soggetto a movimento: il *motore immobile*.

Il reale significato del *motore immobile* è che l'intero movimento nell'universo è indistruttibile: il *motore immobile* rappresenta dunque una precoce intuizione di quello che molti secoli dopo sarà enunciato come principio di conservazione dell'energia.

Dal punto di vista meccanico, i concetti più importanti della *Fisica* di Aristotele determineranno il carattere della scienza successiva.

Il tentativo di dimostrare l'esistenza del *motore immobile* porta Aristotele ad analizzare il moto locale. Esso necessariamente avviene in un tempo finito; e ogni tipo di motore e ogni tipo di movimento sono caratterizzati da una sorta di propinquità o contatto fra motore e mosso.

Nelle *macchine semplici* e negli *oggetti* che caratterizzeranno la storia della meccanica fino al XVII secolo il contatto fra movente e mosso sarà realizzato per *costruzione di macchina*: movente e mosso saranno sempre pesi collegati in un meccanismo.

Aristotele afferma inoltre che il confronto diretto fra moti di tipo diverso è impossibile; per il confronto è necessario un criterio basato sull'identità di *forma (ενεργεια)* e di enti (motore e mobile). Questo criterio consiste nell'ignorare ogni altro aspetto del moto che non sia la velocità: la differenza fra due moti consiste solo nella distanza coperta e nel tempo impiegato a percorrerla.

La dualità *potenza-atto* può essere risolta solo in termini di velocità: la *potenza (δυναμισ, forza)* è correlata soltanto alla velocità possibile, mentre l'*atto (ενεργεια, velocità)* misura la velocità reale raggiunta da un corpo che si muove.

Tale affermazione non deriva da una osservazione sperimentale, ma dalla struttura del modello concettuale e linguistico che Aristotele ha adottato per rendere il moto comprensibile.

La conseguenza è la prima equazione fisico-matematica della storia della scienza, l'assioma di Aristotele, che correla la forza con la velocità: sotto l'azione di una eguale forza "il corpo più leggero si muoverà più velocemente [...] e infatti la velocità del corpo minore sta a quella del corpo maggiore come il corpo maggiore sta al minore".[7]

L'assioma di Aristotele stabilisce due proposizioni:

- per ogni spostamento possibile, la forza A e il peso B sono inversamente proporzionali alla distanza coperta in un tempo dato;

- le distanze coperte in due moti qualsiasi stanno fra loro nello stesso rapporto dei tempi, a parità di forza, e delle forze, a parità di tempo.

Aristotele dice che così "ουτο γαρ αναλογον εσται", e, cioè, "così la proporzione si conserva". Se la prima delle due proposizioni di Aristotele è esatta e corrisponde al principio delle velocità virtuali per l'analisi dell'equilibrio di un movente e di un mosso collegati in un meccanismo, la seconda che corrisponde ad una proporzionalità fra forza e velocità del moto è deviante, non solo a causa dell'oscuro concetto di forza, ma soprattutto poiché essa condusse erroneamente nel campo della dina-

mica, impedendo la scoperta delle leggi del moto.

I canoni fissati dalla filosofia aristotelica in relazione al problema del *divenire*, ed in particolare il *principio delle velocità virtuali*, saranno considerati nei secoli successivi e fino al tardo medioevo l'unico riferimento assiomatico per l'analisi di ogni problema di equilibrio, affrontato come ricerca della condizione di quiete o di *moto bloccato* di un meccanismo.

È codesta accentuazione forte sulla mobilità possibile del sistema di chiara matrice aristotelica, che ha fatto sì che tutti gli *oggetti* che hanno fatto la storia della meccanica siano stati meccanismi o, come diremmo oggi in linguaggio moderno, sistemi labili in cui il movimento è potenzialmente possibile, ma impedito dal particolare valore dei pesi applicati[8].

Fino al XVIII secolo, il problema meccanico dell'equilibrio si evolverà cercando di individuare in nuove situazioni, o in nuovi *oggetti*, i valori da considerare per le velocità virtuali di movente e mosso, generalmente pesi collegati fra loro in un particolare meccanismo.

In tal senso, l'evoluzione del problema meccanico dell'equilibrio dal periodo greco fino al XVIII secolo sarà spesso debitore alla fisica aristotelica.

[1] E. BENVENUTO, *An Introduction to the History of Structural Mechanics*, New York, Springer, 1991, Cap. I.

[2] J. P. VERNANT, *Mito e pensiero presso i Greci*, Einaudi, 1970. J. P. VERNANT, P. VIDAL NAQUET, *La Grèce ancienne*, Seuil, 1991.

[3] E. BENVENUTO, cit., Cap. II.

[4] J. MARITAIN, *La philosophie de la nature: essai critique sur ses frontières*, Parigi 1935.

[5] ARISTOTELE, *Physique*, Parigi, H. Carteron ed., 1926, Vol. I.

[6] ARISTOTELE, Ibidem.

[7] ARISTOTLE, *On the heavens*, Cambridge (Mass.), W. K. C. Guthrie ed., Harvard University Press, 1939.

[8] A. SINOPOLI, *A Re-examination of some theories on vaulted structures: The role of geometry from Leonardo to de La Hire*, in: *Towards a History of Construction*, A. BECCHI ET AL. eds., Basel, Birkhäuser, 2002, pp. 601-624.

Anna Sinopoli

Principio delle velocità virtuali e trasformazione per analogia degli 'oggetti' della meccanica

Introduzione

L'evoluzione del problema meccanico dell'equilibrio dall'epoca greca fino al tardo medioevo - e come avremo modo di dimostrare anche fino al XVIII secolo - è spesso debitrice ai canoni fissati dalla fisica aristotelica.

Il *principio delle velocità virtuali* mantiene, infatti, per molti secoli il suo valore assiomatico di postulato fondamentale, mentre le problematiche evolvono rappresentate da *oggetti* che evidenziano il modo particolare in cui velocità e pesi si possono rapportare in situazioni diverse. Fin dalla sua prima formulazione, il principio trae la sua motivazione dalla necessità di collocare anche il *movimento* nello scenario metafisico più ampio del *divenire* aristotelico, privilegiando così nelle sue applicazioni sistemi mobili, in cui i due pesi coinvolti, trattati come quantità scalari, sono reciprocamente responsabili del possibile movimento uno dell'altro e del conse-guente valore della velocità.

La validità del principio, inoltre, basata fin dalla sua prima dimostrazione dell'ignoto autore peripatetico sulle regole ed i teoremi della geometria, ha fatto sì che per molti secoli la meccanica, con cui la statica si è identificata, fosse considerata la scienza dei pesi governata dalla geometria. Geometria intesa come analisi degli spostamenti possibili, dal momento che il problema dell'equilibrio è stato spesso analizzato come la ricerca della condizione limite per la quale un sistema mobile potesse essere posto in uno stato di non-mobilità.

È codesta accentuazione forte sulla mobilità possibile del sistema di chiara matrice aristotelica che ha fatto sì che tutti gli *oggetti* che hanno fatto la storia della meccanica siano stati meccanismi o, come diremmo oggi in linguaggio moderno, sistemi labili in cui il movimento è potenzialmente possibile, ma impedito sia dal particolare valore dei pesi applicati sia dalla loro posizione o mobilità[1]. Fino al XVIII secolo, il problema meccanico dell'equilibrio sarà spesso analizzato considerando le velocità, o gli spostamenti compiuti nello stesso intervallo temporale, di movente e mosso, generalmente pesi collegati fra loro per costruzione di macchina in un particolare meccanismo o *oggetto*.

La Scuola Peripatetica e i Μηχανικα Προβληματα

Fino al XIX secolo Aristotele è stato erroneamente ritenuto l'autore dei *Μηχανικα Προβληματα*, e questo fatto ha naturalmente accresciuto l'influenza di tale opera sul pensiero scientifico fino al Medio Evo. Oggi, come risultato degli studi di numerosi storici, tale attribuzione è labile e si ritiene che i

Μηχανικα Προβληματα (280 a.C.) siano opera di un ignoto autore della Scuola Peripatetica. Ciò non ha diminuito la loro importanza, dal momento che essi si configurano come questioni di carattere teorico attinenti a problemi pratici, in particolare a problemi meccanici.

Il tutto è all'insegna dello stupore: *thauma*; come può l'arte (*τεχνη*) meccanica apparentemente contraddire la natura?

A questo riguardo l'introduzione dei *Μηχανικα Προβληματα* è significativa; essa non solo ci permette di evidenziare lo stupore di chi osserva i fenomeni naturali, ma ci fornisce una chiara definizione di ciò che deve intendersi per meccanica (*μηχανη*): essa è quella parte della *τεχνη*, quella particolare arte che assiste l'uomo nel produrre effetti a lui vantaggiosi, ma contrari alla natura.

"Cose sorprendenti *(Θαυμαζεν–ται)* avvengono in accordo con la natura, le cui cause sono ignote, ed altre cose avvengono in disaccordo con la natura, le quali sono prodotte dall'ingegno *(τεχνη)* a vantaggio dell'uomo. Ciò accade sia perché in molti casi la natura produce effetti contro il nostro vantaggio, sia perchè la natura spesso agisce in modo coerente e semplice, mentre il nostro vantaggio varia in molteplici modi. Quando allora dobbiamo produrre un effetto contrario alla natura, ci sentiamo smarriti a causa della difficoltà, e abbiamo bisogno di ingegno *(τεχνη)*. Pertanto, noi chiamiamo meccanica (*μηχανη*) quella parte di *τεχνη* che assiste tali difficoltà. Poiché come il poeta Antifone scrisse: 'noi con la *τεχνη* raggiungiamo la supremazia su quelle cose su cui saremmo sopraffatti dalla natura'. Di questo tipo sono quei fatti in cui il minore domina il maggiore, cose di piccolo peso muovono oggetti pesanti, e tutte quelle situazioni simili che noi chiamiamo questioni meccaniche *(μηχανικα προβληματα)*. Esse non coincidono con le questioni fisiche *(τοισ φυσικοισ προβλημασιν)*, né sono separate da queste, poiché esse hanno una connessione sia con le speculazioni matematiche sia con quelle fisiche *(των τε μαθηματικων θεωρη–ματων και των φυσικων)*, ed il principio è dimostrato dalla matematica, mentre l'applicazione pratica attiene al mondo fisico".[2]

Dunque, la meccanica ha la sua radice di veridicità nelle dimostrazioni matematiche, ma ciò che attiene alla natura riguarda solo le applicazioni pratiche; lo scollamento fra formalizzazione di carattere matematico, che come vedremo si coniuga ai canoni della metafisica aristotelica, e fenomeni naturali è sancito. L'introduzione continua affermando che fra le questioni meccaniche figura quella che riguarda la leva; essa è quel meccanismo che consente di sollevare con un piccolo sforzo un grande peso: e ciò è contro natura. "Ora la causa originale di tutti questi fenomeni è il cerchio; ed esso è naturale (sorprendente), perciò non c'è niente di strano che qualcosa di sorprendente possa derivare da qualcosa di ancora più sorprendente, ed il fatto più notevole è la com-

binazione degli opposti l'uno con l'altro".[3]

Nel cerchio, infatti, i punti sulla circonferenza si muovono, mentre il centro resta in riposo; la circonferenza è, nello stesso tempo, una linea concava e convessa. Quando il cerchio ruota, una parte avanza mentre l'altra indietreggia e, dopo aver fatto un giro, il punto che si trovava all'estremità di un raggio ritorna nello stesso luogo da cui era partito. Punti diversi lungo lo stesso raggio si muovono con velocità diverse; inoltre, se due ruote si toccano, una girerà in un senso e l'altra in senso contrario, ma se aggiungiamo una terza ruota essa girerà nello stesso verso della prima.

"Non c'è niente di strano nel cerchio che è la prima delle meraviglie. I fatti che riguardano la bilancia dipendono dal cerchio, e quelli che riguardano la leva dipendono dalla bilancia; e quasi tutti gli altri problemi del movimento meccanico dipendono dalla leva."[4]

Tutte le questioni meccaniche riguardano dunque il movimento, che in accordo all'impostazione aristotelica è circolare; tali questioni hanno la loro radice nel cerchio, il cui principio è dimostrato attraverso la matematica, ma poggia sulle basi metafisiche della filosofia aristotelica. Sul piano della natura non c'è bisogno di conferma delle verità ottenute dalle dimostrazioni matematiche; al piano fisico competono solo le applicazioni che la $\tau\varepsilon\chi\nu\eta$ riesce a produrre attraverso la $\mu\eta\chi\alpha\nu\eta$.

Per la priorità aristotelica del moto circolare su tutti gli altri movimenti, la legge della leva e della bilancia è allora spiegata attraverso l'analisi del movimento di punti collocati su circonferenze di raggi diversi.

Inoltre, poiché per Aristotele il movimento è potenzialità e attualità insieme - e questo porta molto vicino ad una concezione statica del movimento - per l'equilibrio, il moto analizzato è soltanto quello possibile. Se il sistema è fermo, dal momento che la potenzialità di movimento non è diventata atto, l'equilibrio, e cioè la quiete, non esclude la più vasta gamma di movimenti possibili.

Dopo aver dimostrato che i moti possono essere decomposti seguendo una regola che è una precoce intuizione della regola del parallelogramma, l'autore peripatetico dimostra che il moto circolare è la somma di due moti dei quali uno, il tangenziale, è detto naturale e l'altro, il radiale, innaturale.

Con riferimento alla Figura 1, si considerino allora due punti che descrivono cammini circolari alle estremità dei rispettivi raggi; il maggiore sia *AB*, il minore *AZ*. Entrambi i punti si muoveranno lungo una direzione naturale che è quella tangente alla rispettiva circonferenza $Y\Omega$ e $Z\Theta$, e lungo una direzione innaturale *BY* e *XZ*. La dicitura innaturale implica un'attrazione verso il centro, un'interferenza la cui ragione non è spiegata, ma che può essere considerata come una precoce intuizione dell'accelerazione centripeta necessaria per consentire una traiettoria circolare. Può essere, inoltre, interessante osservare che, se l'intervallo di tempo in cui avviene il moto possibile è infinitesimo, il cammino lungo la direzione tangen-

ziale è proprio uno spostamento virtuale, e, cioè, uno spostamento infinitesimo del primo ordine, mentre quello radiale è uno spostamento infinitesimo del secondo ordine.

L'autore peripatetico considera lo spostamento radiale soltanto per dimostrare che l'interferenza che lo causa è tanto più grande quanto più piccolo è il raggio della circonferenza.

Infatti, si considerino i moti circolari dei due punti *B* e *X* (Fig. 1)[5], che corrispondono ad un eguale moto tangenziale, $Y\Omega = Z\Theta$. Questo equivale ad ipotizzare che i due punti *B* e *X* siano caratterizzati dalla stessa velocità e compiano, quindi, nello stesso tempo un eguale spostamento virtuale. Ma, il punto *B* che è più esterno è caratterizzato, nel suo moto circolare, da un moto radiale che è inferiore a quello del punto *X* più interno: questa circostanza è il segno che il punto *X* più interno risente, a parità di moto tangente, di un'interferenza in direzione radiale che è maggiore di quella subita dal punto *B* più esterno e, quindi, che in generale, tanto più grande è il raggio del cerchio, tanto più libero sarà il punto che si muove su di esso e tanto più grande la sua velocità.

Tuttavia, per analizzare il corretto rapporto delle velocità dei punti *B* e *X*, in accordo ai canoni fissati dalla filosofia aristotelica secondo i quali: "se una cosa sta per muoversi, essa necessariamente sta per essere mantenuta in moto da qualcosa"[6], si dovranno considerare posizioni iniziali di *B* e *X* caratterizzate da una sorta di *contiguità*, cioè

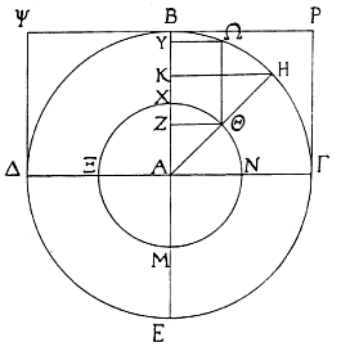


Fig. 1 - Schema della dimostrazione dell'autore peripatetico sui moti circolari

B e *X* dovranno essere collegati per *costruzione di macchina* da una biella rigida passante per il centro comune dei due circoli, cosicché i due pesi possano essere considerati reciprocamente responsabili delle corrispondenti velocità.

Soltanto così, a parità di spostamento angolare, in accordo con i canoni aristotelici per il confronto fra due movimenti, si potranno considerare movimenti di *B* e *X* che avvengono nello stesso intervallo temporale, e tali che sia gli spostamenti totali, sia le sue componenti radiali, sia quelle tangenziali siano caratterizzati da un eguale rapporto.

Questo è garantito dalla geometria dal momento che il triangolo $AZ\Theta$ è simile al triangolo AKH e questo spiega perchè, il punto *B* si porterà in *H*, mentre il punto *X* in Θ, in eguale tempo; spiega, cioè, perché le velocità di *B* e *X* sono proporzionali ai rispettivi raggi *AB* e *AX*.

Inoltre, poiché il rapporto fra le diverse componenti dei movimenti è lo stesso, sarà sufficiente considerare soltanto il rapporto fra le componenti tangenziali degli spostamenti; e, poiché tali spostamenti avvengono nello stesso in-

tervallo temporale, il loro rapporto sarà eguale a quello delle velocità tangenziali o virtuali.

Il principio delle velocità virtuali trova così la sua prima formulazione: per l'equilibrio di due pesi che possono indurre il movimento uno dell'altro lungo traiettorie circolari corrispondenti a raggi diversi, il rapporto dei pesi dovrà essere inversamente proporzionale al rapporto delle corrispondenti possibili traiettorie tangenziali, compiute nello stesso intervallo di tempo.

Questa è la ragione perché grandi bilance sono più accurate di quelle più piccole ed è anche la ragione sulla quale si basa l'equilibrio della leva, in cui due pesi sono sospesi a distanze diverse rispetto al fulcro.

E nella leva ci sono tre elementi: il fulcro e i due pesi, ciascuno dei quali è nello stesso tempo *motore* e *mosso*; e, poiché ciascun peso determina la velocità potenziale dell'altro, allora per l'equilibrio bisogna che il rapporto dei pesi sia inversamente proporzionale al rapporto delle rispettive distanze dal fulcro.

I *Μηχανικα Προβληματα* riescono così a dar risposta a molte questioni meccaniche, che hanno attinenza con problemi pratici e che riguardano sostanzialmente le *cinque macchine semplici*: la leva, l'argano, la carrucola, il cuneo e la vite. In ognuna di esse, la scienza dei pesi è governata dalla geometria ed il principio delle velocità virtuali può essere dimostrato attraverso metodi matematici, sulla base dei canoni fissati dalla fisica Aristotelica.

Trasformazione per analogia degli oggetti della meccanica

Anche nella *Meccanica* di Erone di Alessandria (variamente datato[7] dal 250 a.C. al 75 A.D.), le cinque *macchine semplici* rappresentano i primi *oggetti* rappresentativi delle modalità in cui i pesi possono essere correlati in schemi diversi, individuando leve equivalenti.

Tuttavia, quando Erone si riferisce al principio che regola le macchine semplici enuncia il principio dei cerchi concentrici, la cui dimostrazione è chiaramente basata sull'analisi effettuata da Archimede, come da egli stesso affermato.

Lo schema che Erone propone (Fig. 2)[8], infatti, a differenza di quello dei *Μηχανικα Προβληματα*, considera pesi sospesi alle estremità di raggi orizzontali, le cui possibili traiettorie tangenziali sono soltanto verticali.

Le macchine di Erone sono dei meccanismi, caratterizzati dall'obiettivo comune di ridurre la forza motrice attraverso il proporzionamento geometrico delle parti. In particolare, esse sono macchine per contrastare "la natura dei pesi che è di muovere verso il basso, se niente li tiene e gli impedisce il movimento"[9]. Questa ultima affermazione è ancora di chiara ispirazione archimedea; Archimede si era, infatti, occupato dell'attitudine dei pesi a muoversi verso il basso, ma la sua eredità culturale sarà disattesa fino a Galileo, mentre l'impostazione peripatetica perdurrà fino al medioevo.

L'attitudine dei pesi a muoversi verso il basso, ed il corrispondente *momen-*

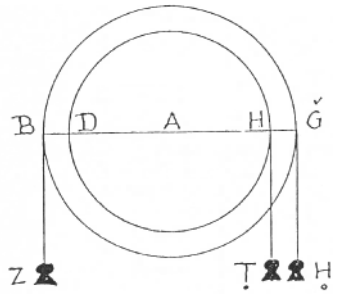


Fig. 2 - Schema dei due cerchi concentrici tratto dal manoscritto arabo di Leida

tum (lavoro virtuale, *forma* aristotelica o, secondo Descartes, *force*) definito come prodotto del peso per la sua traiettoria verticale, diventerà il concetto cui intuitivamente tenderanno tutti gli oggetti della meccanica, dal medioevo al XVII secolo.

Il principio delle velocità virtuali, infatti, che trae il suo fondamento dai canoni della filosofia aristotelica e dalla geometria, fissa la legge che regola l'equilibrio di due pesi collocati su circonferenze concentriche; ma tale principio è corretto a patto che la leva che collega i due pesi sia inizialmente orizzontale, cosicché le traiettorie dei pesi siano verticali. Già Erone era consapevole della necessità di modificare il rapporto dei pesi nel caso di leve oblique.

La problematica riguardante il valore del *momentum* in relazione alla giacitura del peso, e quindi alla deviazione della sua traiettoria dalla verticale, la *gravitas secundum situm*, è posta per la prima volta in modo urgente da Giordano Nemorario nel medioevo, determinando nell'analisi dei problemi dell'equilibrio una svolta rivoluzionaria che avrebbe condotto nei secoli successivi alla conquista delle leggi della statica. L'eredità aristotelica e l'oscuro concetto di forza avevano, infatti, costretto la riflessione scientifica a concentrarsi sull'analisi della mobilità e, quindi, sulle caratteristiche degli spostamenti, quantità di chiaro stato ontologico, misurabili e controllabili attraverso i teoremi della geometria.

La chiave interpretativa rivoluzionaria è l'intuizione che il *momentum* di un peso è massimo se egli percorre traiettorie verticali, mentre esso diminuisce sempre di più fino a diventare nullo su traiettorie orizzontali.

La prima valutazione quantitativa del *momentum* risale al XIII secolo, ad opera di un ignoto allievo di Giordano Nemorario, autore del *Liber Jordani de ratione ponderis*. Il concetto di *gravitas secundum situm* consente di introdurre un nuovo oggetto, mutuato per analogia dallo schema dei cerchi concentrici di ispirazione peripatetica e dalla leva obliqua di Erone, il *piano inclinato*, che rappresenta mediante una nuova immagine la costante linea di pensiero, concentrata sull'analisi dello spostamento da considerare, per evidenziare il modo particolare in cui pesi e velocità si rapportano.

Poiché il peso A_2, collegato al peso A_1 in una leva obliqua (Fig. 3), è caratterizzato da una traiettoria tangente al cerchio che è inclinata rispetto alla verticale, il suo *momentum* è eguale a quello dello stesso peso collocato sulla verticale, all'estremità di un braccio di leva orizzontale, in cui lo spostamento è solo verticale ed il corrispondente *momen-*

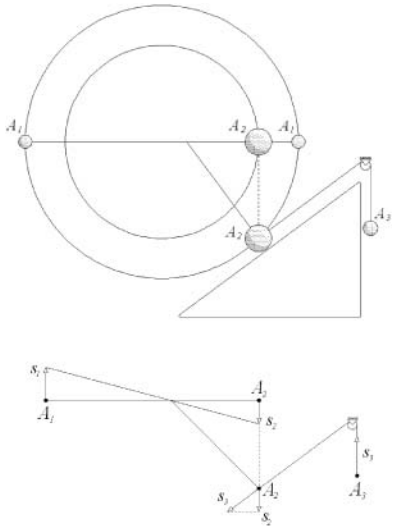


Fig. 3 -Transizione dai cerchi concentrici al piano inclinato ed analisi degli spostamenti

tum è massimo. La transizione dallo schema dei cerchi concentrici a quello del piano inclinato è realizzata, con la conseguente regola di equilibrio.

Infatti: $A_1 s_1 = A_2 s_2 = A_3 s_3$ (Fig. 3), e la *carrucola* sostituisce per analogia la *leva* nel nuovo *oggetto*, per consentire ad uno dei due pesi una traiettoria verticale, mentre l'altro si muove lungo il piano inclinato. La regola del piano inclinato stabilisce che il valore del *momentum* è eguale al prodotto del peso per la componente verticale della sua traiettoria.

Questa è la stessa regola che enunceranno sia Guidobaldo del Monte nel suo *Mechanicorum Liber*, analizzando sistemi di carrucole: "lo spazio della potenza che muove stia allo spazio del peso, come il peso sta alla potenza che lo sostiene"[10], sia Stevino nei suoi *Hypomnemata mathematica* (Leida 1608): "ut spatium agentis, ad spatium patientis, sic potentia patientis, ad potentiam agentis".

Galileo perviene allo stesso risultato per il piano inclinato applicando e dimostrando, però, l'equazione delle velocità virtuali sulla base del teorema di Torricelli, in accordo al quale l'equilibrio del sistema è preservato, se il baricentro del sistema non si muove.

Anche Descartes afferma che l'efficacia o "force" di un peso è misurata dalla sua capacità di sollevare un altro peso ad una certa altezza; e fu proprio Descartes che tentò, ma Lagrange in seguito realizzò, la *reductio ad unum* dei principi e metodi della meccanica, correlando ogni problema al principio delle velocità virtuali.

Stabilita la regola del piano inclinato, la sua estensione a situazioni diverse è consentita dalla geometria. Questo è il caso in cui movente e mosso giacciono su piani diversamente inclinati - il rapporto dei pesi richiesto è uguale in questo caso al rapporto tra le lunghezze corrispondenti dei piani - ed anche il caso della leva obliqua, in cui il rapporto dei pesi è correlato a quello delle distanze dal fulcro.

È soprattutto l'introduzione del dispositivo della carrucola nel piano inclinato che favorirà il raggiungimento della comprensione della natura dei pesi e del concetto di forza.

Stevino, infatti, in accordo alla regola peripatetica di decomposizione degli spostamenti, considera uno spostamento possibile del peso *A* su di un piano inclinato (Fig. 4), che può essere decomposto nelle componenti tangente s_t

e normale s_n al piano. Il peso A è allora bilanciato dal peso A_t rispetto a s_t e dal peso A_n rispetto a s_n. Questo implica che, eliminato il piano inclinato (Fig. 5) e consentito uno spostamento verticale di A, ormai privo di appoggio, l'equilibrio sarà garantito dai pesi A_t e A_n, che dipendono dalla posizione iniziale di A e, quindi, dalle direzioni ortogonali delle due funi messe in trazione mediante le carrucole dai pesi A_t e A_n.

La legge di composizione, che è alla base della struttura algebrica delle forze, può essere dunque formulata, nel caso di funi ortogonali, consentendo l'esclusione degli spostamenti virtuali dalla sua formulazione. Infatti, (Fig. 5): $A_t/A = s_1/s_t$ mentre: $A_n/A = s_2/s_n$. La generalizzazione al caso in cui il peso sia sostenuto da funi comunque orientate è possibile attraverso facili considerazioni geometriche**.**

Dopo Stevino, è con Roberval e Varignon verso la fine del XVII secolo che comincia un nuovo cammino evolutivo per la meccanica; il concetto di forza, definito dalla scoperta della sua struttura algebrica, diviene il termine di un linguaggio in qualche modo autonomo.

Nascono così due approcci indipendenti; la statica non subordinata a considerazioni sugli spostamenti, e la cinematica a considerazioni sulle forze. Statica e cinematica procedono per vie

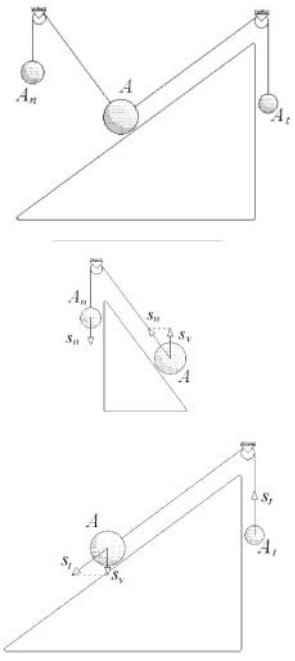


Fig. 4 – Il peso, su un piano inclinato bilanciato da due pesi sostenuti ortogonali

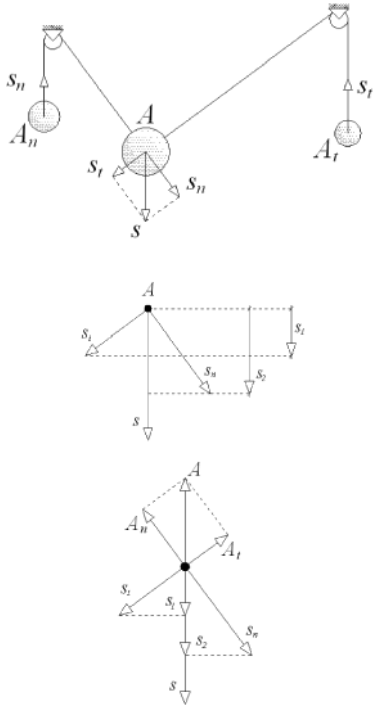


Fig. 5 – Componenti di spostamenti e forze nella legge del parallelogramma

parallele, incrociandosi solo nel principio dei lavori virtuali, dove la natura dei due approcci assume l'aspetto di dualità.

Gli oggetti della meccanica nascosti nelle costruzioni

È nel secolo dei lumi che il mondo della riflessione scientifica amplia la sua apertura a quello delle applicazioni pratiche, ed è Philippe de La Hire che per primo propone una teoria statica degli archi e delle volte in conci lapidei. Egli affronta due problemi, entrambi caratterizzati da un grosso limite: l'a-ssenza della messa in conto dell'attrito, per cui bisognerà aspettare Coulomb verso la fine del secolo.

Nel primo problema, La Hire utilizza la legge di composizione delle forze per determinare la forma da attribuire ad un arco a tutto sesto.

Nel secondo, seguendo una strada tracciata fin dal medioevo, ma intraprendendo un approccio che per gli archi resterà egemone per tutto il XVIII secolo, La Hire cerca di riconoscere nel portale voltato una combinazione di macchine semplici: la leva , il piano inclinato e il cuneo, da analizzare attraverso il principio delle velocità virtuali.

Nel meccanismo considerato, il concio in chiave scivola senza attrito simmetricamente sui due giunti di rottura a 45° dalla chiave, determinando la rotazione dei due piedritti intorno all'estradosso delle imposte (Fig. 6).

Come egli stesso afferma: "C'est un probleme des plus difficiles qu'il ait dans l'architecture, que de connoître la force que doivent avoir les pieds-droits des Voûtes pour en soûtenir la poussée […]. Ce probleme appartient à la Méchanique, & c'est par son moyen que nous pouvons la resoudre "[11].

Per motivi di simmetria si consideri soltanto metà portale (Fig. 7).

Il peso Q_p del piedritto agisce all'estremità del braccio orizzontale di una leva obliqua con fulcro nel punto *A* situato all'estradosso dell'imposta. Il *momentum* del cuneo, che scivola lungo il giunto di rottura, è equivalente a quello di una spinta *D*, ortogonale al braccio obliquo *AL* della leva, ed applicata all'intradosso *L* del giunto di rottura-punto del piedritto candidato a mantenere il contatto con il cuneo.

La valutazione di *D* è possibile considerando il peso del cuneo Q_C su di un piano inclinato parallelo al giunto, e la spinta *D*, il cui spostamento virtuale è

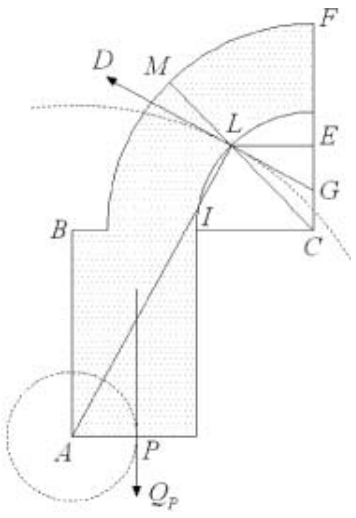


Fig. 6 – Il meccanismo di collasso di La Hire

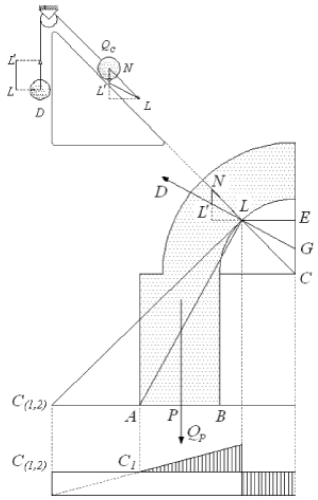


Fig. 7 – Le macchine semplici del portale

ortogonale ad *AL*, sospesa mediante una carrucola ad una fune verticale. Mentre *D* compie uno spostamento pari a *LL'*, il peso Q_C per mantenere il contatto discende verticalmente di *NL'*; ma, poiché il triangolo *NL'L* è simile al triangolo *CLG*, per la legge del piano inclinato deriva che: $LG:CG = Q_C:D$, che è proprio la relazione proposta da La Hire.

Tale relazione, ottenuta facilmente anche dalla moderna catena cinematica proposta in Fig. 7, conferma il carattere innovativo dell'analisi di La Hire che si configura come prima analisi a collasso della storia delle strutture voltate.

[1] A. SINOPOLI, *A Re-examination of some theories on vaulted structures: The role of geometry from Leonardo to de La Hire*, in: *Towards a History of Construction*, A. BECCHI ET AL. eds., Basel, Birkhäuser, 2002, pp. 601-624.

[2] ARISTOTLE, *Minor Works: Mechanical Problems*, Cambridge (Mass.), The Loeb Classical Library, Harvard University Press, 1963, p. 331.

[3] Ibidem, p. 333.

[4] Ibidem, p. 333.

[5] Ibidem, p. 331.

[6] ARISTOTELE, *Physique*, Parigi, H. Carteron ed., 1926, Vol. I.

[7] C. TRUESDELL, *The rational mechanics of flexible or elastic bodies*, Switzerland, Orell Fussli Turici, 1960, p. 16.

[9] A. G. DRACHMANN, *ibidem*, p. 46.

[8] A. G. DRACHMANN, *The mechanical technology of greek and roman antiquity*, London, Hafner Publishing Co., 1963, p. 62.

[10] G. DEL MONTE, *Mechanicorum liber*, Pesaro, 1577.

[11] P. DE LA HIRE, *Sur la construction des voûtes dans les édifices*, «Memoires de l'Academie Royale des Sciences», Paris, 1712, p. 69.

CESARE ROSSI, FERRUCCIO RUSSO, FLAVIO RUSSO

Il meccanismo di Anticitera: un oggetto fuori tempo o un prodotto dell'età classica?

Introduzione

Fra gli oggetti di interesse archeologico rinvenuti nel secolo appena trascorso, uno dei più interessanti dal punto di vista tecnico-scientifico è senz'altro quello conosciuto come Macchina o Meccanismo di Anticitera. Questo reperto, ritrovato proprio all'inizio del XX secolo, è stato riconosciuto come meccanismo solo una cinquantina di anni dopo. Da allora numerosi studiosi sia stranieri che italiani (v. ad es. [1-3]) si sono dedicati all'analisi di questo meccanismo per ricostruirne le funzioni ed i principi di funzionamento. Alcuni autori hanno ritenuto che questo oggetto avesse qualche cosa di misterioso, nel senso che potesse essere classificato come un "oggetto fuori tempo". Le conoscenze sia di meccanica che di astronomia che sono state indubbiamente patrimonio del (o dei) suo costruttore sono sembrate incompatibili con l'epoca alla quale l'oggetto certamente appartiene (I secolo a.C.). Anche uno degli autori [12] del presente articolo ha nutrito dubbi su questo aspetto; successive letture lo hanno convinto che le conoscenze degli scienziati di epoca ellenistica siano del tutto compatibili con la progettazione e la costruzione della Macchina di Anticitera. Questo scritto vuole essere dunque, anche, un contributo a rettificare sue precedenti convinzione.

Il meccanismo di Anticitera

Il reperto noto con il nome di meccanismo di Anticitera desta interessi sia di tipo storico che di tipo tecnico-scientifico. In questo paragrafo si fanno alcuni cenni sulla storia del suo ritrovamento e sulle parti meccaniche dalle quali esso è costituito e sui principi di funzionamento.

Storia del ritrovamento

Una descrizione delle circostanze e dei luoghi nei quali fu trovato il Meccanismo di Anticitera è fornita da uno dei maggiori studiosi del meccanismo stesso [1]. Poco prima della Pasqua del 1900, un gruppo di pescatori di spugne di Samo (Dodecaneso), al ritorno da una spedizione di pesca nelle acque tunisine, fecero tappa nel canale tra le isole di Citera e Creta, canale per il quale (da millenni) passano le rotte principali tra il mediterraneo occidentale e quello orientale. Essi trovarono rifugio presso porto Potamo, in un'insenatura dell'isoletta di Anticitera (antica Aigilia); quest'ultima si trova all'incirca nel mezzo del canale tra Citera e Creta e da origine ad un tristemente famoso cimitero di navi (antiche e moderne) per la presenza di banchi di sabbia, secche e correnti improvvise. Gettarono l'ancora in un punto situato a Lat. 35°52'30"N e Long. 23°10'35"E ed alcuni di loro si tuffarono in cerca di spugne su di un fondale di circa 42m.

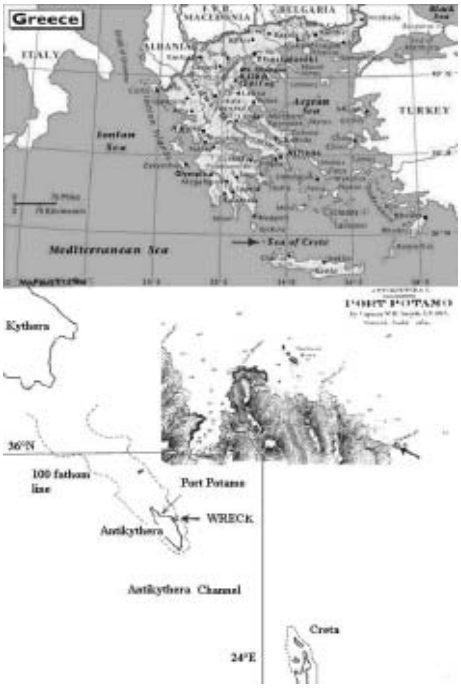


Fig. 1 – Luogo del ritrovamento

Elias Stadiatis trovò una grande nave il cui relitto era adagiato sul fondo; nel relitto, insieme ad anfore ed altri reperti trovò quello che a prima vista sembrava un blocco compatto di bronzo in parte ricoperto da incrostazioni calcaree.

Successivamente il reperto fu portato al Museo di Atene dove non fu fatto oggetto di studi articolari prima del 1928, quando l'ammiraglio greco Jean Theophinidis se ne occupò menzionandolo in un articolo sui viaggi di S. Paolo nella Great Military and Nautical Encyclopaedia; Theophinidis descrive alcune visibili ruote dentate presenti nel meccanismo e propone una ricostruzione con proiezioni stereografiche, rilanciando l'idea che lo strumento fosse stato un astrolabio. Solo nel 1951, però, il Professor Derek J. De Solla Price (1922-1983), professore di Storia della scienza all'Università di Yale, con la collaborazione del dott. Christos Karouzos, direttore del Museo Archeologico Nazionale di Atene, intraprese uno studio approfondito avvalendosi anche di altri scienziati per le analisi chimiche e radiografiche del reperto. Negli anni successivi altri ricercatori, tra i quali ricordiamo Allan George Bromley, Michael Wright e quanti fanno parte del "Antikythera Mechanism Research Project", recentemente costituito, hanno continuato gli studi sul meccanismo scoprendo nuove possibilità di ricostruire il suo funzionamento. Tra gli studiosi che oggi si dedicano al Meccanismo di Anticitera va ricordato l'Italiano Giovanni Pastore che ad esso ha dedicato una parte del suo interessantissimo volume [2] sui regoli calcolatori.

Descrizione del meccanismo

Secondo la ricostruzione del De Solla Price, il meccanismo era costituito da un insieme di rotismi contenuti in una scatola avente le dimensioni di circa 30x15x7,5 cm (più piccola di una scatola da scarpe) dalla quale fuoriusciva una manovella che serviva per farlo funzionare (v. fig.2).

La scatola di legno costituiva il telaio e presentava tre quadranti: uno sul lato anteriore e due su quello posteriore. L'unico quadrante comprensibile è quello sul lato anteriore: esso mostra il moto del sole e quello della luna rispetto alle costellazioni dello zodiaco ed il sorgere ed il tramontare di stelle o co-

stellazioni importanti. I quadranti sul lato posteriore sono poco leggibili perché profondamente corrosi; si presume che essi servissero a visualizzare il moto della luna e degli altri pianeti conosciuti all'epoca. Uno di questi due quadranti riporta la durata del mese sinodico e dell'anno lunare; dell'altro non si sa quasi nulla. In figura 3 sono riportate le ricostruzioni dei tre quadranti (quello anteriore in alto e quelli posteriori in basso), secondo De Solla Price.

Nella figura 4 è riportata la ricostruzione dei rotismi secondo De Solla Price. Il moto entra dalla ruota dentata A1 (z=45) (che era collegata ad una manovella) ed ingrana con la ruota B1 (z=225); quest'ultima muove tutti gli altri rotismi. Poiché 225/45=5, occorrono 5 giri della manovella (e quindi della ruota A1 per un giro della B1; di conseguenza ad 1 giro di A1 dovevano corrispondere 73 giorni (73x5=365).

Il rotismo principale è costituito da una ventina di ruote che, sempre il De Solla Price costituiscono un rotismo differenziale. Una delle funzioni principali è quella di riprodurre il rapporto fisso 254/19 che rappresenta il rapporto del moto siderale della luna rispetto al sole.

Il differenziale aveva anche la funzione di mostrare, oltre ai mesi lunari siderali, le lunazioni che venivano ottenute sottraendo il moto solare al moto lunare siderale. Sempre secondo la ricostruzione di De Solla Price, il meccanismo aveva anche le funzioni di mostrare il Ciclo Metodico di 235 mesi sinodici che approssimativamente equivale a 19 anni solari e l'anno lunare di



Fig. 2 – Ricostruzione del meccanismo

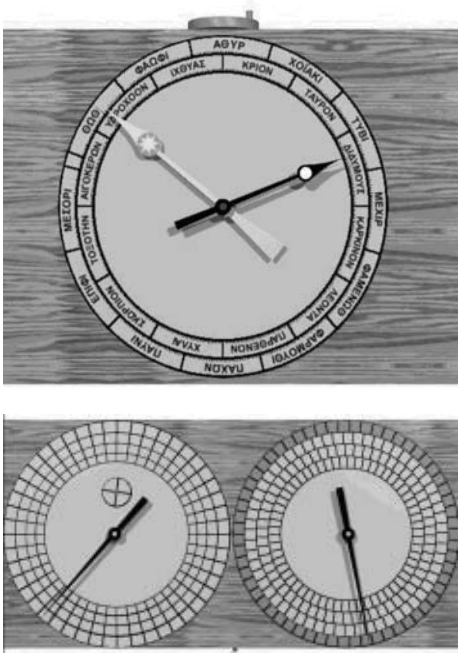


Fig. 3 – Ricostruzione dei quadranti[II]

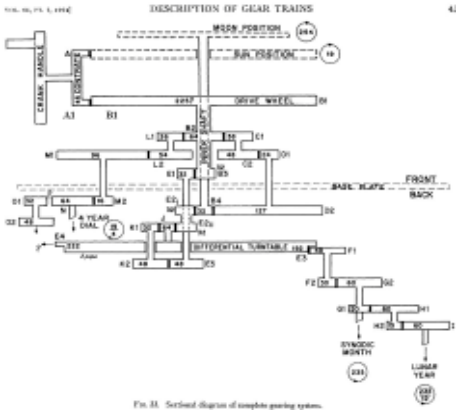


Fig.4 – Ricostruzione del Meccanismo secondo De Solla Price [1]

12 mesi sinodici. In figura 5 è mostrata una vista prospettica del meccanismo.

Dopo gli studi di De Solla Price, numerosi altri studiosi si sono occupati dell'argomento. Tra questi si ricordano Allan George Bromley (univ. Di Sydnet) che si è avvalso della collaborazione di Frank Percival (un orologiaio) e Michael Wright (del London Science Museum) il quale, insieme agli studiosi precedentemente menzionati, si sono avvalsi di nuove tecniche di indagine radiografica. Wright ha avanzato una serie di nuove proposte per l'interpretazione del funzionamento del meccanismo e dei

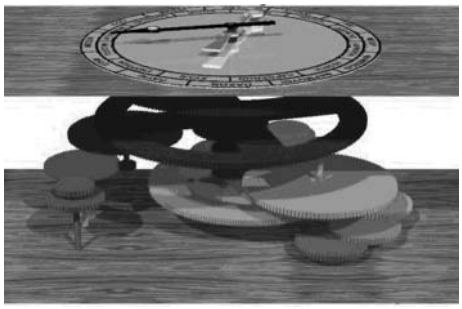


Fig.5 – Ricostruzione in prospettiva secondo De Solla Price [II]

suoi componenti. Tra queste, oltre a quella che il meccanismo fosse un planetario (già avanzata da De Solla Price), Wright suggerisce che il meccanismo avesse la funzione di mostrare non solo i moti del sole e della luna ma anche quella dei 5 pianeti allora conosciuti: Mercurio, Venere, Marte, Giove e Saturno. Wright ha anche proposto che il moto di luna e sole fosse rappresentato secondo la teoria di Ipparco e quello dei cinque pianeti secondo la semplice teoria del teorema di Apollonio.

Il numero di ingranaggi riconosciuti passa da 27 a 31. Wright ha proposto inoltre che la scala dei quadranti posteriori fosse costituita da 5 giri avvolti a spirale con 47 divisioni per giro. In questo modo si avrebbero 235 divisioni per i 235 mesi del ciclo di Metone. Uno dei quadranti posteriori avrebbe poi avuto la funzione di contare i mesi Draconiani ed avrebbe potuto forse essere usato per predire le eclissi. Nella figura 6 è mostrato il meccanismo secondo le teorie più recenti. Secondo la ricostruzione di Wright, contrariamente a ciò che ritenne De Solla Price, nel meccanismo di Anticitera non era presente alcun rotismo differenziale. Attualmente il Meccanismo è studiato da un gruppo di scienziati riuniti in un organismo chiamato "Antikytera Mechanism Research Project" del quale fanno parte università, musei, e centri di ricerca di ditte private con il sostegno economico della Banca Nazionale di Grecia.

Le nuove indagini confermano che il meccanismo sia stato un calcolatore astronomico o un planetario usato per

predire le posizioni dei corpi celesti; inoltre si presume che vi fossero state 37 ruote dentate delle quali ne sono sopravvissute 30. Si propone poi che sul retro del contenitore due indicatori avrebbero mostrato due ulteriori importanti cicli astronomici: i ciclo di Callippo ed il ciclo di Saros. Infine la luna varierebbe la sua velocità secondo la teoria di Ipparco ed, in prima approssimazione la sua velocità angolare seguirebbe la legge di Keplero.

Aspetti tecnologici

Gli aspetti tecnologici principali sono due: quello legato alla composizione della lega di cui sono costituiti i pezzi del meccanismo e quello legato alla forma della dentatura. Per stabilire la composizione chimica dei frammenti, il De Solla Price si avvalse della collaborazione del Professor Cyril S. Smith, (Professor Emeritus, M.I.T.); furono analizzati due campioni: uno era un campione medio dei detriti, l'altro era costituito da particelle compatte prelevate dal core di un foglio di lamiera. Nella Tabella 1 è riportata la composizione dei frammenti in percento.

In aggiunta agli elementi riportati in tabella, entrambi i campioni contenevano all'incirca: 0,01% di alluminio, molibdeno, calcio e cobalto; dallo 0,001 allo 0,005% circa di magnesio, vanadio, argento, boro e cromo. Conclude il Prof. C. S. Smith: "Il materiale è bronzo di buona qualità. È ragionevole supporre che il contenuto di stagno sia stato del 5 % che è in accordo con le analisi della microstruttura. Non c'è traccia di zinco; quindi l'ipotesi che il meccanismo fosse fatto di ottone è completamente negata. Il contenuto di ferro, antimonio ed arsenico, sebbene significativo, costituisce senza dubbio una normale impurità. Il contenuto di oro non è raro in antiche leghe di rame. È appena possibile che i fogli siano stati dorati sebbene nessuna traccia di oro sia stata osservata al microscopio, quindi si può

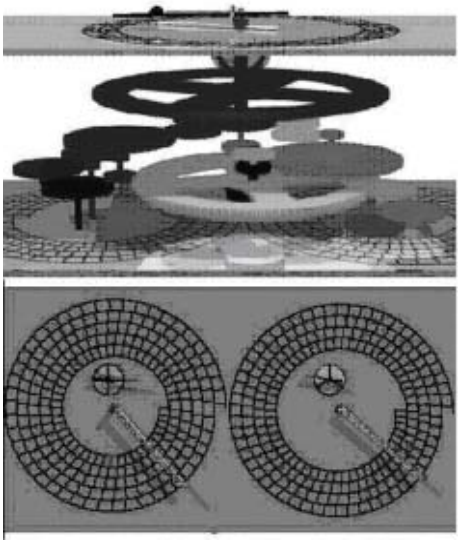


Fig. 6 – Ricostruzione da studi recenti

Elemento	Campione medio %	Frammento selez. %
Rame	Costituente principale	Costituente principale
Stagno	1-10	1-10
Piombo	0,3	0,6
Arsenico	0,1	0,1
Sodio	0,1	0,1
Nikel	0,06	0,1
Oro	0,06	0,04
Ferro	0,05	0,05
Antim.	0,02	0,04
Bismuto	0,02	0,04

Tab.1 - Composizione dei frammenti in percento

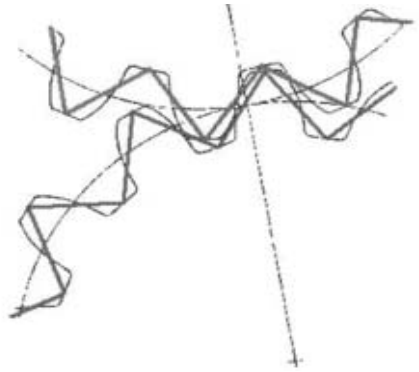


Fig.7 – Dentatura [2]

concludere che l'oro presente fosse una impurità non intenzionale nel metallo stesso. Sodio, calcio ed alluminio erano state probabilmente assorbite dall'acqua di mare e gli altri elementi, tutti in quantitativi insignificanti, sono impurezze naturali." La dentatura delle ruote è alquanto grossolana: i profili dei fianchi dei denti non costituiscono profili coniugati essendo essi dei triangoli equilateri. Il funzionamento delle ruote senza tendenza ad impuntamenti è reso possibile dalla presenza di giochi elevati come mostrato in figura 7. Il prof. De Solla Price ha anche valutato il modulo delle varie ruote; nel grafico in figura 8 le linee superiori, media ed inferiore rappresentano moduli di 0,45, 0,50 e 0,53 rispettivamente.

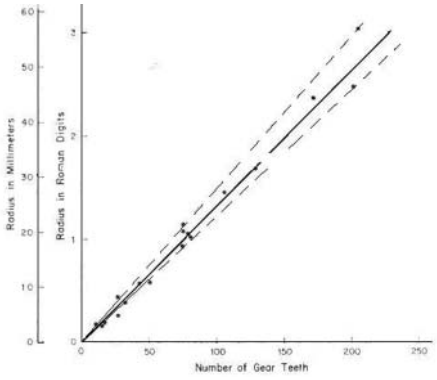


Fig.8 - Modulo ruote dentate [1]

Altre realizzazioni dell'età classica

Il meccanismo di Anticitera rappresenta certamente una delle più brillanti realizzazioni del suo tempo; forse la più brillante tra quelle a nostra conoscenza, ma certamente era del tutto compatibile con il sapere degli ingegneri vissuti nell'epoca nella quale esso si ritiene sia stato realizzato. Lo stupore con il quale viene osservato deriva probabilmente da una conoscenza poco approfondita del sapere degli ingegneri dell'epoca: molti sono infatti portati a credere che tutta l'umanità dell'epoca conoscesse poco più di quanto era necessario ad una agricoltura piuttosto primitiva ed ad un'industria poco più progredita di quella legata alla fucinatura del ferro. Anche le conoscenze astronomiche dell'epoca sono comunemente considerate come molto primitive. In nessuno di questi campi, però, le conoscenze erano così lontane dalle nostre come comunemente si è portati a pensare. A prova di quanto appena detto, si riportano alcuni esempi di "congegni" concepiti e realizzati nella stessa epoca storica e negli stessi luoghi.

Il Mesolabio

In figura 8 è mostrata la ricostruzione di un mesolabio ed il suo principio di funzionamento. L'invenzione del mesolabio è attribuita ad Eratostene; a quanto sappiamo, esso è certamente uno dei primi esempi di calcolatore (regolo cal-

colatore) della storia. La funzione principale dello strumento (μεσος λαβω = prendo il mezzo) era quella di trovare due medi proporzionali tra due segmenti dati; esso consentiva, anche, di risolvere il problema della duplicazione del cubo, ossia di trovare il lato di un cubo avente volume doppio di quello di un cubo dato, ossia di estrarre la radice cubica.

Orologio di Ctesibio

Questo particolare orologio ad acqua ha la particolarità di indicare le ore del giorno e della notte tenendo conto del fatto che esse, al tempo dei romani, avevano durata variabile a seconda del giorno dell'anno. Il suo funzionamento è già stato descritto in [13] per cui si ricorda solo la presenza di un meccanismo automatico che, al trascorrere dei giorni dell'anno, consentiva di misurare il tempo tenendo conto (per ogni giorno) della differenza della durata del giorno da quella della notte. Nello stesso periodo storico e nella stessa area geografica nei quali sarebbe stato realizzato il Meccanismo di Anticitera, era certamente stato realizzato uno strumento di misura del tempo meccanico ad esso comparabile, da un punto di vista concettuale.

L'Odometro di Vitruvio

In figura 9 è riportata una ricostruzione dell'odometro di Vitruvio; come si può osservare, lo strumento è dotato di quattro lancette che misurano lo spazio percorso. Esse sono mosse dall'asse delle ruote attraverso una serie di rotismi tra i quali delle coppie vite perpetua-ruota compagna.

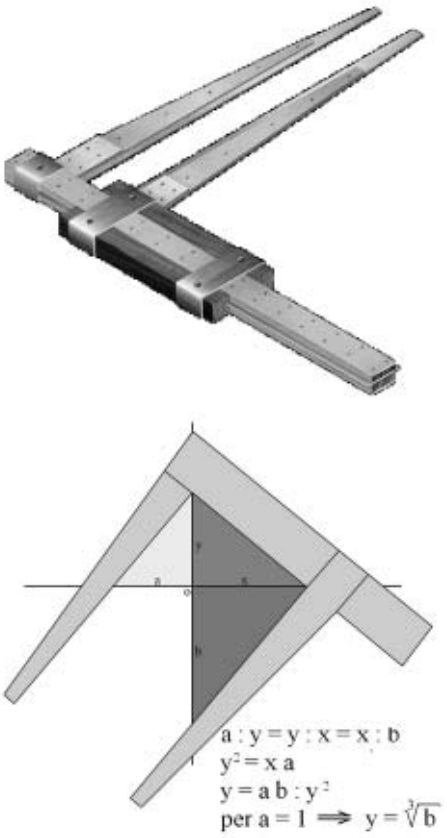


Fig. 9 - Mesolabio

Nave a propulsione meccanica

Su di un bassorilievo, mostrato in figura 10, vi è una nave sulla quale si nota l'assenza di fori per i remi. Esso, rinvenuto a Mainz, rappresenta una nave militare romana che con tutta probabilità pattugliava il Reno.

Su di un fiume spesso non c'è abbastanza spazio per manovrare i lunghi remi di una grande nave; neppure è possibile la navigazione con le vele quadre dell'epoca.

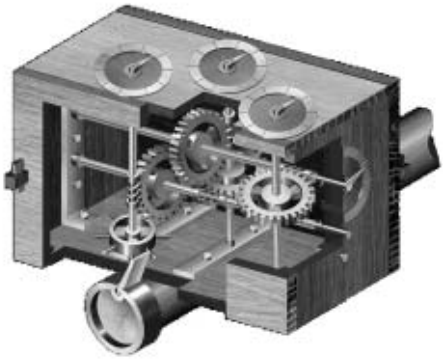


Fig. 10 – Odometro di Vitruvio



Fig.11 – Bassorilievo rinvenuto a Mainz

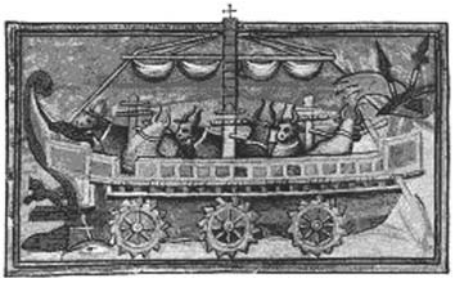


Fig. 12 – Nave con propulsione a pale

Per questo motivo si è ipotizzato che l'assenza dei fori dei remi fosse dovuto al fatto che la propulsione della nave rappresentata sul bassorilievo fosse di tipo "meccanico".

In figura 12 è mostrata una nave romana con propulsione mediante ruote a pale. Mosse tramite ingranaggi da alcune coppie di buoi nella stiva.

Il telegrafo ad acqua

Ci si potrebbe chiedere come potessero alcuni imperatori romani trascorrere lunghi periodi a Capri, cioè lontani da Roma, senza potere essere informati in breve tempo degli avvenimenti della capitale e dell'Impero. Si è portati a credere, infatti, che all'epoca le notizie fossero portate solo da piccioni viaggiatori (sistema non sufficientemente certo data la vulnerabilità del volatile) oppure da staffette. Ma una staffetta avrebbe potuto impiegare giorni per recare il messaggio specie in caso di condizioni di mare avverse. Il problema veniva risolto con un mezzo che, concettualmente, anticipava il telefax ossia la trasmissione simultanea dei dati. Questo strumento di trasmissione delle informazioni era il telegrafo ad acqua, una ricostruzione del quale è mostrata in figura 13.

Il dispositivo è essenzialmente costituito da un recipiente pieno d'acqua con un galleggiante graduato ed un rubinetto sul fondo. Due stazioni (la trasmittente e la ricevente) sono dotate di due strumenti identici in ogni particolare. Quando la trasmittente vuole iniziare la trasmissione, lancia un lampo di luce verso la ricevente; quest'ultima risponde con un lampo per confermare la sua attenzione. Poco dopo la trasmittente emette un secondo lampo ed in quell'istante entrambe gli operatori (trasmittente e ricevente) aprono il rubinetto, così che il galleggiante comincerà a scendere. Appena esso sarà arrivato in corrispondenza della graduazione desiderata, un successivo lampo di luce segna-

lerà l'evento ed entrambi gli operatori chiuderanno il rubinetto. Poiché i due apparecchi sono uguali, i galleggianti si troveranno in corrispondenza della stessa tacca della graduazione. Se ad ogni tacca corrisponde un concetto, ripetendo poche volte l'operazione descritta, si può trasmettere un'informazione anche complessa. Il principio di funzionamento è quindi quello della trasmissione simultanea dei dati ed è concettualmente lo stesso dell'attuale telefax. Nella figura 14 è mostrata una ricostruzione pittorica del sistema. Un piccolo numero di stazioni poteva, quindi, coprire distanze considerevoli.

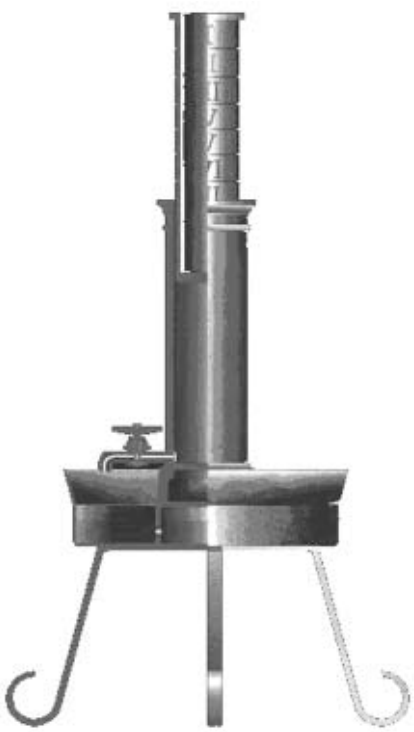


Fig. 13 – Telegrafo ad acqua

Conclusioni

Le realizzazioni contemporanee al meccanismo di Anticitera, delle quali si sono riportati solo pochi esempi, ci portano a concludere che in quei secoli sapere e concetti scientifici erano molto più "moderni" di quanto non si pensi comunemente. Alessandro Magno, conquistando il suo impero, molto probabilmente portò in Occidente molto del sapere orientale dall'India e dalla Persia dando origine all'Ellenismo. L'epoca nella quale fu realizzato il meccanismo di Anticitera non è quello della Grecia e di Roma del quarto secolo a.C. ma quello, molto più evoluto scientificamente e tecnicamente dell'Età Ellenistica.



Fig.14 – Sistema di trasmissione con telegrafo ad acqua

Se viene confrontato con altre realizzazioni dell'epoca, delle quali sono stati ricordati solo alcuni dei numerosissimi esempi, il Meccanismo di Anticitera ci appare quindi perfettamente compatibile sia con le conoscenze sia con la tecno-

logia dell'epoca nella quale si ritiene sia stato realizzato. Se la biblioteca di Alessandria non fosse stata distrutta (quasi per intero) da successivi incendi, l'ultimo dei quali nel 646 d.C., forse molte delle conoscenze degli scienziati dell'età classica non sarebbero andate perdute ed il progresso scientifico nei secoli successivi avrebbe avuto un corso molto diverso fino ai giorni nostri.

In ogni caso, studiando ciò che è possibile riconoscere o ricostruire da reperti archeologici, si ha la sensazione che molte delle idee comuni sulle conoscenze scientifiche del passato siano decisamente da rivedere. Su questo argomento è possibile che le nostre informazioni siano, oggi, solo ancora molto limitate. Questo genera uno stimolo per la nostra curiosità di ricercatori ad approfondire lo studio del passato.

Ringraziamenti.

Si ringrazia il Prof. Ing. Giovanni Pastore per il suo cortese e prezioso aiuto nel fornire dati ed immagini.

Bibliografia

[1] D. De Solla Price, Gears From the Greeks, Trans. of The American Philosophical Society, Vol.64, Part 7, 1974, ISBN 0-87169-647-9.

[2] G. PASTORE, *Anticitera e i regoli calcolatori*, Copyright 2006- Giovanni Pastore, Roma, Policoro, Italy.

[3] G. PASTORE, *Antikythera Calculator Advances Modern Science of Nineteenth Centuries*, Invited Lecture - Greifswalder Symposyum for the development of computing technology and International meeting for slide rule and calculating machine collecting tank, IM2006, Sept.2006.

[4] A. P. USHER, *A History of Mechanical Inventions* – Dover Pubbl. Inc NY, 1982. ISBN-0-486-25593-X

[5] F. RUSSO, F. RUSSO, *79 A.D. Course for Pompei* – Allied Marittime Component Command, Naples - Napoli 2006, ISBN-88-88419-56-X

[6] F. RUSSO, F. RUSSO, *Indagine sulle Forche Caudine* – Rivista Militare, Roma 2006, ISSN-0035-6980.

[7] F. RUSSO, F. RUSSO, *Tormenta Navalia* – Supplemento alla Rivista Marittima n.6 giugno 2007.

[8] V. MARCHIS, *Storia delle macchine* – Laterza, 1994, ISBN-88-420-4417-2

[8] *S. G. LOFFI, Piccola Storia dell'Idraulica, libera traduzione, ridotta ma integrata, di"History of Hydraulics*" di Hunter Rose e Simon Ince dell'Istituto di Ricerca Idraulica dell'Università Statale dell' IOWA – U.S.A., edita, nel 1954, come supplemento, su "*LA HOUILLE BLANCHE*"

[10] AA.VV., "Enciclopedia Italiana" – Istituto Giovanni Treccani, 1929 e segg.

[11] Enciclopedia della Scienza e della tecnica – Mondadori-McGraw Hill, 1965.

[12] C. ROSSI, "*Una breve rassegna sugli automi: la meccanica che ha preceduto i robot.*" – Atti del 1° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria. – Napoli, 8-9 marzo 2006, pp.715-727.

[13] C. ROSSI, M. CIGOLA, M. CECCARELLI, *Alcune tappe verso l'automazione* - Atti del 2° Convegno

Nazionale di Storia dell'Ingegneria. – Napoli, 7-9 aprile 2008

Informazioni ed immagini interessanti (alcune delle quali riportate nel testo) possono essere trovate nei siti Internet che seguono:
[I]www.systems.tuc.gr/ieeecss/Heron_of_Alexandria.pdf
[II]http://www.etl.uom.gr/mr/index.php?mypage=antikythera
[III]http://en.wikipedia.org/wiki/Antikythera_mechanism
[IV]http://www.mlahanas.de/Greeks/HeronAlexandria.htm
[V]www.geocities.com/Athens/Acropolis/6914/ero.htm
[VI]www.history.rochester.edu/steam/hero/index.html
[VII]www.control.uni-paderborn.de/heron. html
[VIII]www.z-kat.com/company/adv research/ leonardo.shtml
www.gimpnet.com/adn/ngallery/automat2.html
[IX]http://www.rcvr.org/scuole/negrar/media/lavori/archimed/archimed.htm
[X]http://www.mlahanas.de/Greeks/HeronAlexandria2.htm
[XI]http://www.marina.difesa.it/editoria/rivista/rivista/2004/febbraio/febbraio.asp
[XII]http://www.racine.ra.it/ungaretti/archeoinweb/tessitura.htm
[XIII]http://inventors.about.com/library/weekly/aa071401a.htm
[XIV]http://www.the-romans.co.uk/calendar. htm
[XV]http://www.crystalinks.com/clocks.html
[XVI]http://hp-gramatke.net/pmm_physics/english/page0450.htm

Maria Letizia Conforto, Silvia Nicolucci

Per una storia dell'ingegneria idraulica dell'antichità

Acqua, aria, fuoco e terra, i quattro elementi di Empedocle, costitutivi del cosmo e della intricata molteplicità dei fenomeni, assumono nello spazio antropizzato contorno e forma, significati vitali e fantastici, mitologici e liturgici.

In una visione unitaria delle leggi della natura, ogni materiale è strumento e oggetto del lavoro dell'uomo il quale modifica l'ambiente a proprio vantaggio. In una sintesi di scienza e conoscenza, l'aspetto poieutico del fare interpreta le relazioni biunivoche tra la sfera del logos e quella più concreta della tekne senza alcuna separazione tra il compito del saggio che indaga i segreti della natura per scoprirne le leggi e il compito dell'architetto che compone i materiali secondo un disegno per dare forma e armonia alla casa, alla città, al paesaggio.

L'acqua, la pietra, la terra, gli alberi, le cui forme nascono dal caso, vengono modificati dal lavoro dell'uomo per esorcizzare gli aspetti negativi e imprevedibili della natura. La capacità di trasformazione è dunque in antico una qualità che, in architettura, è affidata alla fluidità all'acqua, per rappresentare la sacralità del rito o il mistero della morte, per risolvere la continuità tra costruito e morfologia dei luoghi, per creare stupore, ammirazione, divertimento. Sebbene nell'antichità le opere di ingegneria idraulica siano numerose e ingegnose, raramente si tramandano i nomi dei costruttori che si avvalgono di cognizioni maturate sperimentalmente con risultati tanto più evoluti e interessanti quanto più scarse sono le risorse del territorio. Convogliare le acque meteoriche in cisterne collocate sulla sommità degli edifici o nei sotterranei significa saper privilegiare la facilità di distribuzione per caduta o la conservazione a temperatura costante, risolvendo problemi relativi alla tecnica e alla forma dei manufatti. Equilibrare il peso e la spinta dell'acqua richiede di costruire murature resistenti e non permeabili, per proteggere le cisterne dal calore del sole è necessario erigere coperture robuste e torri di ventilazione capaci di generare, per differenza di temperatura, moti convettivi adatti a climatizzare l'ambiente e favorire la conservazione degli alimenti. Per scavare i pozzi, le scale e le gallerie, che a Tirinto, Micene e Atene collegavano le acropoli con le sorgenti, o la fitta rete di quenat che trasferivano, in Persia, il flusso dai monti alle città del deserto, occorrono eccellenti capacità di progetto, e il miracolo della fonte, carico di simboli, diviene architettura.

L'acqua, come la pietra o l'argilla, è materia priva di forma fino a quando l'ingegno non scolpisce nella pietra la sua storia e trasforma la sua forza in lavoro utile all'uomo. Se nei climi aridi, fonti e cisterne sono strumento e og-

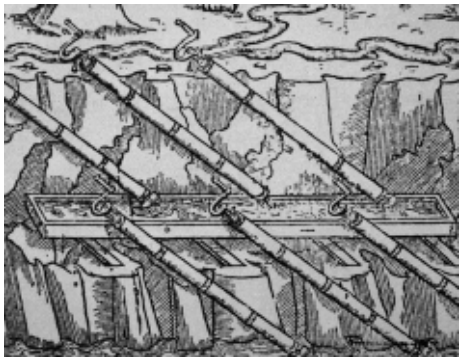


Fig. 1 - Coclee in serie e in parallelo, in G. Ceredi, Tre discorsi sopra il modo d'alzar acque dai luoghi bassi, Parma 1567

getto di pratiche cultuali, nelle regioni più temperate o in presenza di importanti corsi d'acqua è lo stesso fiume ad essere divinizzato in-sieme alle sapienti architetture di ponti, canali, acquedotti e fontane che ne arricchiscono il corso. Nascono così complesse opere di ingegneria che, nelle forme esibite e nelle soluzioni nascoste, trasferiscono nel paesaggio e nell'ambiente urbano l'ordine concettuale del progetto e il metamorfismo della natura.

Le tecniche di raccolta, captazione, accumulo e distribuzione dell'acqua erano ben sviluppate in tutta l'area del Mediterraneo e in Oriente. Il lavoro di attingere l'acqua da pozzi, cisterne o serbatoi, era compiuto da macchine semplici a carrucola o con pompe a bilanciere. Lungo il corso dei fiumi potevano essere in uso meccanismi più sofisticati come le norie o le viti di Archimede messi in moto dalla forza stessa del flusso. I riscontri, che è possibile fare sulle architetture o nei codici, dimostrano una continuità di esperienze e di saperi che solo la moderna specializzazione e distinzione di competenze rendono irriconoscibili.

L'accrescimento e il controllo delle capacità delle sorgenti e dei bacini, la distribuzione per caduta con pendenze ben calcolate, la rete di smaltimento, sono parte dei raffinati progetti di edificazione lungo il corso dei fiumi, dove templi, palazzi o intere città vengono eretti su piattaforme artificiali in grado di preservarli dalle piene. Fanno parte di questo paesaggio artificiale la diga che sbarra a monte il corso dell'Oronte per formare il lago di Homs, il sistema di irrigazione a bilanciere dei famosi giardini di Babilonia o le torri che lungo la valle del Nilo corredano i templi consentendo, con qualunque livello di piena, di alimentare la vasca sacra destinata ad accogliere la barca del faraone, di attingere senza pericolo l'acqua incanalata dalla corrente lungo il condotto elicoidale dei nilometri, di trasferire il flusso ai punti più distanti innescando il sistema dei sifoni.

In prossimità dei monti o nelle ampie valli, in Egitto, in Palestina, in Siria, in Mesopotamia, il rapporto rituale e funzionale con il corso dei fiumi è antichissimo. Dighe, sbarramenti, chiuse e canali sono i lavori idraulici portati a compimento per deviare, lungo pendenze meno ripide del corso stesso del fiume, le acque necessarie a riempire i serbatoi o a irrigare i campi, mentre massiccie costruzioni in terra, pietra o muratura sono erette per regolamentare il flusso dell'acqua e dare forma a moli, banchine e canali adatti alla navigazione. Il corso di molti fiumi viene così

ad essere concepito come una complessa macchina idraulica destinata a contenere immense conserve e lunghe canalizzazioni capaci di ridistribuire per caduta il prezioso liquido immagazzinato in punti elevati da sifoni innescati dalle piene o dal lavoro degli impianti di risalita. Lo scorrere regolato dei fiumi e il controllo degli straripamenti possono così attribuire all'opera in grado di resistere un ulteriore significato rituale di immortalità. A Seleucia come ad Antiochia, a Alessandria come a Roma, nella valle del Tigri come in quella dell'Oronte, nella valle del Nilo come in quella del Tevere, gli edifici eretti lungo il corso del fiume hanno con l'acqua un rapporto rituale e simbolico, ma anche funzionale e diretto, utilizzando, su vasta scala, accorgimenti elementari a lungo osservati, sperimentati e perfezionati.

Per servire siti urbani stratificati e di nuova fondazione, vengono formulate, le regole per il tracciamento, il calcolo e la gestione di impianti che danno forma al territorio e ben rappresentano la misura dell'uomo rispetto alla concezione del mondo. Tutte le acque dolci, ferme o correnti, sono parte integrante dello spazio antropizzato. Esse strutturano le principali vie di comunicazione, forniscono l'energia naturale per la produzione del moto necessario al funzionamento delle macchine da costruzione e dei mulini, danno forma all'architettura.

Ma la cultura tecnica del XIX secolo ha trasformato l'acqua in un fluido con il quale le acque archetipe non possono più mescolarsi nè le funzioni nascoste alimentarsi. La severa concezione neoclassica della città, progettata per tipi edilizi separati e funzionalmente distinti, non prevede che lo spazio antico possa essere costruito sui mutevoli riflessi dell'acqua.

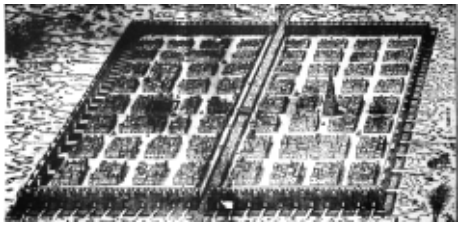


Fig. 2 - La città di Babele bagnata dal fiume Eufrate, in Babelis descriptio ex Herodoto, cum aliquo Diodori Siculi complemento

Per capire le scelte e le dinamiche che sottendono, in antico, la costruzione di un'architettura è dunque necessario non solo rievocare la conoscenza meccanica che ne ha reso possibile la realizzazione, ma anche la concezione di filosofia della natura nella quale il progetto si colloca. Leggi e conoscenze scientifiche applicate dagli antichi costruttori possono ancora oggi essere riconosciuti nelle opere i cui resti affascinano per le dimensioni territoriali, per la riuscita fusione tra natura a cultura, per la resistenza alle ingiurie del tempo. La comprensione di questi resti, di questo particolare archivio del costruito, inaridito dall'abbandono e isolato nelle sue componenti, deve essere ricollegata alla concezione del mondo per il quale l'opera è stata prodotta. Sarà così possibile, interpretando la filosofia e le capacità tecniche, riscoprire la molteplicità di significati che le architetture po-

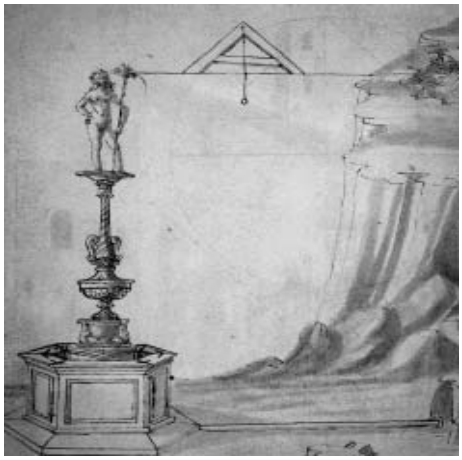


Fig. 3 - Anonimo, fontana a sorpresa dagli studi di Taccola e Francesco di Giorgio sugli Spiritali di Erone e la Pneumatica di Filone da Bisanzio. (Firenze, Biblioteca Nazionale Centrale)

tevano avere per i contemporanei e ampliare i limiti artificiosamente imposti alla comprensione dello spazio antico da interpretazioni artatamente classicistiche o romanticamente decadenti. Le contraddizioni proprie di una imperfetta conoscenza della tecnica antica sono state risolte dalla cultura antiquaria in due modi opposti: semplificando l'architettura per eliminarne le incongruenze o cercando di immaginare uno spazio più intrigante e complesso di quello al momento visibile. Questo spazio, forse del tutto fantastico, ma che potrebbe essere vero nella misura in cui si conoscono i segreti di una analoga realizzazione, è rappresentativo della qualità dei monumenti antichi almeno quanto le restituzioni basate sui rilievi archeologici. Si aprono così due possibili campi di ricerca: lo studio sistematico delle evidenze palesate dai crolli e una ricerca per analogia di qualità e complessità, al momento non necessariamente visibili, che pongano il frammento di architettura all'interno di un più vasto spazio fisico e concettuale. I costruttori antichi sono in grado di operare scelte tecniche e formali di grande sapienza costruttiva e di alto livello progettuale regolamentando il flusso delle fonti, deviando il corso dei fiumi per rendere navigabili i percorsi dell'entroterra o gli ambienti urbani per le naumachie, differenziando la portata delle condotte con vasche di decantazione, percorsi liberi e tubature a pressione in modo da servire con effetti scenici spazi diversi anche molto distanti tra loro. Lo spazio costruito dall'uomo, manipolando i materiali della natura, è da sempre il risultato del compenetrarsi di forme esibite e di relazioni nascoste. Diverso dall'ambiente dei filosofi, esso non possiede l'astratta equivalenza di qualità su cui si basa la città ideale, nè il razionale disegno previsto dagli studiosi. Esso è espressione della cultura e dalle scelte di vita della comunità attraverso i propri rituali: abitare e costruire. Quanto più alto e riconosciuto è il livello di vita di una città, tanto maggiore è l'impegno a ben edificare, rinnovare con materiali preziosi, esibire opere magnifiche. Le fontane, che richiamano all'interno dello spazio urbano le remote sorgenti dei monti, sono sinonimo di ricchezza e vanto della comunità anche per le storie che, scolpite sulla pietra e riflesse nella acqua, danno forma ad architetture mutevoli e fantastiche.

Quasi tutto questo patrimonio immaginifico è andato perduto o è stato sopraffatto da altre eccellenti qualità di fattura, trascurando o definitivamente annullando la piacevolezza di vedere lo specchio d'acqua non solo come il doppio della realtà ma come una frantumazione di immagini continuamente mutevoli con la luce e il vento che increspa la superficie per creare quel movimento che è proprio dello spazio fisico e non intellettualmente astratto.

La ricerca archeologica basata sul riconoscimento di una forma originaria, perfetta, da depurare da contaminazioni non scientificamente provate, può allora essere affiancata da un processo co-noscitivo diverso e complementare che, prescindendo dall'esistenza di una ve-rità unica e inequivocabile, interpreti le potenzialità metamorfiche dello spazio antico, ricercandone per frammenti, per analogia e per immagini, la complessità. (M.L.C.)

Architetture d'acqua

Dalla scelta delle fonti, alla realizzazione di bacini in quota, al tracciamento dei condotti, il percorso degli acquedotti, sotterranei o in elevato su arcate, è sempre segnato dalla costruzione di significative opere d'ingegneria idraulica destinate a controllare e distribuire il flusso e a consentire i necessari lavori di manutenzione. Nei percorsi sotterranei il flusso gravitazionale, aiutato da una lieve pendenza del condotto, è sistematicamente aereato da pozzi verticali e più volte intercettato da serbatoi di accumulo e di

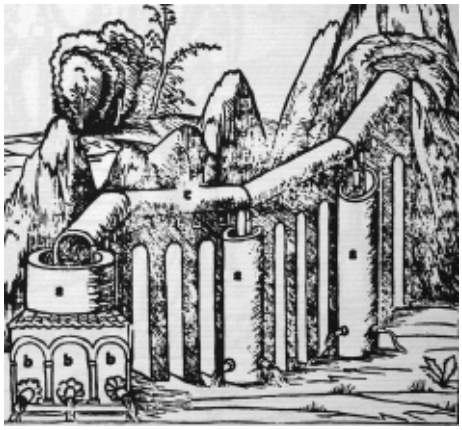


Fig. 4 - Acquedotto su arcate e castello di distribuzione, in Vitruvio, De architectura, Venezia 1511

decantazione fino al definitivo castello di distribuzione. Nei percorsi esterni, la pendenza è mantenuta costante da strutture a ponte che attraversano le valli, mentre botti di accumulo, castelli di derivazione e sifoni realizzati sul principio dei vasi comunicanti, sono risolti con imponenti edifici. Il trasferimento del flusso avviene attraverso tubature di vario materiale o canalizzazioni composte con ogni tipo di muratura. Non deve dunque sorprendere che un'opera pubblica così importante venga enfatizzata all'arrivo in città da fontane monu-mentali che, in un complicato gioco di vasche maestose, marmi scolpiti e statue celebrative, utilizzano la pressione generata dal salto di quota per zampilli e cascate. Non sempre i resti di queste strutture, ormai definitivamente separate dal sistema afferente, sono oggi riconoscibili come parte di progetti idraulici anche a causa della presenza di monumentali decorazioni marmoree che l'otti-



Fig. 5 - G.B. Cavalieri, ninfeo di Alessandro Severo, inizio '500

ca specialistica storico-artistica ha privilegiato su quella tecnica.

È a questo proposito esemplare la vicenda del ninfeo dell'acqua Giulia in Roma, conosciuto nella topografia romana col nome di Trofei di Mario per la presenza, sulla sommità della costruzione, di un arco monumentale a tre fornici all'interno del quale erano collocate due grandiose sculture marmoree. Il trasferimento dei trofei sulla balaustra del Campidoglio per volere di Sisto V ha lasciato i fornici vuoti, e il rudere in abbandonato. Si è oggi in grado di comprendere l'architettura edificata all'arrivo dell'acquedotto sul punto più alto del colle Esquilino per le intuizioni di Pirro Ligorio, architetto progettista e attento osservatore dell'antico, che per primo ha indicato l'originaria funzione del monumento come castello d'acqua e, dopo di lui, per i preziosi disegni di dettaglio di Giovanbattista Piranesi che con attenzione archeologica ha ricostruito chiuse e condotti restituendo ai ruderi dignità tecnica di architettura. Il canale afferente entra in città su alti pilastri che garantiscono la prevalenza per riempire le conserve e per creare spettacolari giochi d'acqua prima che questa venga incanalata nella rete urbana. La fontana è formata da tre vasche degradanti alimentate con acqua corrente che corrispondono ai diversi livelli di distribuzione. Ciascuna vasca, attraverso il canale di troppo-pieno, alimenta una condotta dedicata, le botti di accumulo e il bacino sottostante. Dall'ampia vasca del livello più basso si dipartono i condotti a cappuccina per la distribuzione e lo scarico di manutenzione. Al di sopra delle fontane scroscianti, che circondavano la statua coricata di Oceano, un grandioso arco a tre fornici inquadrava i trofei di marmo che hanno per secoli attirato l'attenzione degli studiosi, forse per il permanere sullo stesso punto di una memoria celebrativa.

Ci sono siti dotati di qualità invisibili e complementari a quelle materialmente costruite che divengono una creazione sociale inscindibile dalla realtà, persistente anche dopo le distruzioni. Questi luoghi singolari, nei quali l'acqua è una presenza costante, forse perchè legati a funzioni non chiaramente riconoscibili, assumono nella cultura urbana significati rituali e simbolici di metamorfosi e di permanenza.

Si pensi a questo proposito alle successive ricostruzioni, in Roma, della fontana della Meta Sudans che, collocata nel punto di confluenza delle due valli definite dai monti Oppio, Palatino e Celio, conserva inalterata per secoli la propria posizione malgrado il succedersi di interri

che elavano il terreno di diversi metri. I rilievi e gli scavi archeologici hanno riconosciuto nella demolita fontana domizianea una torre piezometrica che, elevata in altezza fino al livello delle conserve dell'Oppio e del Celio, ne scaricava il flusso di troppopieno. Le cisterne erano infatti collegate con il Palatino attra-verso sifoni che si incrociavano nel fondo valle all'interno della cavità della torre. La pressione necessaria per far risalire la condotta sul Palatino era determinata dalla colonna d'acqua che si formava all'interno della torre della Meta Sudans che, per il principio dei vasi comunicanti, percolava dalla sommità aperta del saliente centrale quando le cisterne erano a pieno regime e la pressione era massima, e solo dalle cannelle più basse quando la pressione era minore. Con questo artificio di ingegneria idraulica, l'acqua corrente alimentava le dimore imperiali del Palatino, i due piani inferiori del Colosseo, la vasca della piazza ove παντα ρει.

Molti altri esempi dimostrano come l'organizzazione urbana coinvolgesse, in costante continuità e senza distin-zione, edifici monumentali e opere fun-zionali. E spesso i primi, oggetto prin-cipale di attenzione, sono difficili da comprendere separati dai secondi che ne esaltano qualità imprevedibili legate a una diversa concezione dello spazio. È, ad esempio, il caso dell'euripus all'interno della sala ottagona della Domus Aurea che potrebbe dar luogo a un tradizionale ninfeo sullo sfondo del portico o rappresentare la forza motrice di giochi di automi ben più complessi.

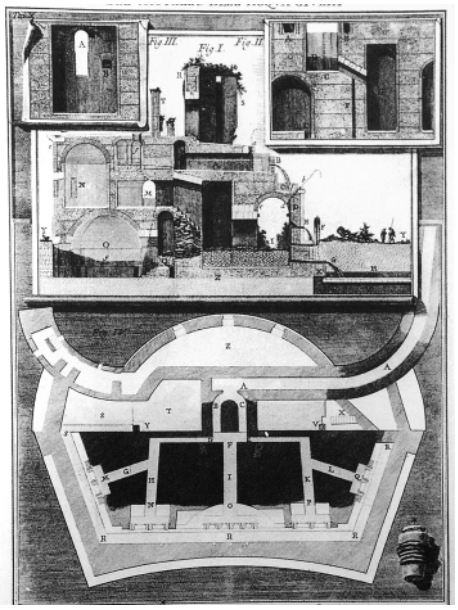


Fig. 6 - G.B. Piranesi, Del castello del'acqua Giulia, Roma 1761

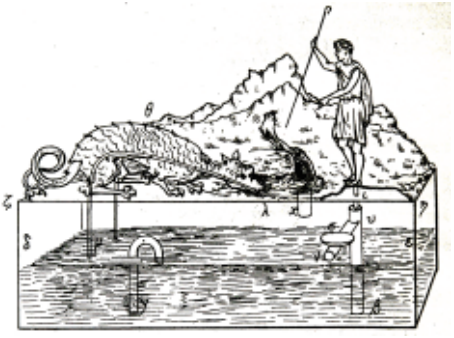


Fig. 7 - Fontana meravigliosa, in Carra de Vaux, Le livre des pneumatiques et des machines hydrauliques de Philon de Byzance, Paris 1902

La meccanica di trasferimento del flusso idrico e la sua capacità di compiere un lavoro sono ben note agli architetti del passato. I riscontri che è ancora possibile fare sulle architetture antiche dimostrano una continuità di esperienze e di saperi che solo la moderna

specializzazione e distinzione di competenze rendono irriconoscibili.

Alle macchine utili vanno infatti aggiunti gli ingegnosi meccanismi come organi o orologi ad acqua che implicano una attenzione diversa alla pura soluzione di problemi utilitari. Molti di questi meccanismi sono invenzioni destinate a stupire e ad attirare l'attenzione e la meraviglia degli osservatori, come gli automi. Essi sono, nell'antichità, un mito perseguito dalle arti, ma è soprattutto nella città ellenistica che gli automi attirano l'attenzione del pubblico intorno alle fontane progettate da Filone da Bisanzio. Le leggi elementari della fisica, i principi dei baricentri, delle leve, dei vasi comunicanti generano meraviglia e divertimento con congegni meccanici mossi dall'acqua, che, nascosti da sculture fantastiche sovvertono apparentemente le leggi della natura.

La sapienza tecnica e formale di queste applicazioni era dunque ben apprezzata in antico e sempre più ricercata anche in architettura. Nell'insediamento imperiale della Villa Adriana presso Tivoli, la presenza dell'acqua, nella sua componente naturale dei fiumi e in quella artificiale degli acquedotti, ha una funzione estetica oltre che utilitaria. Le modifiche apportate al paesaggio dal raffinato disegno di vasche degradanti ha rappresentato una soluzione formalmente brillante per un problema tecnico di distribuzione e alimentazione degli impianti. Ciascuna delle vasche in cui si specchia l'architettura è anche il bacino di alimentazione delle fontane inferiori, il cui flusso continuo riempie a sua volta le vasche del livello sottostante. Questo gioco, che si ripete per tutto il degradare della valle, può oggi essere solo immaginato. Il paesaggio e l'architettura che si riflettevano con mille sfaccettature in questo scenario mutevole, complicato da zampilli e cascatelle, arricchivano la realtà con una molteplicità di letture. La struttura occulta dei percorsi e degli impianti, la geometrica semplicità dei rapporti tra l'elevato degli edifici e i salti di quota riconducono l'irruenza e la forza della natura all'interno di un paesaggio progettato. La massa d'acqua in caduta libera lungo il pendio roccioso e la misura degli zampilli delle fontane si compongono a dar forma ai giardini che accolgono la dimora dell'uomo.

Sono queste le immagini evocate nella splendida e allusiva replica di architetture d'acqua progettate a Villa d'Este da Pirro Ligorio, attento conoscitore dei segreti dell'ingegneria idraulica. Analoghe esperienze saranno poi ripetute nella progettazione delle ville rinascimentali, dal parco di Boboli alla villa di Pratolino, da villa Pamphili ai giardini del Vaticano.

Molte sono le realizzazioni urbane che si giovano di progetti formulati con altrettanta perizia e inventiva, basti pensare alla ricchezza e vastità degli impianti termali che in età imperiale occupano grande parte delle aree urbane destinate a uso pubblico, configurandosi come grandiosi spazi polifunzionali la cui architettura è esplicitamente progettata per esaltare l'abbondanza e la magnificenza dell'acqua. Osservando da

questo punto di vista il complesso delle terme di Caracalla in Roma sarà facile scoprire la semplicità e la sapienza del progetto di distribuzione idrica messo in opera con flusso continuo. La derivazione dell'acquedotto destinata alle terme raggiunge con breve pendenza le grandi cisterne a doppio piano sul punto più alto della collina dove è possibile immaginare un primo gioco d'acqua attivato dalla ripartizione del flusso nelle vasche disposte simmetricamente rispetto al castello di arrivo. Il complesso termale è formato da un enorme fabbricato a pianta quadrata di circa 400 metri di lato che, sfruttando il dislivello tra il fondovalle e il punto di arrivo dell'acquedotto, si articola su tre piani sfalsati. Il piano inferiore, ricavato dal taglio del banco di tufo che sostiene le cisterne, è formato da un sistema di volte articolato in modo da realizzare un vasto terrazzamento all'interno del quale sono ricavati le gallerie destinate alla distribuzione dell'acqua, al funzionamento dei forni, strade per i veicoli, bocche di ventilazione, canalizzazioni di raccolta, partitori d'acqua e mulini, pozzi di ispezione delle gallerie di deflusso contenute nella gettata di fondazione.

Al centro di questo livello artificiale è collocato il grandioso edificio a due piani, mentre la restante superficie è occupata da giardini e fontane. Anche in questo caso, la distribuzione è progettata per caduta e, attraverso sifoni rovesci vengono alimentati giochi di acqua a cascata e zampilli fino a raggiungere la quota delle latrine e dei collettori profondi. La vera spettacolarità di un impianto così ricco e grandioso, noto per i rivestimenti in marmi pregiati e policromi, per i raffinati particolari architettonici, per i mosaici di accurato disegno e per i gruppi scultorei di grande fortuna, è proprio nel polimorfismo delle pareti d'acqua. Le restituzioni delle terme di Caracalla basate sugli studi archeologici rappresentano senza dubbio uno spazio di grande fascino e di grande perizia esecutiva, ma anche nelle ipotesi di ripristino degli specchi d'acqua mancano lo scintillio e la forza di un'architettura in movimento. È infatti sufficiente osservare il piano inclinato antistante le cisterne, interpretato nelle ricostruzioni come la cavea di uno stadio, per comprendere come questo possa essere parte di un gioco diverso. Un'analisi più attenta del prospetto delle cisterne rivolto verso lo spazio pubblico delle terme rivela che la fila di nicchie è qui collegata con le conserve retrostanti e che il piano inclinato già interpretato come sede di spettatori altro non è che il sostegno dei tubi di piombo che, partendo dai serbatoi si infilano nelle gallerie del sotterraneo. Allora questa parete concava che chiude il complesso termale verso monte può essere letta dai giardini come un colossale ninfeo. Se si osserva la parete prospiciente la grande vasca della nata-zio dopo una abbondante pioggia è facile cogliere il fascino dell'immagine raddoppiata, ma è ancor più interessante confrontare questa immagine con una sezione da valle a monte per capire che le statue una volta presenti nelle nicchie oggi vuote erano anch'esse fontane che

versavano nella vasca sottostante l'acqua in eccesso delle cisterne, come possono testimoniare le tracce dei tubi nella muratura. Così tutta la macchina idraulica si mette in moto e la grande parete vuota si anima, si riflette al cambiare della luce, il riflesso si frantuma.

La visione platonica che considera l'immagine che si specchia nell'acqua come una copia in contrapposizione all'ombra, diviene nella visione neo-classica statica simmetria del doppio.

Ma poichè qualsiasi elemento fisico riceve nello spazio una continua variazione dal mutare della luce e del tempo, l'idea di equilibrio dinamico si dimostra più pertinente alla complessità dell'architettura antica che è insieme scienza e intelligenza, materia e moto. Ed è in queste opere di ingegneria idraulica che i progetti utilizzano gli elementi e le leggi della natura in una mirabile sintesi di sapienza, fantasia e spregiudicatezza. (S.N.).

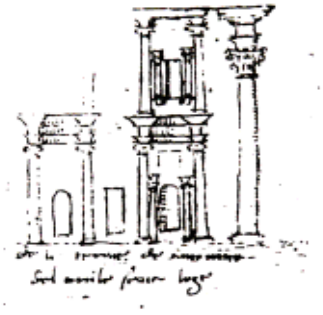


Fig. 8 - Terme di Caracalla, facciata nord della natatio, in A. Palladio, L'antichità di Roma

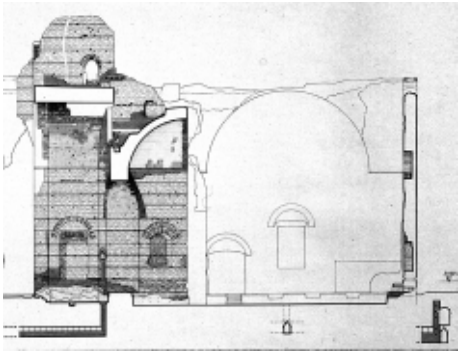


Fig. 9 - Terme di Caracalla, sezioni sulla vasca della natatio

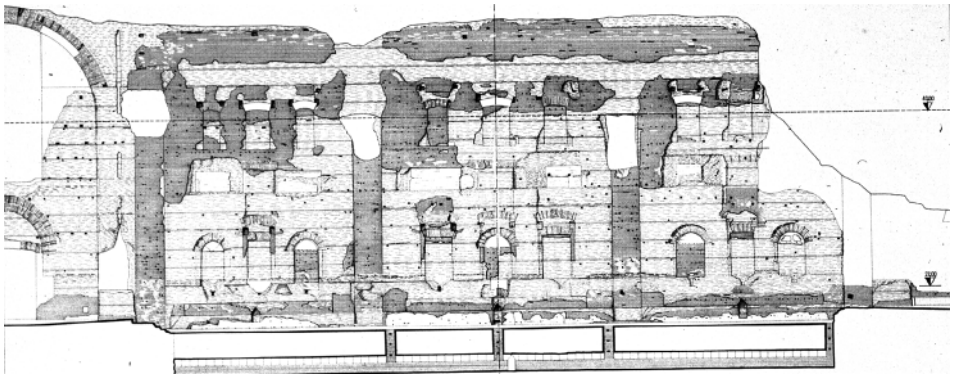


Fig. 10 - Terme di Caracalla, prospetto della parete nord. L'allinemento superiore indica la quota di arrivo dell'acquedotto.

MARIDA SALVATORI

Il porto dell'antica Puteoli: evoluzione dell'ingegneria marittima in età romana

In ambito napoletano, negli anni recenti e fino all'attualità si va dibattendo sul futuro dell'area occidentale della città anche in relazione alla creazione di un porto, sia pure di tipo turistico, e gli esperti si confrontano, anche in aperta polemica, sulle tipologie e sulle modalità costruttive, evidenziandosi pregi e difetti delle varie proposte. Si tratta di un ramo della scienza dell'ingegneria che ha antiche tradizioni ed il presente contributo mira a sottolineare un momento fondamentale di tale scienza, riferendosi all'apporto dei costruttori romani nell'evoluzione dell'ingegneria marittima e soffermando l'attenzione su un importante scalo marittimo risalente a tale epoca e ubicato nei Campi Flegrei.

La nascita di tale ramo della scienza applicata può farsi risalire all'incirca all'età classica congiuntamente allo sviluppo dei sistemi di navigazione.[1] La storia dei porti antichi presenta una ampia casistica, dovuta non solo all'epoca di costruzione e al grado di sviluppo tecnico raggiunto, ma anche alla morfologia delle coste ed al contesto economico in cui tali impianti si svilupparono. Una prima classificazione riguarda la distinzione tra porti veri e propri e approdi naturali[2], i primi dotati di infrastrutture di servizio e di protezione, i secondi dislocati su tratti di costa dove le condizioni naturali si presentavano particolarmente favorevoli per il riparo e il rifornimento delle navi.[3] Da un punto di vista urbanistico i primi impianti portuali nascevano e si sviluppavano il più delle volte in assoluta vicinanza e contiguità delle città; altre volte rappresentavano soltanto l'approdo ad un santuario famoso, o lo scalo commerciale di una vasta zona retrostante, e la città si sviluppava accanto ad essi in un secondo tempo; altre volte infine, quando la città per ragioni di sicurezza o di difesa, sorgeva o si estendeva entro terra, a non grande distanza dal mare, il porto veniva realizzato sulla costa ad essa più vicina. Il porto rappresentava allora un'appendice della città: un elemento integrato e distaccato al tempo stesso, quello che i Greci chiamavano "*epineion*".[4] Dall'età classica (V-IV sec. a.C.) lo sviluppo delle città e della navigazione, mentre accresceva i bisogni dei porti, li arricchiva di elementi caratterizzanti e di attrezzature in particolare, l'emporio per il commercio e l'arsenale per la costruzione, il ricovero e la manutenzione dei navigli, soprattutto da guerra. Tale incremento di funzioni del porto attribuì importanza vitale agli impianti portuali che vennero chiusi entro le mura della città stessa: si ebbe così quello che i Greci chiamarono "*porto chiuso*" (*limen cleistos*). Le infrastrut-

ture dei porti come moli, banchine e ormeggi assunsero allora un carattere e una funzione non solo marittima, ma anche militare.[5] Con il perfezionamento della tecnica costruttiva ad opera dei Romani[6], che permise loro di svincolarsi da ogni legame determinato dalle condizioni naturali del sito, i porti poterono essere costruiti ora anche del tutto o quasi del tutto artificialmente. I Romani, infatti, rielaborarono e utilizzarono tutte le tecniche costruttive portuali precedenti, introducendone una del tutto rivoluzionaria: la costruzione di strutture monolitiche subacquee attraverso l'utilizzo dell' *opus caementicium*. Tale innovazione tecnologica permise loro di realizzare dighe solide di geometria variabile, anche curvilinea, a difesa di porti totalmente esterni. Oggi, sulle coste del Mediterraneo si possono ripercorrere e riconoscere numerose tracce di questa eredità, alcune delle quali sommerse o semisommerse; altre, invece, rioccupate e trasformate in età tardoantica, medioevale, rinascimentale, ancora utilizzate.

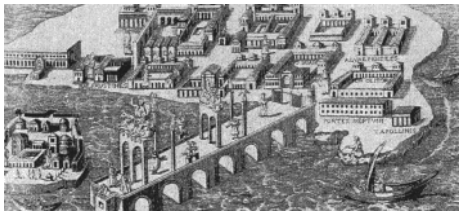


Fig. 1- Porto di Puteoli, disegno Bellori (1764)



Fig. 2 – Rione Terra dal molo caligoliano. Incisione W.Leighton Leitch e D.G. Thompson, 1850 C.R.G. (R. Giamminelli, 1987)

Tra le istallazioni portuali romane, una delle più rappresentative della capacità tecnica dei Romani è certamente quella di Pozzuoli, l'antica *Puteoli*.

La buona posizione geografica e la vicinanza con Roma, permisero alla città flegrea di diventare, nel giro di pochi anni, il principale porto di Roma, tappa obbligata delle merci provenienti dall'Oriente e, successivamente, dai mercati occidentali[7]. Ai piedi dell'attuale Rione Terra il porto si divideva in due parti: a sud, i bacini, dove ancora oggi con mare calmo e limpido si intravedono i resti sommersi di una doppia fila di *pilae* che dovevano servire da strutture frangiflutti e, a nord, lo scalo vero e proprio, l'*emporium*, delimitato dal mare aperto e protetto contro i venti di scirocco dal cosiddetto molo "caligoliano". Tale struttura era costituita da almeno quindici pilastri (*pilae*) costruiti in opera a getto cementata con la pozzolana e collegati da arcate; la larghezza del molo era di circa 15 metri e la lunghezza complessiva di 372 metri.

La struttura si concludeva con un arco di trionfo e forse un faro, così come viene rappresentato nell'iconografia antica[8].

L'epoca dell'impianto è stata attribuita all'età augustea; il porto, danneggiato da una violenta mareggiata, è sta-

to in seguito restaurato da Antonino Pio.[9] Dell'antico molo caligoliano, oggi inglobato in quello moderno, rimangono numerose descrizioni, incisioni e rilievi sette-ottocenteschi.

I resti delle *pilae* romane, infatti, sebbene in parte sommersi, rimasero visibili fino alla fine del XIX secolo; Antonio Parrino così ne descriveva i resti: "[…]25 piloni de' quali 13 sono rimasti, d'opera laterica e pietre quadre, con grande artificio con le volte degli archi ora tutte rovinate; furono fabbricati i detti piloni con la terra detta Pozzolana, o Giara, che unita con la calce fa una mirabile lega, come attesta Vitrurio[…]"[10].

Diverse sono, inoltre, le rappresentazioni iconografiche di cui le più accurate sono quella eseguita da Paolo Antonio Paoli (1768)[11] e quella di Pier Leone Ghezzi (1736)[12], quest'ultima risulta particolarmente significativa per la precisione nel riprodurre i particolari costruttivi.

Successivi studi hanno consentito di analizzarne le caratteristiche costruttive: le descrizioni forniteci prima dall'ingegner De Fazio (1828) e poi dal Dubois (1907) sono certamente le più esaustive. Intorno alla metà dell'Ottocento quando il De Fazio ne analizzò i resti erano ancora ben evidenti gli archi che congiungevano i pilastri "[…] rimangono alcune porzioni di archi tanto prolungate verso la chiave, che degli interi archi pare non manchi altro che la sola semichiave […] gli archi sono costruiti col medesimo materiale adoperato pè piloni […] salvo negli archivolti essendo fatti di mattoni grandi che si rinvengono sole nelle fabbriche antiche […] un solo arco poi, che è il terzo numerando da terra, è interamente in mattoni […]"[13].

Quando nel 1907 il Dubois[14] arrivò a Pozzuoli per studiare i monumenti antichi, potè analizzare solo una parte delle *pilae* in quanto erano già in corso i lavori per la costruzione del molo moderno. Lo studioso, basandosi sui rilievi del De Fazio e conducendo indagini dirette su alcune *pilae* tagliate per i suddetti lavori, riesce a fornirci maggiori dettagli sulla struttura interna dei pilastri, che presentavano mattoni e piccole pietre di tufo amalgamate nel cementizio o solo tufo e cementizio.

Dubois nota, inoltre, nella quindicesima pila alcuni fori di 0,20 metri che attraversavano la muratura a distanza di 1 metro nel senso della lunghezza e dell'altezza. Fori simili erano stati notati anche sull'antico molo di Anzio, dove probabilmente era in uso consolidare la muratura inserendovi travi lignee.

Dall'antico molo, l'area portuale, verso la fine dell'età repubblicana, si sviluppò enormemente occupando quasi

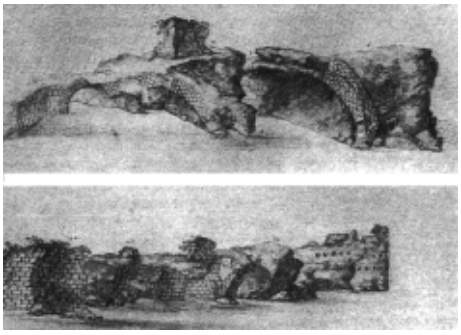


Fig. 3 – Molo di Pozzuoli , P.L.Ghezzi 1736 (F. Castagnoli, 1993)

tutta la fascia costiera che da Pozzuoli conduceva al lago Lucrino. Tutta l'area era delimitata verso il mare da una banchina con portici - la cosiddetta *ripa puteolana* - dove si andarono sviluppando quartieri suburbani a carattere emporico (*vici*).[15] Questa nuova espansione urbana determinò una significativa trasformazione della fascia costiera, che fino alla tarda età repubblicana fu caratterizzata da ville residenziale che poste sulla collina della Starza degradavano verso il mare. Gli studi condotti da G.Camodeca hanno consentito di definire la pianta del litorale puteolano[16] dalla quale risulta evidente come il porto di *Puteoli* e il *portus Iulius* venivano a costituire dall'età augustea in poi un eccezionale sistema integrato di strutture portuali a fini commerciali. Tale sistema si arricchì nel 36 a.C. del grande porto militare, voluto da Ottaviano e costruito da Agrippa davanti il lago Lucrino.[17] Il lago subì una sostanziale trasformazione: vennero tagliati gli istmi che lo dividevano rispettivamente dal mare e dall'Averno.

Nacque così il porto Giulio nel quale si entrava attraversando un largo canale comunicante con il mare. Nell'Averno, sulla costa sud-occidentale, Agrippa costruisce un cantiere navale, apre grotte tra la spiaggia di Cuma e l'Averno, tra quest'ultimo e la spiaggia del Lucrino. La vita del porto Giulio come impianto militare è stata breve: nel 12 a.C. il presidio militare viene spostato a Miseno[18] e le strutture del porto del Lucrino vengono convertite in porto commerciale.

Oggi, in fondo al mare risultano ancora evidenti le seguenti strutture: il canale di accesso al lago Lucrino, lungo circa 300 metri e terminante verso il mare con grosse *pilae*; bacini e darsene situati all'interno del porto lagunare e separati da un molo lungo circa 100 metri; una serie di *horrea* e *tabernae*, che sembrano disporsi tra due strade parallele; un grande *horreum* su corte quadrata sulla quale si impostano una serie di *cellae* di modulo uguale (magazzini destinati allo stoccaggio delle merci), costituiti da strutture in *opus reticolatum* e provviste di soglia in pietra, molte delle quali ancora oggi in *situ*. Il suo lato occidentale è occupato da una *domus* padronale il cui prospetto settentrionale è caratterizzato da diversi ingressi, mentre sul lato opposto è evidente un peristilio di colonne in laterizio rivestito di intonaco che delimitava un piccolo giardino interno con fontane. Più ad ovest, i resti di un complesso edilizio, oggi ridotto al livello pavimentale, conservano pavimenti databili ai primi del I sec. a.C.: uno è in signino decorato con tessere bianche disposte a meandro, mentre l'altro è a mosaico a tessere bianche, circondato da file di tessere nere.

Dalle indagini archeologiche che hanno interessato la costa puteolana negli ultimi decenni risulta evidente come l'utilizzo di *pilae* in conglomerato cementizio fosse largamente diffuso sulle coste flegree sia per la costruzioni di moli e banchine sia per proteggere l'imboccatura dei porti, così come riscontrato recentemente a Baia e al *Portus Iulius*.[19]

Tale tecnica costruttiva prevedeva la costruzione preventiva di casseforme lignee di cui si è evidenziata la presenza costante sui resti sommersi di tali infrastrutture portuali. Tale procedimento viene dettagliamene illustrato da Vitruvio. In particolare, il passo V, XII del *De Architettura*[20], sintetizza le tecniche fondamentali di costruzione delle strutture in acqua in tre "modi" fondamentali.[21] Egli descrive la tecnica dell'impasto delle malte idrauliche, ottenute mediante l'impiego della calce mescolata con la pozzolana invece che con la sabbia.

La qualità dell'impasto era dovuta all'utilizzo della pozzolana, *pulvis puteolanus*, d'origine vulcanica tipico dei Campi flegrei dove se ne trova di qualità migliore. Le sue proprietà sono esaltate non solo da Vitruvio, che si sofferma esclusivamente sulla pozzolana flegrea e su quella che si trova nell'area compresa tra Cuma e Sorrento, ma anche da Strabone (V,4,6)[22] che attribuisce ad essa il merito della costruzione lungo la costa flegrea, di opere marittime tali da articolare la riva in bacini nei quali le navi più grandi navi possano ormeggiare sicure.

Le informazioni forniteci da Vitruvio sono utili per la costruzione dei modelli di casseforme che variano, a seconda della malta usata.

Un primo tipo di cassaforma per malta idraulica veniva costruita direttamente in acqua: il procedimento di costruzione iniziava con l'infissione nel fondale di pali verticali (*destinae*) con la funzione di ancorare la struttura al fondo marino e di sostenerla. Successivamente, a questi pali verticali venivano collegate travi trasversali (*catenae*), che avevano la funzione di contenere le spinte esercitate dall'interno all'esterno della cassaforma dall'opera cementizia fresca. Quindi, lungo il perimetro esterno a questa tessitura di travi venivano montati i tavolati che costituivano le pareti della cassaforma (*arca*). Questi erano collegati alle *catenae* e sostenuti dall'esterno da pali di quercia conficcati nel fondale (*stipites*). Una volta terminata la costruzione dell'*arca*, l'opera cementizia vi veniva gettata all'interno, direttamente a contatto delle pareti, fatto che è confermato dalle impronte delle assi che si nota sui resti archeologici sommersi. Questo sistema permetteva l'esecuzione modulare di casseforme accostate. Nella cassaforma così costruita si gettava un conglomerato cementizio composto di pietre, calce e pozzolana, direttamente in acqua.

In assenza di pozzolana, Vitruvio prescrive il secondo "modo", la cassa-forma stagnata, realizzata da pareti con doppia paratia con l'intercapedine riempita di argilla costipata in panieri fatti di alghe di palude. Prima di introdurre la malta, la cassaforma doveva essere svuotata dall'acqua mediante una *coclee* (= vite di Archimede) e ruote acquarie, e si lasciava asciugare per quanto possibile. Poi si scavavano le fondazioni e si riempiva il tutto con un conglomerato di sabbia e calce.

È questo un metodo che, piuttosto che a lunghe murature continue come i moli, meglio si adattava alla costruzione di *pilae*, che, come abbiamo visto risul-

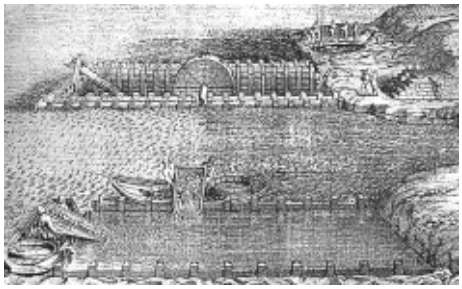


Fig. 4 – Stanpa di C. Perrault del 1763: in primo piano viene rappresentata la cassaforma allagata, in secondo piano la cassaforma stagna (Dal mas, 1965)

tano essere diffuse nell'area flegrea; in particolare in una delle *pilae* di Nisida[23] è stata accertato l'utilizzo di una cassaforma stagnata, come attesta il paramento in una sorta di *opus reticulatum*, nonostante la muratura contenga pozzolana in abbondanza. Una vera e propria cassa stagna in mare non è stata ancora individuata.

Il terzo tipo di cassaforma descritto da Vitruvio prevedeva la costruzione di un blocco prefabbricato da far cadere in mare direttamente dalla terraferma o dal limitare delle banchine, per determinarne l'avanzamento in acqua. Tale metodo non è stato però archeologicamente documentato.

Un quadro generale sui porti romani in opera cementizia, in vari luoghi del Mediterraneo, con analisi delle diverse tecniche costruttive è stato oggetto di studio particolare da parte dell'archeologo Enrico Felici, il quale ormai da diversi anni ne ha fatto uno dei suoi interessi principali.[24] Da tali studi, emerge che molto varie erano le tipologie degli impianti in cui si riscontrano l'utilizzo integrato di diverse tecniche. L'uso estensivo dell'*opus caementicium* non comportò, infatti, l'abbandono delle strutture in blocchi di pietra tipiche delle opere portuali greche; tali strutture rafforzate dall'utilizzo della malta furono ampiamente impiegate per la costruzione del porto di *Leptis Magna* sulle coste della Libia[25]; altre volte, invece, venivano costruite delle casseforme in blocchi di pietra riempite con gettate cementizie, di tale tecnica si è trovato riscontro in diversi restauri condotti dai Romani in strutture portuali greche. In altre occasioni, se la condizione del sito lo consentiva, gli impianti portuali venivano scavati direttamente in banchi rocciosi: il porto di Ventotene[26] ne rappresenta l'esempio più riuscito.

Non mancano, infine, strutture costruite totalmente in legno, in ambiente fluviale e lacustre; infatti, venivano realizzate casseforme lignee riempite di terra e detriti. Di queste ne è stata individuata una durante gli scavi del porto di Marsiglia[27] in Francia. Le opere in cementizio rimangono comunque le più utilizzate grazie alla facilità di assemblaggio delle casseforme lignee che garantivano versatilità di esecuzione e modularità: appoggiandosi a strutture già solide si potevano adoperare casseforme con solo tre o due lati, a volte anche con una sola parete; tale circostanza permetteva di procedere in modo progressivo alla costruzione dei moli, secondo moduli che le indagini archeologiche hanno facilmente individuato.

Le tracce lasciate sui moli e sulle banchine dagli elementi lignei utilizzati sono state la guida fondamentale per

comprendere il tipo di costruzione. L'interpretazione accurata di queste segni ha consentito di poter individuare diversi sistemi di gettata cementizia; è stato possibile accertare una grande varietà di soluzioni tecniche tra le quali si evidenziano le strutture realizzate a *pilae*, come diffusamente in uso nell'area flegrea, moli a piloni e riempimento, accertati da recenti indagini condotte nei porti di Cosa[28] (Toscana) e Astura[29] (Lazio), nei quali lo spazio tra i piloni è stato riempito successivamente utilizzando un intelaiatura in legno, appoggiata ad una lunga trave orizzontale collocata tra i piloni; un' ultima tipologia è la gettata a fondazione continua, in cui una serie di *pilae* affiancate garantiva di coprire distanze molto lunghe.

Tale classificazione per stessa ammissione del Felici non è certamente da considerare in modo rigido ed esaustivo; lo studioso infatti afferma che "il quadro delle realizzazioni in calcestruzzo si sta rilevando assai articolato. Ferme restando le tecniche di base, si incomincia infatti a riscontrare una notevole varietà di soluzione tecniche […] documentando correttamente le tecniche edilizie, si riscontrano quelle varietà, a volte marginali ma talora sostanziali, che costituiscono le specificità dei singoli cantieri. Lungi da voler ricondurre queste tecniche in una schematica - gabbia - di tipologie, si delinea una sommaria individuazione dei denominatori comuni fondamentali, che può fornire un orientamento nella distinzione tra procedimenti che sono stati a volte confusi tra loro."

La sopravvivenza del patrimonio di beni architettonici sommersi o semisommersi risalenti all'epoca romana oggi è minacciata dalla compresenza di diverse forme di degrado naturale ed antropico: erosione delle coste e intenso sfruttamento delle stesse. L'esistenza e la tipologia di tali rischi sfuggono spesso a chi dovrebbe esercitare la tutela, sia per la mancanza della possibilità di un controllo diretto (pochi funzionari sono in grado di controllare direttamente in acqua le condizioni delle strutture), sia perché vengono sottovalutati i fattori di rischio. Alcune Soprintendenze più attente a tali problematiche stanno cercando di censire tali beni nelle acque di loro competenza (ad esempio il Lazio[30]).

Mentre dal 2004 con il progetto Archeomar[31] si è tentato di produrre un censimento delle strutture sommerso in quattro regioni del sud Italia. Tale esperienza - così come altre a carattere locale - non sembra essere sufficienti per garantire una adeguata conservazione di tale patrimonio, in quanto le informazioni raccolte forniscono solo indicazioni sull'ubicazione geografica e sulla tipologia dei beni - il più delle volte sulla base di notizie di archivio e senza indagini dirette - e vengono tralasciate, invece, tutta una serie di informazioni capaci di registrare la natura del rischio, la sua qualificazione e quantificazione.[32]

Tale auspicabile "Carta" dovrebbe essere redatta, così come sollecitato da parte dell'ICR, secondo la metodologia della carta del rischio per il patrimonio culturale[33], introducendo nuovi criteri unitari. Tale carta dovrebbe essere cor-

redata, ove possibile, da schede analitiche archeologiche e conservative del Bene, con attenzione al contesto ambientale e ai biodeteriogeni marini che sono, insieme ai fattori antropici, le principali cause del degrado di tali strutture. In conclusione, per la conservazione di tale importante patrimonio risulta necessario, in prima istanza, un adeguato censimento e una corretta analisi dello stato di conservazione, adottando una metodologia e un linguaggio comune e avvalendosi dell'apporto interdisciplinare tra architetti, ingegneri e archeologi.

[1] Il primo censimento dei porti mediterranei antichi fu eseguito da K. LEHMANN-HARTLEBEN, *Die antiken Hafenanlagen des Mittelmeers*, Kilo XIV, Leipaig, 1923, che si basò principalmente sull'analisi delle antiche fonti letterarie. Per gli studi, che si avvalgono sulle informazioni ottenute dalle indagine archeologiche subacquee, si veda, in particolare, D.J BLACKMAN, *Ancient harbours in the Mediterranean, "International Journal Nautical Archaeology"*, Part. I:11,2, pp. 79-104; Part.II:11.3, pp.185-211, 1982; J. OLESON, *The technology of Roman Harbours,* "International Journal Nautical Archaeology",17.2, pp. 147-157,1988; E. FELICI, *La ricerca sui porti romani in cementizio:metodi e obiettivi, in Archeologia subacquea: come opera l'archeologo sott'acqua. Storia dalle acque*, a cura di G. Volpe, Del Giglio, Firenze, 1998, pp. 275-340.

[2] Significativa è la trattazione che lo Janni dedica alle fonti e alle informazioni sui porti. Si veda, in tal senso, P. JANNI, *Il mare degli Antichi*, Dedalo, Bari, 1996.

[3] Quando le condizioni economiche o militari richiedevano installazioni più importanti, si costruivano porti a bacino chiuso, che offrivano migliori condizioni di ancoraggio e capienza più elevata. Vi sono numerosi esempi di porti di questo tipo specialmente di epoca romana. I porti a bacini multipli, che permettevano la separazione delle operazioni di natura commerciale e militare, rappresentavano invece le costruzioni portuali più complesse. Essi potevano essere costituiti da più bacini naturali, o dalla unione di un porto naturale con una struttura artificiale: è il caso di una penisola i cui fianchi si prestavano all'istallazione di più porti, come al Pireo in Grecia; oppure, di un'isola vicina alla costa, che poteva essere eventualmente collegata artificialmente alla terra ferma, come ad Atlit in Israele o ad Alessandria d'Egitto.

[4] D.J. BLACKMAN, *Ancient harbours*, op.cit., Part II:11.3, pp.193-194.

[5] Essi erano realizzati con massi sovrapposti a formare pareti verticali perimetrali, poi riempite all'interno con un nucleo di pietrame. I blocchi di pietra, di forma prevalentemente parallelepipeda, erano disposti ben affiancati con il lato lungo ortogonale al filo della banchina in modo da ottenere il massimo attrito e la maggiore resistenza alla spinta del mare. I massi non erano collegati con malta, ma con grappe di piombo a coda di rondine.

[6] G. LUGLI, *La tecnica edilizia dei Romani*, Bardi, Roma, 1957; J.P. ADAM, *La construction Romaine, matériaux et techniques*, Picard, Paris,1984; C.F. GIULIANI, *L'edilizia nell'antichita'*,Carocci, Roma, 1990; G. GIOVANNONI, *La tecnica della costruzione presso i Romani*, rist. anast., Bardi, 1999.

[7] Sull'importanza del porto di Puteoli e più in generale dei porti romani nell'area flegrea si veda, in particolare, J. BELOCH, *Campanien*, Breslau,1890; R. ANNECCHINO, *Storia di Pozzuoli e della zona flegrea*, Pozzuoli, 1960; J. D'ARMS, *Puteoli in the second century of the roman empire. A social and*

economic study, "Journal of roman study", 64, pp. 104-124, 1974; *I Campi Flegrei nell'archeologia e nella Soria*, Convegno internazionale (4-7 maggio 1976), Atti Lincei, n. 33, Roma, 1977*;* A. Maiuri, *I campi flegrei: dal sepolcro di Virgilio all'antro di Cuma*, V ed., Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1981; M. Redde', *Mare Nostrum. Les infrastructures, les dispositif et l'histoire de la marine militare sous l'empire romain*, Ecole de francaise de Rome, Roma, 1986; R. Giamminelli, *Il centro antico di Pozzuoli. Rione Terra e Borgo*, Civita, Napoli, 1982; P. Amalfitano, G. Camodeca, M. Medri, *I Campi Flegrei, un itinerario archeologico*, Venezia, 1990; F. Castagnoli, *Topografia Antica, un metodo di studio*, voll. II, Italia, Istituto poligrafico e Zecca dello Stato, Libreria dello Stato, Roma, 1993, pp. 1012-1032.

[8] S.E. Ostrow, *The topography of Puteoli and Baiae on the eight glass Flasks*, "Puteoli, studi di storia antica", III, Napoli, 1979, pp-77140; Tra le antiche iconografie si veda in particolare l'incisione, realizzata da P.S. Batoli di G.P.Bellori (1764), che riproduce, molto probabilmente, un dipinto parietale andato perduto, rinvenuto nel 1668 sull'Esquilino. L'identificazione della scena raffigurata è ormai indiscussa: il campo visivo è circoscritto alla zona che gravita introno al porto nella quale si riconoscono il molo, i fori olitorio e boario e gli *horrea* (magazzini).

[9] CIL X, 1640-41, C. Dubois, *Pouzzoles antique: (histoire et topographie)*, Paris, Albert Fontemoing editeur, 1907, p. 254

[10] D.A. Parrino, *Nuova guida de' forastieri per l'antichità di Pozzuoli*, Napoli 1751.

[11] P.A. Paoli, *Avanzi delle antichità esistenti a Pozzuoli Cuma e Baja*, Napoli, 1768.

[12] F. Castagnoli, *Topografia Antica*, op.cit, p. 1023, nota 83.

[13] G. De Fazio, *Intorno al migliore sistema di costruzione dei porti- Discorsi tre*, Napoli, 1828, pp. 104-127.

[14] C. Dubois, *Pouzzoles antique*, op. cit 1907, p. 249 ss.

[15] G. Camodeca, *L'ordinamento in regiones e vici di Puteoli*, Puteoli,studi di storia antica, I, 1977; p. sommella, *Forma e urbanistica di Pozzuoli romana*, Puteoli, studi di storia antica, II, 1978; C. Gialanella, *La topografia di Puteoli*, a cura di F. ZEVI, Puteoli, Napoli 1993; G Cerando, C. Gialanella, D.I. Pellandra, "*Tra terra e mare: nuove ricerche lungo la ripa puteolana*" , F. Maniscalco, P.A. Gianfrotta a cura di, "*Forma maris: forum internazionale di archeologia subacquea*", Pozzuoli 2001.

[16] La pianta è stata pubblicata una prima volta nel 1987, si veda G. Camodeca, *Le antichità di Pozzuoli, la Ripa Puteolana ed i resti sommersi del Portus Iulius*, I Campi Flegrei, F. Zevi a cura di, Napoli, 1987; poi in versione migliorata ed aggiornata in G. Camodeca, *Puteoli porto annonario e il commercio del grano in età imperiale*, AA.VV. "*Actes du colloque international de Naples*", Roma 1994.

[17] P.A. Gianfrotta, *Un porto sotto il mare*, I Campi Flegrei, op. cit., 1987; P.A. Gianfrotta, *Puteoli sommersa*, F. ZEVI, Puteoli, op. cit. 1993; P.A. Gianfrotta, *Harbor structures of the Augustan age in Italy*, A. Raban, K. G. Holum, *Cesarea Marittima. A retrospective after two millennia*, Leiden 1996; M. Sirpettino, *Così sprofondò l'impero: il mare di marmo*, Napoli, 1997; P.A. Gianfrotta, *I porti dell'area flegrea*, Porti, approdi e rotte nel Mediterraneo antico (Lecce, 1996), G. Laudizi, C. Marangio a cura di, Studi di Filologia e Letteratura, , 4, Galatina 1998, pp.155-168.

[18] E. Scogliamiglio, *Archeologia subacquea a Miseno*, Archeologia Marittima Mediterranea, 3.2006, pp.63-77.

[19] E. SCOGNAMIGLIO, *Baia sommersa: gli sviluppi della ricerca*, P.A. GIANFROTTA, F. MANISCALCO, Forma Maris, op.cit, Pozuoli, 2001, pp. 43-50; E. SCOGNAMIGLIO, *Nuovi dati su Baia sommersa*, Archeologia Subacquea, III, 2002, pp. 47-55.

[20] A. DALMAS, *Vitruve, les dix livres d'architecture (traduction intégrale de C.Perrault 1673, reveu et corrige sur le textes latins et présentée par A.Dalmas)*, Paris, 1965; De *Architettura*, a cura di P. GROS, traduzione e commento di A. CORSO e E. ROMANO, Einaudi, Torino, 1997.

[21] E. FELICI, *La ricerca sui porti*, op.cit., pp. 298-318; R. PETRIAGGI, B. DAVIDDE, Archeologia sott'acqua, teoria e pratica, Archeologia Marittima del Mediterraneo, Papers 2, Pisa-Roma, Serra ed., 2007, pp. 122-132.

[22] F. CASTAGNOLI, *Topografia antica*, op.cit, 1993, pp. 1022-1023 e nota 82.

[23] P.A. GIANFROTTA, *I porti*, op.cit. Lecce,1998 pp. 154-156.

[24] Tale ricerca è stata condotta comparando le tecniche costruttive rintracciate sui resti archeologici sommersi degli antichi porti romani con le fonti antiche, in particolar modo con le descrizioni tratte dal testo di Vitruvio. Si veda, in tal senso, E. FELICI, *Osservazioni sul porto neroniano di Anzio e sulla tecnica romana delle costruzioni portuali in calcestruzzo*, Archeologia Subacquea, I, 1993, pp. 71-104; E. FELICI, La ricerca sui porti, op. cit. 1998, pp. 275-340.

[25] R. BARTOCCINI, *Il porto romano di Leptis Magna*, "Bollettino del Centro di studi per la storia e l'architettura", 13, supplemento al 1958, pp.7-134.

[26] G.M.De Rossi, *Ventotene e S. Stefano:un'agile ma esauriente guida per la riscoperta storica, archeologica e naturalistica delle due isole e per una loro "rilettura"nel Museo di Ventotene*, Roma 1993; L. FRANCO, *L'ingegneria marittima nell'antichità*, "L'Acqua", 3, 1997, pp. 7-24.

[27] A. HESNARD, *Une nouvelle fouille du port de Marseille, Place Jules-Verne*, "Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres", 1994, pp.195-127.

[28] G. BALDIERI, E. FELICI, *Il porto di Cosa: note per l'interpretazione di un'opera marittima in cementizio*, "Archeologia subacquea. Studi, ricerche e documenti", II,1997, pp. 11-19.

[29] E. FELICI, *La ricerca sui porti*, op.cit., pp. 325-326.

[30] A. ZARATTINI, *La tutela del patrimonio sommerso del Lazio*, Lezioni di Fabio Faccenna: conferenze di archeologia subacquea (I e II ciclo), M. GIACOBELLI a cura di, Edipuglia, Bari, 2001, pp. 153-159.

[31] R. PETRIAGGI, B. DAVIDDE, *Progetto Archeomar. La tutela del Patrimonio archeologico sommerso*, Archeologia Maritima del Mediterraneo, 1, 2004, pp. 202-203.

[32] Il progetto Archeorisk attualmente in corso in Veneto sembra andare, in parte, in questa direzione. Si veda C. CARLON, L. FOZZATI, A. MARCOMINI, *Un sistema di valutazione del rischio ambientale per i siti archeologici lagunari*, Quaderni di scienza della conservazione, 3, 2003, pp. 133-144.

[33] R. PETRIAGGI, *Per una carta del rischio del patrimonio sommerso dei mari italiani e delle acque interne*, Archeologia Maritima del Mediterraneo, 2, 2004, pp. 173-177.

RICCARDO SERSALE

Malte per il restauro di opere d'arte antiche

Dopo un cenno alle tecniche diagnostiche avanzate, che consentono una compiuta caratterizzazione dei materiali antichi, ai fini della riproduzione di malte quanto più fedeli a quelle del passato, si procede alla trattazione di quelle: a base di calce, di calce idraulica naturale e di calce idraulica artificiale "pozzolanica".

Per ognuna di esse vengono discussi i differenti fattori che ne determinano il comportamento all'impiego, con riferimento: alle modalità di preparazione, alla presa ed indurimento, alla natura dei prodotti d'idratazione, alla durata della stagionatura, alla resistenza meccanica, alla porosità totale ed alla distribuzione delle dimensioni dei pori (che influenzano trasporto d'umidità e durabilità), al tipo di aggregato (natura, distribuzione granulometrica, morfologia), al rapporto legante/aggregato, alla microstruttura del prodotto finito. Si pone infine in luce la possibilità del ricorso a malte cosiddette "bastarde".

La raccolta del complesso dei dati agevolerà la scelta del tipo di malta più appropriato all'intervento di restauro da effettuare. Il termine "storico" viene adottato per indicare strutture realizzate prima della fine del XIX secolo. Esse sono state create impiegando malte antiche, ossia materiali compositi complessi, con una grandissima varietà di contenuto sia di tipo di inerte, sia di aggiunte minerali ("pozzolaniche", mattoni frantumati (cocciopesto). Come legante è stata dapprima utilizzata calce aerea, il cui impiego risale sicuramente alle prime età della preistoria (neolitica, eneolitica), anche se risulta adoperata, con maggiore frequenza, nella quarta età, quella del bronzo (1).

La scoperta di un legante a comportamento idraulico, atto, cioè, a far presa ed indurire anche in ambiente subacqueo, si attribuisce invece ai Fenici. Ad essi si addebita la preparazione di malte confezionate con calce aerea e sabbia vulcanica dell'antica Thera (isola di Santorini).

Dai Fenici l'impiego della calce si è trasmesso ai Greci, ai Romani ed a tutta la civiltà mediterranea, fino al XIX secolo, gradualmente scomparendo per effetto della scoperta del cemento Portland. Il degrado di strutture storiche, in ogni tempo avvertita, ha suggerito nel XX secolo, in concomitanza con l'impiego massivo del cemento nell'edilizia, di sostituire, per interventi di restauro, malte a base di calce con malte a base di cemento, sia per la scarsa resistenza meccanica delle prime, sia per il lungo tempo d'indurimento.

I risultati di tale sostituzione si sono rivelati, però, deludenti, perché hanno provocato un notevole peggioramento dello stato delle strutture preesistenti. L'impiego di cemento è apparso ben

presto potenzialmente pericoloso per l'alta resistenza a compressione che, anziché un effetto favorevole, ha ingenerato una sorta di problemi, per cicli di cristallizzazione e/o d'idratazione della consistente frazione di sali solubili recati, per una certa tendenza alla contrazione, responsabile della rottura e del distacco della malta dalla struttura antica. È noto che le strutture murarie antiche vanno soggette a "movimenti" di una certa entità, originati da scorrimento viscoso e da effetti termici, meglio assorbiti dalle malte di calce, più cedevoli e più deformabili, grazie alla presenza di un'ampia zona plastica. Una malta da restauro eccessivamente resistente reprime infatti tali "movimenti", generando forze che causano rottura.

Norme guida per la preparazione di malte da restauro non ancora ne esistono, ma si suggeriscono, in forma di raccomandazione, limiti di accettazione di proprietà fisiche e meccaniche. Si raccomanda che malte per restauro non rilascino sali solubili o prodotti nocivi e non siano più resistenti della pietra da costruzione, né eccessivamente più resistenti della malta originaria. Siano prodotte con materie prime quanto più possibile simili a quelle che furono impiegate per la preparazione delle malte antiche e con tecniche quanto più possibile analoghe. Si ritiene inoltre irrinunciabile una compatibilità spinta fra la nuova malta ed i componenti originari della struttura. Tale compatibilità coinvolge differenti aspetti: compatibilità chimica fra malta di apporto e materiale preesistente (pietra o mattone e malta di allettamento); compatibilità fisica, in relazione ai processi di solubilità e di trasporto d'acqua; compatibilità strutturale e meccanica. La resistenza di una malta da restauro deve pertanto risultare simile, il più possibile, a quella della malta originaria.

Principali cause di degrado delle strutture storiche sono: il movimento d'acqua e delle soluzioni saline attraverso la muratura per capillarità e la cristallizzazione dei sali. La risalita capillare di acqua nelle strutture costituisce infatti una ricorrente causa di degrado. Gli interventi di restauro inappropriati, eseguiti nel XX secolo, hanno prodotto estesi vuoti e perdita di costituenti della malta legante, richiedendo spesso la colmatura dei vuoti di maggiori dimensioni.

Questa Nota si propone di far luce sul complesso dei parametri che determinano il comportamento delle malte di calce, al fine di una scelta, quanto più appropriata, per interventi di restauro di strutture antiche. La scelta di una malta da restauro si presenta critica. Ciò che soprattutto si richiede per la sua formulazione concerne l'individuazione dei componenti, il carattere cementante del legante, il rapporto legante/aggregato.

A tale scopo si impone, come primo passo, una completa caratterizzazione dei materiali che hanno concorso alla realizzazione della struttura in esame.

Fino agli anni 1970-80, la caratterizzazione delle malte storiche ha riposato, più che altro, su analisi chimiche per via umida, che, il più spesso, non hanno consentito un'approfondita conoscenza della natura dei differenti com-

ponenti della malta. Per una compiuta loro identificazione si può oggi ricorrere alla microscopia tramite polarizzazione della fluo-rescenza, che consente l'identificazione della differente natura degli inerti, di quella delle varie aggiunte minerali, del tipo di legante e della struttura dei pori (2).

Le tecniche di analisi automatizzate d'immagine, od i metodi manuali di analisi composizionale attraverso puntatore, e/o selezione di un particolare segmento di acquisizione dati, possono esser usate per determinare i rapporti di miscela, il rapporto legante/aggregato, la distribuzione delle dimensioni dell'aggregato e la presenza di vuoti d'aria (2).

La scelta della metodologia analitica più appropriata al caso specifico, dipende principalmente dal problema che deve esser risolto e dalla quantità di materiale disponibile.

Per una riproduzione fedele delle malte antiche è necessario conoscere le caratteristiche composizionali e di comportamento di quelle che furono impiegate per realizzare le relative strutture.

I leganti delle malte antiche

Sono state usate nel tempo: calce aerea, calce idraulica naturale e calce idraulica artificiale "pozzolanica". In epoca romana, per la preparazione delle malte è stata impiegata calce aerea, che veniva spenta con un quantitativo d'acqua in eccesso rispetto a quello stechiometrico, così da ottenere quella massa plastica, untuosa al tatto, cui si dà il nome di grassello. All'atto della messa in opera, ad esso veniva addizionato un inerte, od una sabbia attiva alla calce.

Le addizioni prevalentemente usate sono state: inerti calcarei, sabbia silicea, mattoni frantumati, vere pozzolane, in rapporto legante/aggregato variabile da 1:1.5 ad 1:3. Nelle malte di calce con addizione di inerti, a brevi stagionature viene eliminato l'eccesso d'acqua d'impasto ed ha luogo il ritiro. Quasi in pari tempo inizia il processo di carbonatazione, che trasformerà l'idrossido di calcio in calcite.

È ben noto che tali malte impiegano molti anni per carbonatarsi. A brevi stagionature (28 giorni) il grado di carbonatazione è ancora trascurabile. Tra 28 e 365 giorni di stagionatura si registra un notevole incremento di resistenza a compressione e flessione (3). Dal *De Architectura* di Marco Pollio Vitruvio (4) si rileva che i Romani avevano redatto una classificazione delle aggiunte. Le sabbie di Baia e di Cuma, ossia le vere pozzolane,venivano considerate atte a fornire, mescolate alla calce aerea, un impasto suscettibile di far presa ed indurire anche in ambiente marino, mentre altre sabbie erano considerate idonee a fornire malte per costruzioni soltanto in ambiente subaereo.

L'addizione alla calce aerea di prodotti con essa reattivi, a comportamento, cioè, "pozzolanico", modifica il meccanismo d'indurimento che, in massima parte, è addebitabile alla reazione del vetro soffiato con la calce ed alla conseguente formazione di un silicato di calcio idrato di bassa basicità e di alluminati di

calcio idrati, che impediscono il degrado delle strutture destinate a vivere in ambiente subacqueo.

Per opere destinate a venire in contatto con acque i Romani hanno fatto largo uso di malte a base di calce idraulica artificiale "pozzolanica", costituite da due parti di pozzolana ed una di calce, come testimoniano il Porto di Pozzuoli, il Molo Traiano di Civitavecchia, il Molo di Nerone ad Anzio ed altro. In assenza di vere pozzolane, i Romani hanno anche addizionato alla calce aerea frammenti di piastrelle e stoviglie, com'è probabilmente il caso delle malte di allettamento delle Mura Adriane in Bretagna (2).

Ma prima di scoprire le straordinarie virtù di alcune rocce piroclastiche: la pozzolana naturale, le pozzolane napoletane, i tufi vulcanici di Santorini e del Reno (Trass) (5), sin da tempi antichi Greci e Romani, per la preparazione di malte, hanno impiegato inerti silicei o calcarei.

Malte di calce aerea

La matrice legante di malte di calce antiche consta infatti, nella maggior parte dei casi, di calcite finemente cristallizzata, originatasi per carbonatazione della calce spenta. Dimensione e tessitura di tali cristalli è stata regolata dalle condizioni ambientali. Un aumento della frazione legante migliora, entro certi limiti, la resistenza e rende più compatta la struttura, interrotta, invece, dalla presenza di aggregati che ne intralciano la connessione. Il processo di carbonatazione viene facilitato dalla porosità, determinata dall'incremento della frazione legante, con conseguente miglioramento della resistenza meccanica.

Contrariamente alle malte di cemento, le malte di calce più porose denunziano anche più alta resistenza meccanica, a seguito di un aumento del grado di carbonatazione. La calcite di neoformazione riempie infatti i pori della pasta. Se però il rapporto legante/aggregato cresce troppo e supera quello di 2:1, il numero dei vuoti aumenta e la resistenza meccanica si abbassa.

Morfologia e distribuzione granulometrica dell'aggregato influenzano la resistenza della malta. Una morfologia a spigoli vivi, quale quella di aggregati calcarei, favorisce l'accomodamento nella matrice e la conseguente compattezza della struttura, ben più di una morfologia a grani tondeggianti, quale quella degli aggregati silicei.

Una distribuzione dell'aggregato compresa fra 0,1 ed 1 mm, ha consentito di raggiungere, dopo 400 giorni di stagionatura, una resistenza a compressione di 4N/mm^2, per malte con rapporto legante/aggregato 1:1 od 1:2 (3).

Porosità totale, distribuzione della dimensione dei pori e superficie specifica influenzano trasporto d'umidità e proprietà meccaniche. Distribuzione e volume dei pori regolano anche la resistenza al gelo. Il rilevamento della porosità delle malte antiche si presenta molto complesso, per effetto della varietà dei componenti adoperati, tutti con differente struttura dei pori. Sono stati rilevati pori capillari di dimensioni com-

prese fra 0,1 e 100 ì m (2), accomodati all'interno del legante ed all'interfaccia legante/aggregato. Tale porosità si sviluppa nelle prime fasi dell'indurimento, nel corso dell'essiccazione e dei processi d'idratazione e, in tempo successivo, è anche influenzata dal processo di carbonatazione. I pori superiori a 100 ì m si sviluppano per intrappolamento d'aria nel corso dell'impasto. All'aumentare del quantitativo d'acqua d'impasto aumenta anche la porosità ed il diametro dei pori. Paste con rapporto acqua/calce più alto assorbono anche un quantitativo d'acqua maggiore, ciò che può costituire una causa di degrado della struttura (6). A miscele per restauro a base di calce è stato recentemente proposto di addizionare anche idrossido di bario, in considerazione della più alta velocità di carbonatazione (7). Il carbonato di bario di neoformazione, direttamente legato alla superficie dei cristalli di calcite, aumenta anche la forza di coesione con la pietra originaria.

Malte di calce idraulica naturale

Più tardi è stata usata per secoli come legante di malte antiche anche calce idraulica naturale, ottenuta per trattamento termico di calcari, a moderato contenuto d'argilla (6.5-20%), a temperatura alquanto superiore a quella che presiede alla produzione della calce aerea (> 900°C).

La fase minerale rilevata in queste malte antiche risulta più comunemente il silicato di calcio idrato di bassa basicità. Esso provoca indurimento e genera una rete, nei cui vuoti si accomoda l'idrossido di calcio destinato a successiva carbonatazione. Anche quest'ultimo compartecipa all'indurimento, poiché solo una frazione della calce totale può combinarsi con la silice e l'allumina recate dall'argilla. La rete, nei cui vuoti alloggia la calce idrata, conferisce alla malta resistenza all'acqua (8).

I prodotti d'idratazione che si originano nelle malte che recano come legante calce idraulica naturale, differiscono soltanto quantitativamente da quelli che si neoformano per idratazione di miscele costituite da calce aerea e vere pozzolane nel rapporto 1:3. I costituenti che conferiscono possibilità di vita anche in ambiente subacqueo sono sempre il silicato di calcio idrato di bassa basicità e gli alluminati di calcio. Essi si formano infatti tanto per reazione nel forno di cottura fra ossido di calcio, silice ed allumina recate dalla frazione argilla, quanto, assai più lentamente, alla temperatura ordinaria, in presenza d'acqua, per reazione fra idrossido di calcio, silice ed allumina, recate dal vetro soffiato che costituisce la pozzolana.

Per interventi di restauro la calce idraulica naturale manifesta migliore compatibilità del cemento verso il materiale preesistente, così come buona compatibilità manifestano anche le calci idrauliche artificiali "pozzolaniche", siderurgiche, o quelle, che come aggiunta attiva, recano metacaolino. Verranno preferite per restauro di opere destinate a vivere in ambiente subacqueo o marino. A brevi stagionature (fino a 28 giorni), la resistenza meccanica di malte preparate con calce idraulica naturale,

a rapporto calce/aggregato 1:1 od 1:2 è, in massima parte, addebitabile all'idratazione dei silicati ed alluminati di calcio. A medio termine (28-182 giorni) la differenza non varia gran che, poiché è ancora scarsa la carbonatazione della calce libera. A lungo termine (182-365 giorni), la carbonatazione della calce ed il silicato di calcio idrato portano la resistenza meccanica a livelli significativi (9). Una distribuzione granulometrica dell'aggregato compresa fra 0,1 ed 1 mm innalza tale resistenza.

Un aumento del contenuto di legante aumenta la porosità della malta e, favorendo la carbonatazione della calce, incrementa la resistenza meccanica. Un aumento del contenuto d'aggregato favorisce la formazione di pori più grossi. Il rapporto più consigliabile legante/ aggregato appare pertanto quello di 1:2 (9).

Malte "bastarde"

Al fine di contrastare gli inconvenienti posti in luce dall'impiego di malte di calce, da un lato, e di quelle di cemento, dall'altro, è stato recentemente proposto di ricorrere a malte "bastarde"(8), (10) per restauri di opere d'arte storiche. Esse sono preparabili per miscelazione di calce idrata e di cemento Portland ed appaiono dotate di buona plasticità. Il cemento infatti è duro e non conferisce plasticità all'impasto.

Contrariamente alle malte cementizie, le malte "bastarde" ad alta percentuale di calce presentano un'ampia zona plastica che comporta flessibilità e risulta atta ad assorbire le sollecitazioni provocate dai "movimenti" delle murature antiche. Le malte "bastarde", grazie alla presenza anche del cemento, denunziano minor tempo di presa e d'indurimento ed una resistenza meccanica non molto più alta di quella delle malte di calce. Malte con più del 50% di cemento non presentano zona plastica, accusando comportamento elastico fino a rottura, perché l'aumento del contenuto di cemento restringe tale zona. Il rapporto legante/aggregato esercita una notevole influenza sui valori di resistenza meccanica. Il passaggio di tale rapporto da 1:4 ad 1:2 determina un aumento di resistenza dell'ordine del 40% (10).

Al fine di migliorare le proprietà meccaniche, sono recentemente stati studiati gli effetti della sostituzione del 10% di cemento Portland con fumo di silice, sulla microstruttura di malte "bastarde" con rapporti in volume cemento/ calce/ sabbia 1:1:6 (11).

È stato posto in luce che, a sette giorni, la resistenza risulta più bassa e la porosità più alta di quella di una malta di riferimento. A 28 giorni, però, la situazione si inverte. Aumenta la resistenza e la porosità si riduce. Ciò sembra addebitabile al decorso di una reazione "pozzolanica", con formazione di un silicato di calcio idrato di tipo I che, anziché all'interfaccia pasta/ aggregato, come nelle malte di cemento Portland prive di calce, si colloca invece nei pori capillari più grossi della pasta.

Conclusioni

Al fine di realizzare validi interventi di restauro di opere antiche, è buona

norma non ricorrere a malte di cemento che, per resistenza a compressione ben più elevata di quella delle malte preesistenti, per presenza di sali solubili e per una tendenza alla contrazione, causano un netto peggioramento delle strutture. È pertanto opportuno impiegare malte di calce preparate con materie prime quanto più possibile simili a quelle impiegate per la preparazione delle malte antiche, individuandone, mediante tecniche analitiche avanzate, il complesso dei componenti, il carattere cementante del legante, il rapporto legante/aggregato.

Idonee sembrano anche malte cosiddette "bastarde", preparabili per miscelazione di calce idrata e di cemento Portland, ad alta percentuale di calce. Esse, conservando un'ampia zona plastica, assicurano l'assorbimento dei "movimenti" cui vanno soggette le murature antiche

Bibliografia.

Sersale R., *La storia della calce dall'antichità ai nostri giorni*. Proceedings Intern. Lime Congress. Esagrafica, Roma, 5-22 (1990).

Elsen J., *Microscopy of historic mortars - a review.* Cem. Concr. Res., 36, 1416-1424 (2006).

Lanas J., Alvarez J.I. Masonry repair lime-based mortars: *Factors affecting the mechanical behaviour*. Cement Concrete Res., 33, 1867-1876 (2003).

Pollio Vitruvio M. *De Architectura*. Ed. F. Granger. De Loeb Classical Library. Cambridge University Press, 1931-45.

Sersale R., *Analogie costituzionali fra il "trass" renano ed il tufo giallo napoletano*. Rend. Acc. Sci. fis. mat., Napoli, 4, 26, 3-9 (1959).

Arandigoyen M., Pérez Bernel J.L., Bello Lopez M.A., Alvarez J.I. Lime-pastes with different kneading water: *Pore structure and capillary porosity*. Applied Surface Sci., 252, 1449-1459 (2005).

Karatasios I., Kilikoglou V., Colston B., Theoulakis P., Watt D., *Setting process of lime-based conservation mortars with barium hydroxide*. Cement Concrete Res., 37, 886-893 (2007).

Sersale R., *Degrado e restauro conservativo delle murature: il ruolo della Chimica Applicata ai 9.*

Lanas J., Pérez Bernal J.L., Bello M.A., Alvarez Galindo J.I., *Mechaical properties of natural hydraulic lime-based mortars*. Cement Concrete Res., 34, 2191-2201 (2004).

Arandigoyen M., Alvarez J.I., *Pore structure and mechanical properties of cement-lime mortars*. Cement Concrete Res., 37, 767-775 (2007).

Gleize P.J.P., Muller A., Roman H.R., *Microstructural investigation of silica fume-cement-lime mortars*. Cement Concrete Composites, 25, 171-175 (2003).

GIUSEPPE ZOLLO

Traiettorie tecnologiche nell'invenzione dell'orologio meccanico nel Medioevo

L'orologio meccanico è stato inventato intorno al 1300. Da Mumford (1934) è considerato la più grande realizzazione tecnica del medioevo. Le Goff (1960) vede nell'orologio medievale l'invenzione che accompagna la frattura culturale che dà avvio all'età moderna. Poche sono le informazioni certe su questa fondamentale invenzione. Sappiamo da un commento di Roberto Anglicano che prima del 1271 l'orologio meccanico non esisteva. Sappiamo altresì da una cronaca di Galvano Fiamma che nel 1336 un orologio batteva le ore dalla torre della Chiesa di San Gottardo a Milano. Un intervallo di 65 anni separa le due date. Diverse sono le ipotesi sulla genesi dell'orologio. Nessuna di esse è conclusiva. Il presente lavoro porta argomentazioni a supporto dell'ipotesi formulata da Robertson (1931), ripresa da Brusa (1978) e Dorhrn-van Rossum (1992), sulla derivazione del meccanismo da dispositivi di suoneria mossi da pesi ed installati su orologi ad acqua.

Flussi e cicli temporali

La percezione del tempo come flusso graduale di "qualcosa" è alla base dei dispositivi di misurazione del tempo prima dell'invenzione dell'orologio meccanico. L'ombra dello gnomone che cambia posizione col passare delle ore diurne. La candela che si consuma. La sabbia che fluisce nella clessidra. L'acqua che scorre nell'orologio ad acqua. Il tempo viene misurato da un movimento continuo.

L'esperienza del tempo come ciclo è complementare a quella del tempo come flusso. Il ciclo giorno/notte, il ciclo del mese lunare, il ciclo delle stagioni. Il tempo è visto come una ruota che gira e ripresenta di nuovo le situazioni passate. Il firmamento con le stelle che ruotano nel cielo, il sole che ruota intorno alla terra sono riferimenti potenti, che rimandano all'idea del movimento circolare come fondamento della macchina dell'universo. È necessario tenere a mente la forza di suggestione delle due metafore del tempo, come *acqua che scorre* e come *ruota che gira*, per comprendere la portata rivoluzionaria di un sistema di misura del tempo basato sul computo di oscillazioni.

L'orologio da torre medievale

Per comprendere cosa sia stato inventato nel medioevo conviene esaminare un orologio reale. L'orologio di Salisbury fa al caso nostro. È il più antico orologio che ci è pervenuto, fortunatamente in buono stato di conservazione (fig. 1). L'orologio è stato realizzato poco prima del 1386. Tutti i problemi tecnici sono stati già risolti, e l'orologio ha raggiunto una forma abbastanza sta-

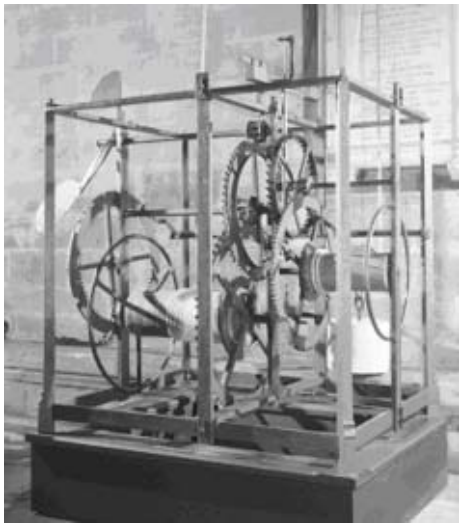


Fig.1 – L'orologio di Salisbury, 1386

bile. Nel corso dei secoli successivi esso sarà reso più complesso, ma i principi costruttivi rimarranno inalterati, fino al 1657, quando l'olandese Huygens utilizzò l'isocronismo del pendolo come sistema di regolazione. L'orologio di Salisbury fu costruito per battere una campana giorno e notte nella sequenza 1-12, 1-12. Non vi era alcun quadrante, né interno, né esterno.

L'orologio di Salisbury presenta con grande chiarezza tre dispositivi tecnici: il sistema del tempo, il sistema della suoneria e il sistema di controllo. I ruotismi sono sostenuti da una gabbia di metallo. Il Sistema del Tempo, che è la vera e propria invenzione medievale, è composto da tre sottosistemi: Il peso motore con la ruota maestra del tempo; la ruota caterina; la verga e il foliot (fig.2).

Il primo sottosistema (T1) è costituito da ruota dentata, detta Maestra del Tempo (T1.4), di 64,8 cm di diametro e con 100 denti, imperniata sullo stesso

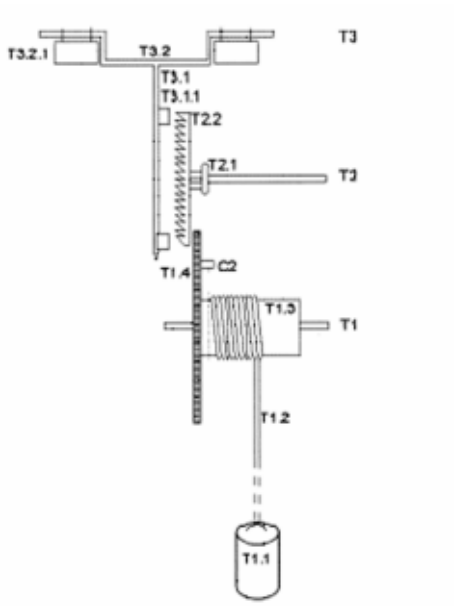


Fig. 2 – Il sistema del tempo

asse (detto albero del tempo) di un tamburo di legno (T1.3), attorno a cui è avvolta una corda (T1.2), alla cui estremità è legato un peso (T1.1) di circa 36 chili. Il secondo sottosistema (T2) è costituito da un albero orizzontale su cui sono imperniati sia un pignone a gabbia di scoiattolo con dieci pironi e una ruota (T2.2), detta ruota di scappamento o ruota caterina, che porta 45 denti a sega, disposti lateralmente come una corona. Poiché il rapporto tra i denti della maestra del tempo e i pironi del pignone dello scappamento è 100 a 10, avremo che in un'ora la maestra del tempo fa un giro e la ruota caterina dieci giri. Il terzo sottosistema (T3) è costituito da due aste ortogonali: un'asta verticale (T3.1), detto verga, ed un'asta orizzontale (T3.3), detto bilancia o foliot. Le due aste formano una struttura a croce. Sul-

l'asta verticale sono infisse due palette distanziate verticalmente in modo da ingranare alternativamente i denti a sega della ruota caterina. La due palette formano tra loro un angolo di circa 100°. Poiché in un'ora la ruota caterina fa dieci giri, ogni paletta incontrerà i denti della ruota 450 volte. Ad ogni urto vi è un'alternanza nel movimento della verga e della bilancia, per un totale di 900 alternanze ad ora. Ogni alternanza dura quindi 4 secondi. La barra trasversale, cioè il foliot, è solidale alla verga ed è tenuto sospeso per il suo centro da una stringa, di solito di seta. Alle due estremità dell'asse orizzontale sono appesi due pesi, che possono essere spostati lungo la barra, in modo da determinare il periodo di alternanza.

La rotazione della ruota caterina, messa in moto dal peso motore, spinge un dente della ruota contro una delle palette della verga (ipotizziamo, la superiore). Il colpo del dente sulla paletta è avvertito col caratteristico "tic". Il foliot orizzontale, solidale alla verga, oppone una resistenza dovuta all'inerzia dei pesi posti sulle braccia del foliot. Ma la forza peso prevale, spingendo ulteriormente il dente finché questo riesce a svincolarsi dalla paletta superiore. Nel frattempo la rotazione della verga sul proprio asse spinge la paletta inferiore sul percorso di un altro dente della ruota caterina, diametralmente opposto al primo. Quando la paletta inferiore incontra il secondo dente si sente con chiarezza il "tac" dell'urto. E così via. È essenziale che la ruota caterina abbia un numero dispari di denti. Ciò consente ai denti della ruota caterina di presentarsi in tempi sfasati all'incontro con le palette superiore ed inferiore della verga. La grande intuizione è l'aver compreso la possibilità di trasformare il moto accelerato del peso in moto uniforme mediante l'oscillazione del foliot.

La regolazione dell'orologio avveniva in due modi. Una prima regolazione più grossolana modificando il peso-motore. Aumentando il peso si poteva tener conto dell'usura e degli attriti, che tendono a ritardare il movimento. Una seconda regolazione fine, muovendo verso l'esterno o verso l'interno i pesi del foliot, a seconda se bisognava ritardare o accelerare il movimento. Il maestro orologiaio procedeva per tentativi.

Traiettorie tecnologiche

L'orologio è una macchina troppo complessa perché possa essere stata inventata già perfezionata in tutti i suoi componenti. Beeson (1977) correttamente afferma che gli elementi costituenti l'orologio da torre esistevano già nelle tecnologie e nei meccanismi del tempo, ma non erano stati ancora riconosciuti per le funzioni che vennero poi ad essi attribuite negli orologi a peso. Sfortunatamente sposa frettolosamente l'ipotesi di Needham (1960) che la forma del foliot possa essere derivata dai bracci di un argano.

Per formulare un'ipotesi attendibile sulla genesi dell'orologio l'artefatto tecnico va analizzato entro le tradizioni tecniche medievali. Nel percorso che porta all'invenzione dell'orologio meccanico dobbiamo fare i conti con tre tra-

iettorie tecnologiche. Una prima traiettoria è portata avanti dagli astronomi per realizzare una ruota che riproducesse il moto del firmamento in modo da predire la posizione degli astri. Una seconda traiettoria, molto più antica, è imperniata sullo sviluppo degli orologi ad acqua di tradizione araba. Infine, una terza è originata dal problema pratico di realizzare un marcatempo affidabile per le comunità monacali.

La prima traiettoria: la costruzione della Machina Mundi

Il termine *Machina Mundi* viene coniato da Lucrezio nel *De Rerum Natura* (Libro V, verso 96). L'intenzione di Lucrezio era veicolare una visione del cosmo come un sistema regolato da leggi e sottratto ai capricci degli dei. Ed è con la stessa accezione che si ritrova il termine nel medioevo.

Robertus Grosseteste (1170-1253), fondatore della tradizione scientifica medievale di Oxford, utilizza il termine nel trattato astronomico "*De sphera*", per esprimere il punto di vista sulla intrinseca razionalità dell'universo. La *machina mundi* attira le migliori menti del tempo. Roberto l'Anglicano così descrive lo stato della ricerca nel 1271: "Non è ancora possibile per qualsivoglia orologio seguire il corso del firmamento con completa accuratezza. Eppure gli orologiai stanno cercando di realizzare una ruota che dovrebbe fare una completa rivoluzione per ogni circolo equinoziale, senza tuttavia riuscire a perfezionare abbastanza i propri meccanismi. Ma, se ci riuscissero, esso sarebbe senz'altro un orologio accurato e migliore di un astrolabio o di ogni strumento astronomico nel segnare le ore, solo se qualcuno conoscesse come farlo col metodo anzidetto. Il metodo per fare un orologio di tal fatta dovrebbe essere questo, che un uomo cominci col realizzare un disco di peso uniforme in ogni sua parte come meglio possibile può essere fatto. Quindi un peso di piombo dovrebbe essere appeso all'asse della ruota in modo che questa faccia una completa rivoluzione da un'alba all'altra […]"[1]. Dunque, nel 1271 la macchina dell'universo era oggetto di forte attenzione da parte degli studiosi, ma non era stata ancora inventata.

Quasi certamente non è stata inventata neanche prima del 1277, se Alfonso X di Castiglia, detto "Il Saggio" non ha descritto il meccanismo nel suo *Libros de Saber de Astronomica*, dove riassume le invenzioni passate e presenti relative allo studio dell'astronomia. Anzi, il sistema descritto è un ingegnoso meccanismo basato sul flusso viscoso del mercurio per regolare il movimento di una ruota motrice. Tale ruota fa girare un astrolabio, in cui sono segnate le posizioni delle stelle. Bedini (1962) fornisce una dettagliata descrizione delle alterne fortune di una tale tecnica nella storia dell'orologeria.

Si comprende l'importanza della *Machina Mundi* se si fa riferimento al modello dell'universo elaborato nel medioevo, e di cui abbiamo una perfetta testimonianza nella *Divina Commedia*. Un fatto rilevante di tutta la costruzione cosmologica medievale è l'assunto che

i movimenti dei cieli influenzino gli accadimenti sulla Terra. E non solo per quanto riguarda gli aspetti legati alla fisica del movimento, come nell'alternarsi del giorno e della notte, o nel ritmo delle stagioni, nelle eclissi, ma in modo più diretto e puntuale. La conoscenza del movimento degli astri, la corretta previsione dei solstizi e degli equinozi erano necessari per determinare il tempo liturgico, in particolare il *computus* della Pasqua (la prima domenica dopo il plenilunio successivo all'equinozio di primavera) e delle festività collegate. Ma, ancora più importante, i movimenti degli astri influenzavano i destini degli uomini. Tant'è che l'astronomia non è distinguibile spesso dall'astrologia, anche se tale pratica è guardata con sospetto sia dai sapienti che dalle gerarchie ecclesiastiche, perché metteva in crisi la dottrina del libero arbitrio.

Nella ricerca della *machina mundi* un posto particolare merita Richard de Wallingford (1292-1336). Figlio di un fabbro, riuscì a entrare nell'Università di Oxford e a diventare abate di St. Albans nel 1326. Abilissimo matematico, astronomo e tecnologo, Richard progettò e cominciò a costruire un sofisticato orologio astronomico, che fu completato circa vent'anni dopo la sua morte da William of Walsham. Richard descrisse il progetto nel *Tractatus Horologii Astronomici* (1327). La parte più significativa del manoscritto è costituita da un insieme di fogli che contengono disegni dell'orologio astronomico. Lo scappamento dell'astrario di Richard è basato su un dispositivo composto da un "semicirculus" e da una "hasta strob". Il meccanismo dello scappamento è formato da una coppia di ruote, sulle cui circonferenze sono inseriti dei pioli, come in fig. 3. Sull'asta della verga è innestato il "semicirculus" che viene spinto dai pioli, in modo da generare un movimento alternato.

È la prima descrizione di scappamento giunta fino a noi. Tuttavia, nessun altra traccia dello scappamento di Richard si trova nella storia dell'orologeria. Lo scappamento dimenticato è stato reinventato da Leonardo oltre 150 anni dopo. Secondo North, lo scappamento di Richard è stato ispirato dal tamburo a pioli che attivava la campana di un carillon.

Sempre secondo North, ad esso spetterebbe la primogenitura nell'invenzione dell'orologio meccanico, perché facilmente derivabile dal carillon a tamburo e di più facile da realizzare. In re-

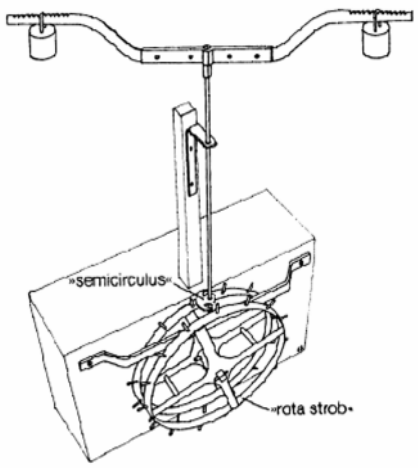


Fig. 3 – Lo scappamento di Richard of Wallingford

altà, dal punto di vista della storia della tecnologia, un'altra interpretazione è possibile. Quando un problema è all'ordine del giorno, molte soluzioni concorrenti vengono alla luce dai diversi inventori all'opera.

Ognuna di queste soluzioni dà luogo a una sua traiettoria tecnologica. Ma solo alcune soluzioni sopravvivono alla pressione selettiva. Nel tempo una di queste si afferma come *dominant design*.

Quello che accade tra l'ultimo quarto del XIII secolo e il primo quarto del XIV è che la comunità degli astronomi e quella degli orologiai erano alla ricerca di un sistema affidabile per realizzare una ruota con moto regolare, vuoi per riprodurre il movimenti degli astri, vuoi per realizzare uno svegliarino automatico. Tra i diversi tentativi, la soluzione tecnica della verga e foliot risultò vincente.

Lo sforzo per la realizzazione di un astrario che riproducesse il movimento dei cieli, viene coronato con successo da Giovanni de Dondi nel 1365. Philippe de Maisières, amico di Giovanni de Dondi, scrive nel 1385 che l'orologio è "una così grande meraviglia, che i più importanti astronomi vengono dalle regioni più remote con grande deferenza per ammirarlo…". Giovanni de Dondi descrive accuratamente l'astrario in un manoscritto redatto tra il 1348 e il 1364. Dedica molte pagine ad illustrare i meccanismi dei movimenti dei pianeti, ma fornisce solo alcuni cenni sul movimento del tempo, considerata una tecnologia già consolidata.

La seconda traiettoria: la tradizione araba degli orologi ad acqua

L'espansione dell'Islam nel settimo secolo, con l'unificazione culturale di buona parte del Mediterraneo, consentì la circolazione delle conoscenze dall'oriente verso l'occidente su una scala sconosciuta dai tempi dell'impero romano. L'area culturale del latino, corrispondente all'odierna Europa, entrò in contatto con la ricca cultura araba, in cui le conoscenze della Grecia classica si fondevano con la scienza e la tecnica alessandrina, con la passione bizantina per gli automi meccanici, con le tradizioni scientifiche siriane e persiane, fino ai contributi scientifici e tecnologici provenienti dall'India e dalla Cina. La Spagna e l'Italia, divennero il luogo privilegiato attraverso cui il flusso delle conoscenze arabe penetra nella più arretrata area linguistica del latino.

Una prima notizia del livello di sviluppo della tecnologia araba risale all'807. Il sultano Harun-al-Rashid donò a Carlomagno un orologio di ottone di meravigliosa concezione meccanica. Ugualmente degno di nota è il regalo che nel 1232 il sultano al-Ashraf di Damasco fece all'imperatore Federico II. Un dispositivo che riproduceva il movimento del cielo, del sole e della luna in un cielo artificiale, e che consentiva di leggere le ore del giorno e della notte. Il re normanno Ruggero II, facendo tesoro della tradizione araba, eresse un orologio ad acqua a Palermo nel 1142. Numerose sono le testimonianze di orologi ad acqua nelle città del mondo musulmano. Antioca, Gaza, Damasco, Fez era-

no provviste di orologi monumentali ad acqua prima del quattordicesimo secolo.

Due libri testimoniano la capacità degli scienziati arabi nel domare la forza motrice dell'acqua, sviluppando i meccanismi per regolare il flusso, per produrre movimenti circolari, per trasmettere il moto, per trasformarlo in modo alternato, per azionare automatismi complessi. "*Il Libro dei Segreti sui Risultati del Pensiero*" dell'undicesimo secolo, e "*Il Libro della Conoscenza di Dispositivi Meccanici Ingegnosi*" di al-Jazari, del 1204-1206.

Un'ulteriore testimonianza è "*Il Libro di Archimede sulla Costruzione degli Orologi ad Acqua*".Il manoscritto redatto nel XII sec. presenta una straordinaria sintesi della scienza greca, bizantina, persiana ed araba. L'orologio ad acqua ivi descritto esibisce una profonda conoscenza della tecnologia di controllo del flusso dell'acqua. In particolare descrive come regolare il deflusso dell'acqua da un contenitore mediante un ingegnoso dispositivo basato su una valvola a cono. Tale *scappamento* ad acqua consente la discesa uniforme di un galleggiante posta nel contenitore e quindi, mediante corda e tamburo, la realizzazione di un moto rotatorio uniforme di una ruota.

Due sono i principali problemi tecnici nell'uso della valvola. Il primo è la purezza dell'acqua. È sufficiente una piccola impurità a bloccare il funzionamento della valvola. Il secondo, avvertito in Europa e non in Arabia, è il gelo. Di notte in inverno l'acqua gela, rendendo inutilizzabile l'orologio per periodi prolungati.

Vi sono scarse informazioni sulle caratteristiche tecniche degli orologi ad acqua usati in ambiente monastico. Il solo frammento che fornisce un qualche dettaglio è in un codice proveniente dal monastero benedettino di S. Maria in Ripoll in Catalogna. Il codice dovrebbe risalire all'undicesimo secolo. Fornisce istruzioni su come costruire un orologio ad acqua. Purtroppo manca delle pagine iniziali. La parte pervenuta descrive il meccanismo della suoneria. Ad un tamburo orizzontale è avvolta una corda collegata ad un peso. Il tamburo ruota al cadere del peso. Alle estremità del tamburo sono posizionati due dischi con pioli, che si alternano nel suonare piccole campane.

Il meccanismo descritto sembra essere molto simile ad un disegno scoperto in un manoscritto catalano del XIV

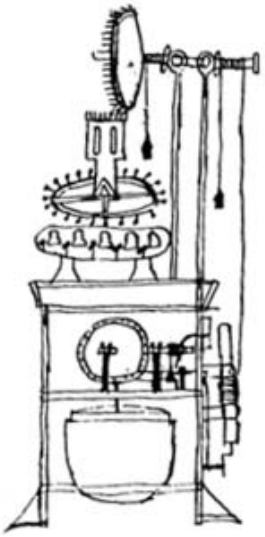


Fig. 4 – Orologio ad acqua benedettino

secolo[2], che già mostra i tre sistemi tipici dell'orologio meccanico. (fig. 4). In basso il sistema del tempo mosso ad acqua, in alto il sistema della suoneria, e, tra i due, il sistema di controllo del suono.

Il sistema del tempo ad acqua è molto rozzo. Non è visibile l'orifizio di deflusso dell'acqua. Il disegno mostra chiaramente il sistema di leve che mette in funzione la suoneria. Un piolo sulla ruota del tempo fa sollevare un'asta, che a sua volta solleva una seconda leva e libera un asse, intorno a cui è avvolta una corda che sale verso l'alto per avvolgersi ad una seconda asta in alto e terminare infine con un peso. All'asta è imperniata una ruota verticale che ingrana una ruota orizzontale. Solidale con quest'ultima è una seconda ruota provvista di pioli sporgenti con una testina ribattuta, simili a chiodi. Immediatamente sotto la ruota con i pioli vi è una sequenza di cinque piccole campane, ognuna col suo martelletto, le cui aste sono solidali a quella che sembrerebbe una ruota. Non è chiaro come si produca il suono. L'ipotesi più plausibile è che la ruota con i pioli scuota le campanelle che battono contro i martelletti.

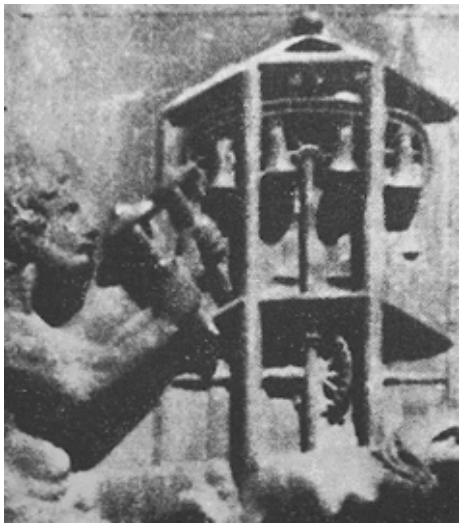


Fig.5 – Carillon da un bassorilievo sul Duomo di Orvieto

L'orologio è di dimensioni contenute, ed assolve la funzione di svegliarino. La scienza araba, che aveva portato alla costruzione degli orologi monumentali e all'invenzione (o almeno alla sua riscoperta) della valvola a cono, non sembra avere prodotto alcuna influenza.

La terza traiettoria: Lo svegliarino monastico

La regola benedettina ripartiva la vita dei monaci in fasce di attività, dove l'officio è rigidamente scandito. Non stupisca l'attenzione delle comunità monacali verso un meccanismo in grado di scandire in modo preciso il passare del tempo, soprattutto quando non era possibile desumerlo da eventi naturali. Una volta accertata l'ora era necessario avvertire la comunità. La campana, la campanella e il carillon sono i sistemi usati allo scopo.

Sulla facciata del Duomo di Orvieto vi è un bassorilievo marmoreo che riproduce un suonatore che solleva dei martelli in atto di battere delle campane (Fig. 5). Accanto alla figura del suonatore è riprodotta con accurato realismo una struttura a pianta esagonale. Ecco la descrizione che ne dà Giuseppe Brusa (1978): "La figura del suonatore è simbolica. Si tratta di una delle prime

rappresentazione di un orologio meccanico, con trasmissione di moto (dato da un peso, omesso per semplicità) mediante ruota corona e pignone a lanterna che fanno ruotare l'albero e il cerchio della suoneria con otto campane.

Struttura a pianta esagonale e albero della ruota corona posto diagonalmente tra montanti diametralmente opposti. Testimonia la probabile diffusione della pratica di brevi concerti di campane a determinate ore del giorno in epoca medievale." (pag. 405). Non è chiaro se la figura col martello sia decorativa o funzionale. Il meccanismo del bassorilievo di Orvieto suggerisce due possibilità. La prima, che la ruota della campana venga fatta girare, così ché la forza centrifuga spinga le campane contro il martello facendole risuonare. La seconda, che la ruota corona venga mossa con movimento alternato, così da scuotere le campane provviste di un battaglio interno. In tal caso la figura sarebbe solo decorativa.

In uno svegliarino monastico del XV secolo, riprodotto dal Brusa (1978), è conservato il passo successivo. Si intravede una ruota caterina ed un'asta in posizione verticale provvista di due palette, che ingranano i denti diametralmente opposti della ruota caterina. Alla estremità superiore della verga è infisso il martello della campana (fig. 6).

Allo scoccare dell'allarme la ruota caterina viene messa in azione e spinge alternativamente le palette della verga. In tal modo il martello viene alternativamente spinto contro la campanella e tirato via. La descrizione del movimento è sorprendentemente simile a quella che Dante dà nel canto X del Paradiso: *che l'una parte l'altra tira ed urge / tin tin sonando con sì dolce nota*.
Il sistema formato dalla ruota caterina e dalla verga aveva il compito di imprimere il movimento oscillatorio al martello della campana. Così si semplificava in modo notevole il meccanismo del carillon, che prevedeva un moto circolare della ruota delle campane ed un martelletto esterno. È probabile che tale sistema nella versione primitiva potesse essere azionato da un orologio ad acqua.

Veniamo al punto decisivo. L'utilizzazione del sistema "ruota caterina/ verga con martello" per regolare la ruota del tempo. Per realizzare questo passo era necessario notare che l'oscillazione del martello bloccava per qualche istante

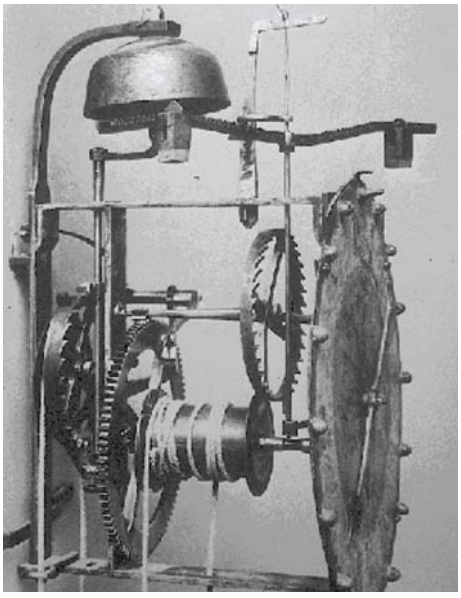


Fig. 6 – Svegliarino monastico

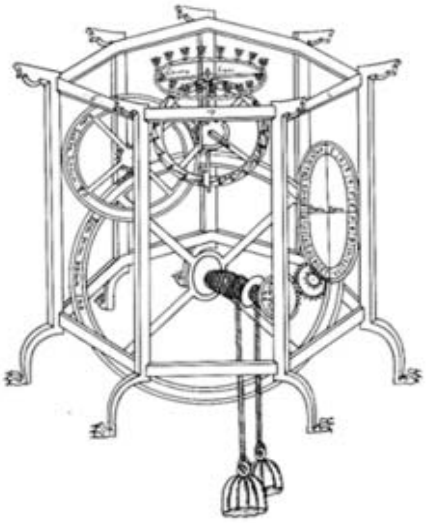


Fig. 7 – Astrario di Giovanni de Dondi

la discesa del peso motore. Alcuni indizi vengono dal manoscritto di Giovanni de Dondi. Nel capitolo III, Giovanni de Dondi, descrive sommariamente il meccanismo del tempo: "Avendo realizzato la struttura del modello così come descritta, rimane da collocare un comune orologio nella sua parte inferiore. Il metodo per realizzarlo non sarà discusso in dettaglio come il resto, poiché la sua costruzione è ben nota, e vi sono molte varietà di esso e, comunque esso venga fatto, la diversità dei metodi non ricade negli scopi di questo lavoro, dal momento che non desideriamo nient'altro da esso che un movimento uniforme ed uguale di una ruota che dovrà completare il suo corso nello spazio di un giorno naturale." Fin qui Dondi ci fornisce due informazioni: la costruzione di un orologio è ben nota; vi sono molte varietà e molti modi per realizzarlo. In altri termini l'orologio aveva superato da tempo la sua vita sperimentale. La tecnica per realizzare il movimento regolare di una ruota era conosciuto. Giovanni de Dondi riteneva che un lettore pratico di orologeria era in grado di realizzarlo senza molte spiegazioni. La seconda affermazione invece ci dice che non si è ancora affermato un progetto dominante. Infatti vi sono molti modi per farlo. E, probabilmente, lo stesso Giovanni de Dondi, ne doveva aver sperimentati diversi.

Un ulteriore indizio ci viene dalla descrizione dello scappamento: "Questa è la ruota che gli orologiai comune-mente chiamano ruota del freno. […]. Vicino alla ruota del freno io ho piazzato il freno, che è un piccolo albero come una piccola asta in posizione verticale, con due appendici a foggia di chiavi, una di fronte il dente superiore della ruota e l'altro di fronte quello inferiore, così che il dente superiore ed inferiore colpiscono alternativamente dette appendici, […]. L'albero del freno ha alla sua estremità superiore due braccia, ed attaccata ad esse un cerchio sottile, come una corona, che è mossa avanti ed indietro insieme all'albero, ed è così capace di trattanere il moto della ruota". Il nome che Dondi dà alla ruota è "corona freni. Il disegno riportato nel manoscritto mostra tutto il sistema (fig. 7).

Non si può fare a meno di notare come la *corona freni* sia somigliante al meccanismo del carillon. È sufficiente appendervi alcune campanelle ed abbiamo il carillon. Perché Dondi ha usato la ruota e non la barra del foliot con i pesi regolabili? Il foliot avrebbe consentito una regolazione fine del movimento sen-

za intervenire sul peso. Secondo North (2005, pag. 178) Dondi potrebbe aver utilizzato una ruota riuscita male di uno scappamento precedente. Un'ipotesi azzardata, data l'estrema cura di tutto il meccanismo. Altre sono le considerazioni da fare in proposito. Primo, il meccanismo è difficilmente accessibile e quindi la regolazione attraverso i pesi risulta difficoltosa. Secondo, esisteva una tradizione di realizzare lo scappamento con la ruota corona, accanto a quella del foliot. Questa ipotesi è confermata dalle immagini riportate dal Brusa, che riproducono alcuni svegliarini con la ruota corona (fig. 36/39). Poiché la ruota corona è più difficilmente regola-bile del foliot a pesi è da supporre che il suo uso precede quello del foliot.

Conclusione

Nell'invenzione dell'orologio da torre si intrecciano tre traiettorie tecnologiche. La prima tradizione scientifica e tecnologica di astronomica impegnata nel comprendere e realizzare la *machina mundi*. La seconda tradizione dell'orologio ad acqua, che veniva dalle ricerche ellenistiche, poi alimentata da studiosi arabi. La ricca miniera di soluzioni meccaniche di questa tradizione appare dispersa nel XIII secolo. Sopravvivono solo esempi di orologi ad acqua di piccole dimensioni, che, in ogni caso, presentavano già alla fine del XIII sec. i principali sistemi presenti nell'orologio meccanico: il Sistema del tempo, il Sistema della suoneria, il Sistema di controllo. La terza tradizione era quella dei tecnici che operavano nelle comunità benedettine, e che sopraintendevano agli apparati tecnici del monastero, con competenze nella forgiatura dei metalli, nella progettazione di mulini, nella realizzazione di torchi e nella misurazione del tempo. Tra questi, anche la realizzazione di carillon, di suonerie, di orologi ad acqua. Probabilmente da questa capacità tecnica molto pratica è nato lo scappamento. L'ipotesi formulata nel presente lavoro è che il movimento rotatorio delle campane del carillon sia stato sostituito da un movimento oscillante mediante verga con palette. Successivamente, una ulteriore osservazione ha messo in evidenza l'opportunità di utilizzare il cerchio delle campane come *corona freni* per regolare la discesa del peso motore. Un terzo passo avrebbe portato ad un ulteriore raffinamento sostituendo la corona con un foliot a pesi regolabili. Una volta raggiunto il disegno dominante l'orologio pubblico da torre comincerà a diffondersi rapidamente in tutta l'Europa.

Bibliografia

S.A. BEDINI, *"The Compartmented Cyclindrical Clepsydra"*, Technology and Culture, vol. III, no. 2, Spring 1962, pp. 115-141.

C.F.C. BEESON, *English Church Clocks 1280-1850*, Ashford Kent England, Brant Wright Associates Ltd., 1977.

C.F.C. BEESON, *Perpignan 1356. The Making of a Clock and Bell for the King's Castle*, Ramsgate, Antiquarian Horological Society, 1982.

G. BRUSA, *L'arte dell'orologeria in Europa*, Busto Arsizio, Bramante, 1978.

G. BRUSA, (con la collaborazione di L. Magistretti) *Huygens e lo storico evento dell'invenzione dell'orologio a pendolo*, La voce di Hora, n. 17, Dicembre 2004, pp.3-35.

G. DOHRN-VAN ROSSUM, *History of the Hour. Clocks and Modern Temporal Orders*, Chicago, Chicago University Press, 1996 (Ed. or. 1992. Trad. di Thomas Dunlap).

D.R. HILL (edited & translated by), *On the Construction of Water-Clocks. Kitâb Arshimîdas fî'amal albinkamât*, London, Turner & Devereux, 1976.

D.S. LANDES, *Revolution in Time. Clocks and the Making of the Modern World*, Cambridge (MA), Belnkap Press, 1983.

D.C. LINDBERG, *The Beginning of the Western Science, Chicago*, University Press, 1992.

H.A. LLOYD, *Some Outstanding Clocks over Seven Hendrends Years 1250-1950*, London, Leonard Hill, 1958.

A. J: GUREVIÈ, *Le categorie della cultura medievale*, Milano, Boringhieri, 2007.

J. LE GOFF, *Nel Medioevo: tempo della Chiesa e tempo del mercante*, in J. Le Goff, *Tempo della Chiesa e tempo del mercante. Saggi sul lavoro e la cultura nel Medioevo*, Milano, Einaudi, 1977 (Ed. or. 1960).

L. MUMFORD, *Tecnica e Cultura*, Milano, Il Saggiatore, 1961 (ed. or. 1934).

J. Needham, Wang Ling & D.J. Price, *Heavenly Clockwork*. Cambridge, University Press, 1960.

J. NORTH, *God's Clockmaker. Richard of Wallingford and the Invention of Time*, London, Hambledon and London, 2005.

J.D. ROBERTSON, *The Evolution of Clockwork*, London, 1931.

A. UNGERER, *Les Horloges Astronomique et Monumentales les plus Remarquables De l'Antiquité jusqu'à nos jours*, Strasbourg, chez l'auteur, 1931.

[1] In Lloyd, 1958, p. 5.

[2] Il disegno è presente sul verso dell'ultimo foglio di una compilazione legislativa realizzata durante il regno del re Jaume II di Catalogna (1291-1327). Fonte: Archivio della Corona d'Aragona, Canc. Caixes de leg. No. 2, Barcellona. Foto tratta dall'articolo di E. Farré-Olivé, "Medieval Catalan Clepsydra", *Antiquarian Horology*, 18 (1989). Il disegno è citato e riprodotto da G. Dohrn-van Rossum (1996), pag. 66-67, e da J. North (2005), pag. 149.

CESARE ROSSI, MICHELA CIGOLA, MARCO CECCARELLI

Alcune tappe verso l'automazione

Introduzione

Una eccellente motivazione allo studio dell'evoluzione delle macchine e dei meccanismi può essere trovata nelle parole di A. P. Usher, celebre studioso della storia delle invenzioni. Egli sosteneva che l'invenzione meccanica è una innovazione di tipo particolare; essa potrebbe, in una visione superficiale, sembrare solo un aspetto molto limitato di un problema generale nel campo del fiorire di nuove idee di pensiero ed azioni. Invece l'invenzione nel campo della meccanica (egli sostiene e noi con lui) è largamente rappresentativa di ogni aspetto del processo generale delle invenzioni. Potrebbe sembrare che, ai più bassi livelli, le invenzioni meccaniche non richiedano molto più delle abilità necessarie alla costruzione di utensili e siano eminentemente empiriche; anche lo sviluppo di meccanismi piuttosto complessi potrebbe sembrare che non richieda pensieri astratti o conoscenze scientifiche organizzate.

Ma un giudizio del genere sarebbe, appunto, superficiale: in realtà concetti e conoscenze "astratte" esercitano una concreta influenza sul processo dell'invenzione meccanica, qualunque essa sia, tanto che, anche in secoli lontani è possibile riconoscere con chiarezza la presenza di conoscenze sufficienti per operare una distinzione tra le scienze pure e quelle applicate.

Dunque lo studio di macchine e meccanismi del passato ci consente, tra le altre cose, di ripercorrere e comprendere un po' dell'evoluzione del pensiero del genere umano nonché di riconoscere il nostro debito verso gli studiosi che ci hanno preceduto per molte delle realizzazioni che utilizziamo nel nostro tempo. In questo lavoro vengono presentate alcune realizzazioni che hanno preceduto l'automazione rappresen-tando alcune delle tappe verso di essa.

La movimentazione dell'acqua

Una delle prime esigenze che si sono presentate all'umanità appena affrancata dai bisogni più urgenti è stata quella di sollevare masse d'acqua, anche considerevoli, per creare serbatoi di accumulo da utilizzare per diversi scopi, primo dei quali l'irrigazione dei campi. In figura 1 è rappresentato il primo dispositivo (se ne hanno notizie attorno al 1550 A.C. in Egitto) per sollevare acqua da un pozzo senza esercitare uno sforzo eccessivo.



Fig.1- Antico dispositivo per il sollevamento acqua da un pozzo [1]

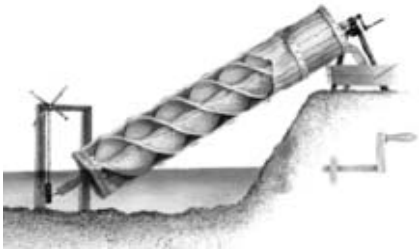


Fig. 2 – Vite di Archimede per il sollevamento acqua [6, 30]



Fig. 3 – Pompa, reperti di Huelva Valverde

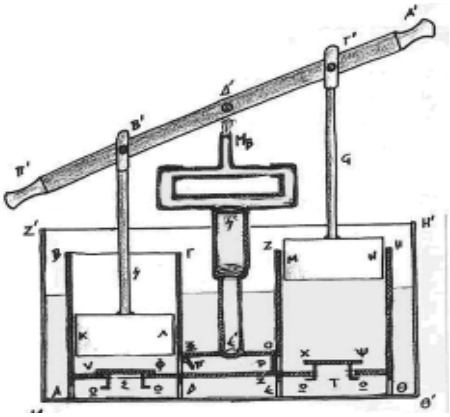


Fig. 4 – Pompa a pistoni, schema

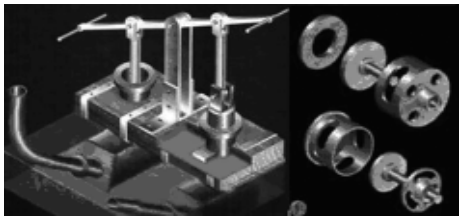


Fig.5 – Pompa a pistoni, ricostruzione [IX]

Un dispositivo del genere, ancora in uso presso molte regioni del mondo non industrializzato, basta appena ad abbeverare pochi animali ed ad irrigare, forse, un piccolo campo. Le prime realizzazioni idonee a muovere portate d'acqua più consistenti sono dovute ai Greci. Nella figura 2 è mostrata un'applicazione della vite di Archimede. Anche il problema di ottenere pressioni elevate fu risolto in epoca antica. Nella figura 3 sono riportate le immagini alcune di una pompa a pistoni, a doppio effetto, rinvenute in una miniera di epoca romana a Huelva Valverde (Spagna) il cui principio di funzionamento è mostrato nella figura 4. Una ricostruzione di questa macchina effettuata dall'Ing. F. Russo [3, IX] è mostrata in figura 5 .

Come si può osservare, questa pompa è dotata di valvole automatiche che, per il loro funzionamento, dovevano essere realizzate con tolleranze di fabbricazione alquanto più elevate di quelle che normalmente si immagina fossero possibili in epoca romana. La macchina in questione è descritta da Vitruvio ed è attribuita a Ctesibio. Le macchine fin qui descritte non possono realizzare portate molto elevate perché sono, comunque, mosse da energia muscolare (umana o animale). Ma, più o meno nello stesso periodo furono ideate le ruote ad acqua: macchine che anticipano le attuali turbine idrauliche trasformando l'energia di un corso d'acqua in lavoro meccanico. Una di queste, descritta da Vitruvio, è mostrata in fig. 6.

Le ruote ad acqua dell'epoca greco-romana furono impiegate prevalen-

temente per muovere macine per cereali e costituiscono, pertanto, uno dei primi passi verso la meccanizzazione. Non mancano, però anche esempi di impieghi diversi; la macchina rappre-sentata in figura 7, ed attribuita a Filone di Alessandria, è un esempio di macchina per il sollevamento dell'acqua mossa da una ruota ad acqua. Questa macchina è costituita da una ruota ad acqua mossa dalla corrente di un corso d'acqua che è accoppiata ad una macchina per il sollevamento dell'acqua. Anche questa macchina costituisce uno dei primi esempi di meccanizzazione.

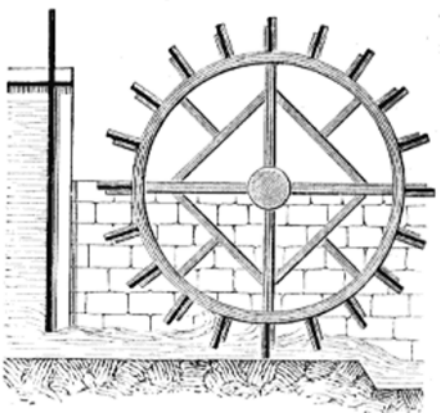


Fig. 6 – Ruota ad acqua di epoca romana

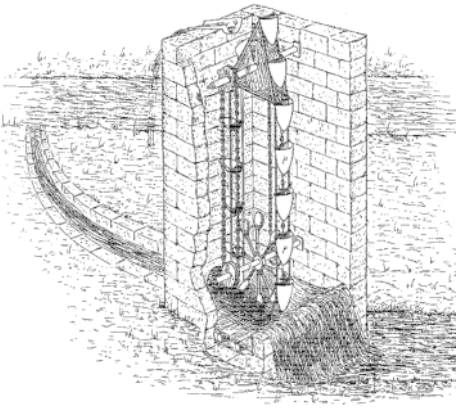


Fig. 7 – Macchina di sollevamento acqua mossa da una turbina idraulica

Orologi

Il primo strumento capace di misurare il tempo indipendente dal sole è stato la clessidra. Normalmente, a questo termine si associa un oggetto nel quale della sabbia scorre da un'ampolla ad un'altra; tuttavia il termine clessidra viene dal greco antico κλεψσυδρα (κλε–πτω + υδρον) e vuol dire letteralmente "rubo acqua". I primi orologi erano, cioè ad acqua. In figura 8 è mostrato lo schema, descritto da Vitruvio, di un antico orologio ad acqua il cui funzionamento è intuitivo.

Per tutti gli orologi del tipo appena mostrato la lunghezza di ciascuna ora è la medesima, dipendendo solo dalla velocità di effuso dell'acqua. Questo aspetto che per noi è normale, non lo era per i romani, per i quali un'ora era la dodicesima parte del tempo tra alba e tramonto di giorno e la dodicesima parte del tempo tra tramonto ed alba di notte. Dunque la durata di un'ora era diversa

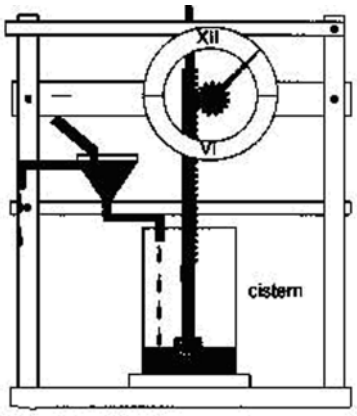


Fig. 8 – Orologio ad acqua.

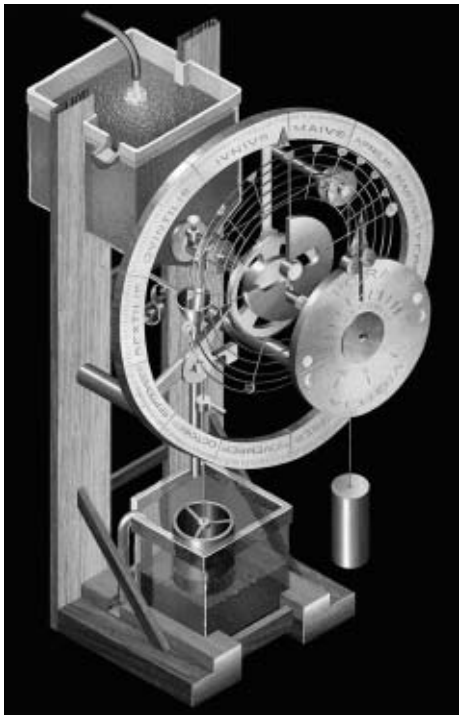


Fig.9 – Orologio di Ctesibio

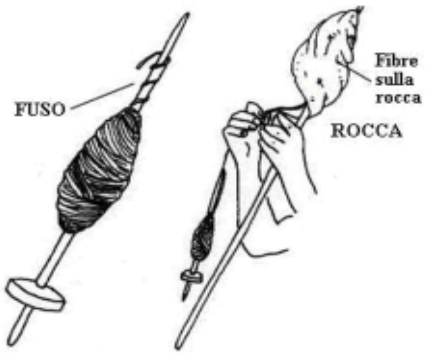


Fig. 10 – Fuso e rocca

tra giorno e notte e da un giorno dell'anno all'altro. Questo problema fu risolto molto brillantemente da Ctesibio con un meccanismo automatico che rappresenta un esempio davvero notevole di automatismo dell'antichità. L'orologio di Ctesibio è mostrato in figura 9 [4]. Il principio di funzionamento è lo stesso degli altri orologi ad acqua ma, in questo, il centro del quadrante è mobile e può ruotare intorno ad un asse che non coincide con quello di rotazione dell'indice. In questo modo, ad archi uguali descritti dall'indice corrispondono archi di lunghezza differente sul quadrante.

Ciò realizza la differenza di lunghezza tra la durata delle ore diurne rispetto a quelle diurne. Il quadrante è mosso da una ruota dentata con 365 denti (come i giorni dell'anno) ed il galleggiante fa ruotare il quadrante di un dente al giorno. In questo modo, durante l'anno, la posizione del quadrante viene regolata automaticamente in modo da tener conto della differenza tra la durata del giorno e quella della notte. Infine l'anello esterno è graduato in modo da indicare il giorno dell'anno ed il segno dello zodiaco.

Filatura e tessitura

Tutti o quasi i nostri capi di abbigliamento sono fatti di tessuto, la esistenza del quale, oggi, ci sembra scontata; eppure questa (anche secondo Leonardo) è una delle invenzioni più importanti dell'uomo. Il primo sistema utilizzato dall'uomo per ottenere un filato da fibre vegetali o animali è la rocca ed il fuso; questo sistema è schematizzato in figura 10 ed era usato ancora fino a pochi decenni or sono nelle nostre campagne per filare il lino e la lana.

Le fibre da filare sono raccolte sulla rocca ed, a mano, vengono tirate in un sottile nastro un po' alla volta e contemporaneamente viene dato un moto di

rotazione al fuso facendolo strusciare contro la gamba; in questo modo il nastro di fibre si avvolge su se stesso ritorcendosi e si avvolge sul fuso. Come è evidente che questa lavorazione consente di ottenere una produzione bassissima.

Il primo passo per ottenere maggiore produzione fu fatto già in tempi molto antichi con l'arcolaio (v. fig.11), macchina della quale si interessò anche Leonardo. Nell'arcolaio notiamo la presenza di due particolari interessanti: l'aletta che è funzionalmente identica a quella dei filatoi moderni ed il meccanismo per il moto della stessa: quest'ultimo è un quadrilatero articolato del tipo manovella bilanciere nel quale il moto entra dal bilanciere (costituito dal pedale) ed è raccolto sulla manovella cui è collegata l'aletta mediante una trasmissione a cinghia. L'alimentazione delle fibre da ritorcere è ancora a mano e così lo spessore (titolo) del filo è regolata "ad occhio" dall'operatore che fa passare un nastro di fibre parallele più o meno spesso.

L'evoluzione industriale dell'arcolaio è rappresentata dal filatoio ad alette che è ancora molto impiegato per fibre dure (lino, canapa, sisal). All'inizio della rivoluzione industriale, la produzione oraria del filatoio ad aletta cominciò ad essere considerata già insufficiente per i filati più sottili (cotone, seta); la limitazione della produzione risiede nella velocità dell'aletta che non può superare poche migliaia di giri al minuto. Per aumentare la produzione, nel 1828 l'americano John Thorp inventò il filatoio ad anello nel

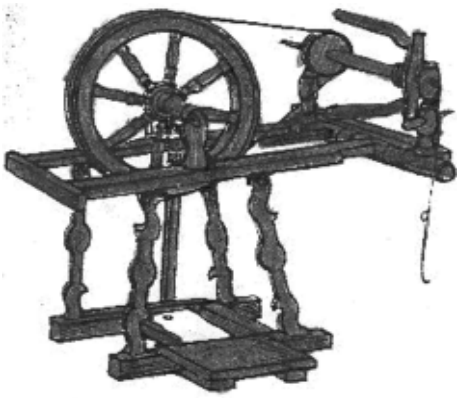


Fig. 11 – Arcolaio

quale l'aletta è sostituita da un anellino che corre su di una guida circolare attorno al fuso.

Uno schema di filatoi automatici (ad aletta a sinistra ed ad anello a destra) quale è mostrato in figura 12. Il titolo del filato può essere variato automaticamente variando la velocità dei rulli di alimentazione lenti (rulli B) rispetto a quelli veloci (rulli A). Entrambi i tipi di filatoi sono costruiti oggigiorno ed una sola macchina è dotata anche di alcune centinaia di fusi e svolge quasi tutte le operazioni automaticamente.

Di pari passo le operazioni di tessitura si sono evolute da manuali ad automatiche. Il primo telaio fu inventato in epoca preistorica. Nella figura 14 è riportata un'immagine di telaio antichissimo, senza licci, dalla tomba di Chemhòtpe a Beni Hasan, XII dinastia (1976-1784 a.C.). Già in epoca molto antica compaiono i primi dispositivi per muovere alternativamente i fili dell'ordito ed il telaio per tessitura acquista i principi di funzionamento che, per grandi linee, sono rimasti immutati fino ai giorni no-

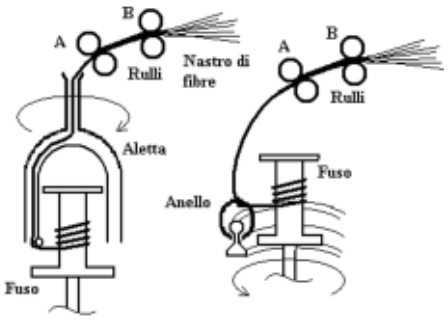


Fig.12 – Schema di filatoi automatici

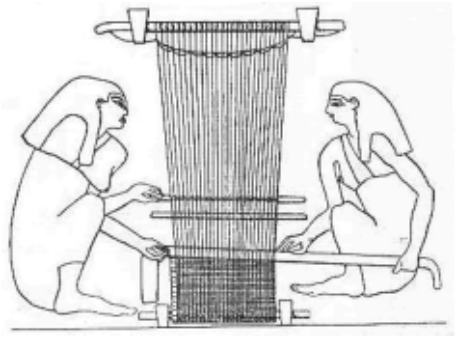


Fig.13 – Antico telaio egizio

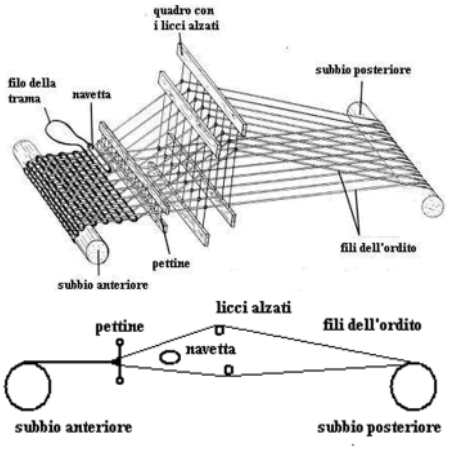


Fig. 14 – Schema semplificato di un telaio

stri. Il principio di funzionamento è mostrato nella figura 14:

I fili che costituiranno l'ordito del tessuto sono disposti paralleli tra di loro; la trama si formerà intrecciando un altro filo (preventivamente avvolto su di una spola) che viene fatto passare in senso ortogonale ai fili della trama. Dopo ogni passaggio della spola il filo dell'ordito viene posto stretto contatto con gli altri fili già tessuti mediante l'azione di un pettine. La prima automazione del processo è stata realizzata in epoca antichissima con un dispositivo che "apriva" i fili della trama alzandone alcuni ed abbassandone altri; questo dispositivo è costituito da fili collegati a degli anellini (licci) in ciascuno dei quali passa uno dei fili della trama. Il movimento dei licci era ottenuto per mezzo di pedali. Telai di questo tipo sono ancora oggi utilizzati per piccole produzioni artigianali, specialmente in paesi meno progrediti.

Nella figura 15 sono mostrati alcuni esempi di telai antichi. Un primo esempio di automazione è precedente alla rivoluzione industriale ed è rappresentato dal telaio "programmabile", per la produzione di tessuti operati; in questo telaio compare quello che è forse il primo esempio di meccanismo programmabile della storia con una vera e propria memoria; quest'ultima è costituita da un nastro di cartone forato secondo uno schema preciso. L'invenzione di questo telaio è attribuita da alcuni a Jacques de Vaucanson, (Grenoble 1709, Parigi 1782), il quale già nel 1751, (era ispettore delle manifatture della seta) inventò una ruota automatica per la dipanatura

che utilizzava la tessitura a spina di pesce. Più tardi costruì il primo telaio interamente automatico, di cui fu costruito un modello nel 1745. Per inciso, Vaucanson è più famoso per aver costruito "l'anatra", uno dei primi esempi di automi [9]

L'invenzione del telaio programmabile è, tuttavia, più frequentemente attribuita a Joseph Marie Jacquard (Lione 1752, Oullins 1834), un imprenditore francese del settore, che lo brevettò nel 1804. Da allora questo telaio porta il suo nome. Il principio di funzionamento è il seguente: sul telaio i licci non sono più raggruppati in due gruppi (quelli che muovono i fili "pari" e quelli che muovono i dispari) come nei telai normali, ma sono raggruppati in piccoli gruppi ciascuno dei quali è indipendente dagli alti. Su un cartone rettangolare vengono praticati dei fori in corrispondenza dei licci (o gruppi di licci) che devono essere sollevati per formare l'ordito; gli altri, in corrispondenza dei pieni del cartone, rimangono a riposo. Ad ogni inserimento del filo che costituisce l'ordito, si presenta una nuova serie di fori. Il numero di fori sul cartone può arrivare a 1200. In questo modo è possibile realizzare disegni anche molto complessi. In figura 16 è mostrato lo schema di principio di un telaio programmabile.

Questo telaio è stato poi perfezionato dal Vincenzi che introdusse cartoni più piccoli con fori più piccoli e ravvicinati, in modo da ridurne il peso (per un disegno ne possono occorrere migliaia) e, successivamente da Verdol che introdusse l'utilizzo di una carta continua

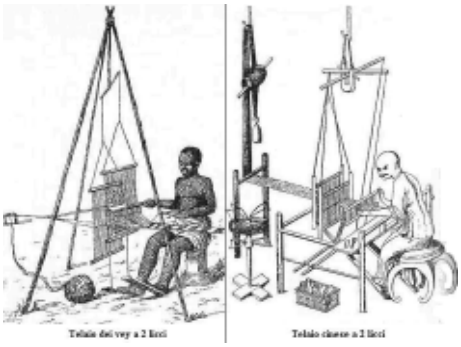


Fig.15 – Esempi di antichi telai [10]

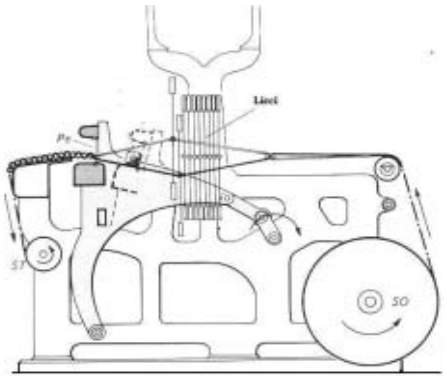


Fig.16 – Schema del telaio Jacquard

a fori piccolissimi. È interessante ricordare che il telaio programmabile è considerato una evoluzione del telaio di un tessitore catanzarese conosciuto a Lione come Jean le Calabrais; un telaio di Giovanni il Calabrese è oggi custodito nel Museo delle arti e dei mestieri di Parigi (v. fig.17). Questo è un telaio per tessuti operati che fu introdotto in Francia da tessitori Genovesi e Fiorentini nella seconda metà del secolo XV. I licci potevano essere mossi uno alla volta da appositi bottoni, come mostrato nella figura 18; il telaio Jacquard, in sostanza introduce una scheda di cartone nella quale sono programmati i licci (o i bottoni) che devono essere mossi.

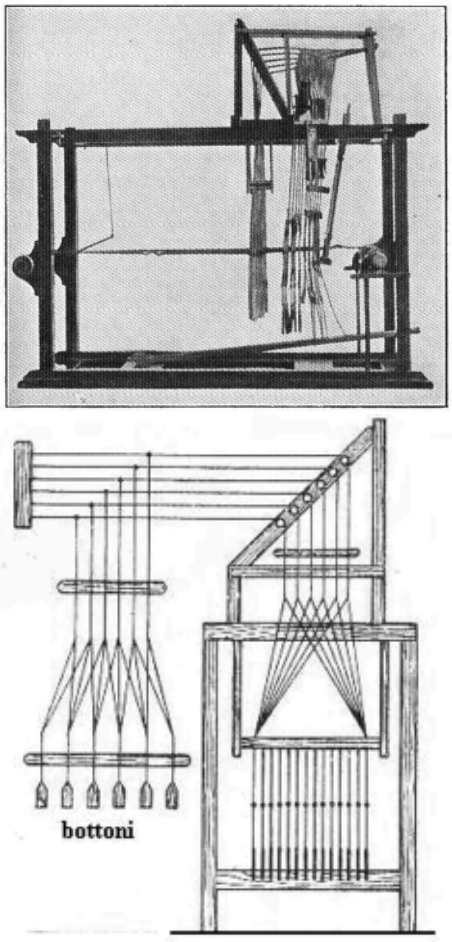


Fig. 17 – Telaio di Giovanni il Calabrese [10]

È evidente che con telai nei quali la spola viene passata a mano da un lato all'altro della pezza di tessuto non è possibile ottenere produzioni elevate e costi contenuti. Ogni filo dell'ordito veniva posizionato con le seguenti operazioni: il tessitore mette la spola tra i fili aperti della trama con una mano, poi la prende con l'altra mano quando arrivava sul lato opposto, infine la lascia per mettere le mani sul pettine e battere per avvicinare il filo di trama. Inoltre la larghezza della pezza di tessuto che si può ottenere è limitata dall'apertura delle braccia del tessitore.

Con la rivoluzione industriale il processo prima descritto verrà progressivamente automatizzato. L'automazione consisterà essenzialmente nel racchiudere la spola in un contenitore (la navetta) che verrà fatto passare automaticamente attraverso i fili della trama.

L'invenzione dei telai per la tessitura automatica è considerata una pietra miliare per la rivoluzione industriale ed è attribuita a John Kay che nel 1733 brevettò un congegno nel quale una navetta che contiene una spoletta dove è avvolto il filato viene *lanciata* da una lato all'altro dell'ordito da un apposito congegno posizionato sul porta pettine di un telaio.

La navetta scivola sulla serie inferiore di fili che costituiscono l'ordito srotolando il filato che formerà la trama e va a finire in un alloggiamento dal quale verrà *lanciata* alla battuta successiva. In questo modo, serviva solo una mano per far muovere la navetta.

Nei primi telai automatizzati, il lancio della navetta era ottenuto tirando una maniglia che azionava la molla di lancio. Successivamente l'operazione divenne completamente automatica. Nella figura 18 è mostrato un meccanismo (detto a frusta) per il lancio della navetta: essa è lanciata da un braccio di legno che viene mosso attraverso un asse b mosso da una camma c.

L'invenzione del telaio automatico potrebbe essere molto più antica: alcuni

disegni di Leonardo da Vinci sono interpretati come un'anticipazione dell'invenzione di Kay. In figura 19 è riportato un disegno di Leonardo. È appena il caso di ricordare che oggi, nei telai più moderni, la spoletta lanciata, è stata sostituita da un getto d'aria compressa o da apposite pinze.

Conclusioni

Sono state ricordate alcune delle moltissime macchine che, nella storia dell'umanità hanno portato all'automazione di processi inventati e concepiti per essere svolti manualmente. L'automazione è oggi indispensabile al nostro modo di vivere perché molti degli oggetti di uso comune non sarebbero disponibili nelle quantità alle quali siamo abituati ed in molti casi sarebbero generi di lusso; per molti oggetti oggi comuni questo avveniva fino a pochi decenni or sono.

Si è scelto di ricordare essenzialmente dispositivi per la misura del tempo, per il movimento dell'acqua e per l'abbigliamento perché questi beni sono probabilmente oggi i più diffusi e quelli ai quali più difficilmente la nostra società potrebbe rinunciare nelle quantità alle quali oggi è abituata.

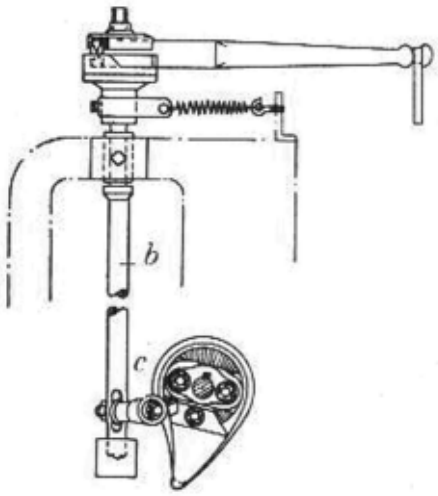


Fig.18 – Meccanismo lancia navetta [10]

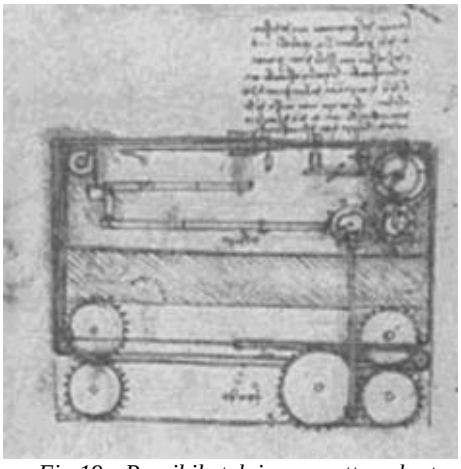


Fig.19 – Possibile telaio a navetta volante di Leonardo

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Ing. Flavio Russo ed il Sig. Ferruccio Russo per il preziosissimo aiuto scientifico e tecnico fornito, anche sotto forma di immagini e ricostruzioni di sistemi meccanici, nonchè per le proficue conversazioni avute insieme.

Bibliografia

[1] A. P. USHER, *A History of Mechanical Inventions* – Dover Pubbl. Inc NY, 1982. ISBN-0-486-25593-X

[2] F. RUSSO, F. RUSSO, *79 A.D. Corse for Pompei* – Allied Marittime Component Command, Naples - Napoli 2006, ISBN-88-88419-56-X

[3] F. RUSSO, F. RUSSO, *Indagine sulle Forche Caudine* – Rivista Militare, Roma 2006, ISSN-0035-6980.

[4] F. RUSSO, F. RUSSO, *Tormenta Navalia* – Supplemento alla Rivista Marittima n.6 giugno 2007.

[5] V. MARCHIS, *Storia delle macchine* – Laterza, 1994, ISBN-88-420-4417-2

[6] *S. G. LOFFI, Piccola Storia dell'Idraulica, libera traduzione, ridot-ta ma integrata, di"History of Hydraulics*" di Hunter Rose e Simon Ince dell'Istituto di Ricerca Idraulica dell'Università Statale dell' IOWA – U.S.A., édita, nel 1954, come supplì-mento, su "*LA HOUILLE BLANCHE*"

[7] P. B. SCOTT, *La Rivoluzione Robotica*– IAR Franco Muzzio Editore, 1987 ISBN 88-7021-290-4

[8] Enciclopedia della Scienza e della tecnica – Mondadori-McGraw Hill, 1965.

[9] C. ROSSI, "*Una breve rassegna sugli automi: la meccanica che ha preceduto i robot.*" – Atti del 1° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria. – Napoli, 8-9 marzo 2006, pp.715-727.

[10] AA.VV., "Enciclopedia Italiana" – Istituto Giovanni Treccani, 1929 e segg.

Informazioni ed immagini interessanti (alcune delle quali riportate nel testo) possono essere trovate nei siti Internet che seguono:

[I]www.systems.tuc.gr/ieeecss/Heron_of_Alexandria.pdf

[II]http://www.mlahanas.de/Greeks/HeronAlexandria.htm

[III]www.geocities.com/Athens/Acropolis/6914/ero.htm

[IV]www.history.rochester.edu/steam/hero/index.html

[V]robotics.megagiant.com/history.html

[VI]www.control.uni-paderborn.de/heron. html

[VII]www.z-kat.com/company/adv research/ leonardo.shtml

www.gimpnet.com/adn/ngallery/automat2.html

[VIII]http://www.rcvr.org/scuole/negrar/media/lavori/archimed/archimed.htm

[IX]http://www.mlahanas.de/Greeks/HeronAlexandria2.htm

[X]http://www.marina.difesa.it/editoria/rivista/rivista/2004/febbraio/febbraio.asp

[XI]http://www.racine.ra.it/ungaretti/archeoinweb/tessitura.htm

[XII]http://inventors.about.com/library/weekly/aa071401a.htm

[XIII]http://www.the-romans.co.uk/calendar. htm

[XIV]http://www.crystalinks.com/clocks.html

[XV]http://www.museoscienza.org/Leonardo/galleria/telaio.asp

[XVI]http://xoomer.alice.it/hmxjhn/dir10/tessuti.htm

[XVII]http://hp-gramatke.net/pmm_physics/english/page0450.htm

LUCIANO MARIA MONACO

Aspetti della costruzione dei ponti nel Settecento

Il XVIII secolo, caratterizzato da un diffuso razionalismo proprio della cultura illuminista, rappresenta una svolta importante sia per il progresso sociale che tecnico, con studi in cui l'aspetto teorico è accompagnato da un interesse altrettanto rilevante per la conoscenza sperimentale[1] . Un simile orientamento presente nella letteratura tecnica dell'epoca, peraltro molto vivace, fornisce una metodologia tuttora valida, di cui interessante è l'esempio fornito dai progressi compiuti nella costruzione dei ponti. Inseriti nel più ampio contesto del miglioramento delle reti stradali, dopo un lungo periodo di immobilismo riguardante anche la Campania[2] , vengono realizzati affrontandone le questioni sia sul piano speculativo che pratico proponendo soluzioni originali che costituiranno le basi per lo sviluppo delle età successive. Sin dall'inizio del secolo si abbandonano i metodi empirici a vantaggio di quelli fondati su teorie scientifiche, supportati da criteri e prove da cui trarre indicazioni valide sulla capacità di resistenza dei materiali e studi riguardanti dimensionamento e geometria delle strutture voltate, dei sistemi di centinatura e dell'idraulica. L'interesse per archi e volte assume senza dubbio un ruolo centrale, analizzandone meccanismi di crisi con un percorso che da De la Hire a Mascheroni apre la strada al moderno approccio del calcolo a rottura. A Napoli

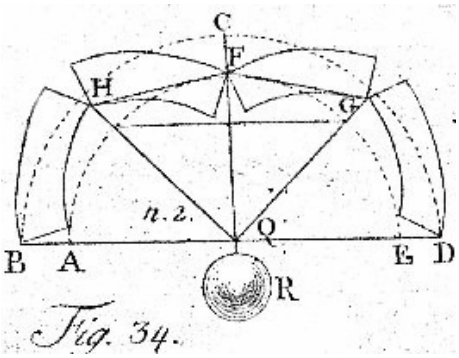


Fig.1- Meccanismo di rottura di un arco a tutto sesto; da V. LAMBERTI, Statica degli edificj, *Napoli, G. Campo, 1781*

vengono pubblicate le opere del Carletti[3] e del Lamberti[4] , che disegna correttamente il meccanismo di un arco soggetto ad un carico concentrato in chiave con la formazione di cerniere rotazione, adoperando una terminologia attuale.

Fondamentale è il contributo francese con i trattati di Gautier, Gauthey e soprattutto le innovazioni di Perronet. Bélidor[5] cita come esempi principali il pont Royal sulla Senna a Parigi, il ponte di Sedan sulla Mosa e quello sul fiume Osa a Compiegne.

Opera di Jules Hardouin-Mansard, Jacques (IV) Gabriel e François Romani, il pont Royal, riferimento per lo stesso Perronet, è "servito di modello a quasi tutti quelli che sono stati fatti in Francia dal 1685 in poi"[6] . Bélidor, inoltre, indica i casi ove occorrono palificate per le fondazioni e le regole per "la grossezza da darsi ai fianchi dei ponti in mura-

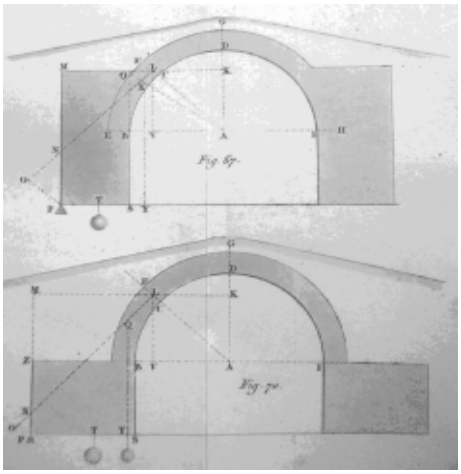


Fig.2 - Dimensionamento per le spalle dei ponti; da B.F. de BÉLIDOR, Architecture hydraulique, *…Paris, Jombert, 1737-1757*

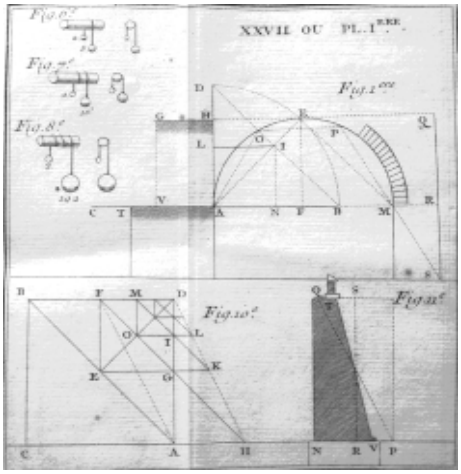


Fig.3 - Dimensionamento delle arcate; da H. GAUTIER, Traité des ponts… *Paris, Duchesne Veuve, 1765*

tura perché facciano equilibrio alla spinta degli archi"[7] . Gautier[8] riconosce il contributo degli italiani Scamozzi, Palladio e Serio alla costruzione dei ponti in muratura e, dichiarando di voler dimostrare le sue congetture attraverso l'esperienza, offre un metodo per il dimensionamento delle arcate.

Si deve, però, al Perronet[9] l'apporto di maggiore importanza; nella sua opera confluiscono aspetti sia teorici che pratici nonché i risultati degli studi e delle esperienze precedenti. Nel ponte di Neuilly, della seconda metà del secolo, partendo dall'analisi della resistenza della muratura, riesce a diminuire lo spessore della volta. Propone e realizza una struttura con archi molto ribassati aventi un profilo policentrico ad undici centri sostenuti da un sistema di armature lignee ben descritte e rappresentate[10] che costituiscono un miglioramento di quelle proposte da Hardouin-Mansard. Sono centine flessibili "retroussées" costruite con varie poligonali in legno che consentono un abbassamento in opera del quale si deve tener conto sia nel tracciamento del profilo che nella posa in opera dei conci. Si deve citare, infine, il trattato del Gauthey[11] in cui dopo un'accurata descrizione delle opere costruite sia nell'antichità che contemporanee, l'autore traccia un quadro dello stato dell'arte relativo alle conoscenze del periodo dalle proprietà dei materiali, al dimensionamento delle strutture e delle centine alle forme delle pile dotate di rostri in relazione all'andamento delle correnti. Nel XVIII secolo, peraltro, numerose furono le realizzazioni dei ponti in legno, materiale del quale si studiavano le capacità di resistenza e tra questi si possono brevemente ricordare il ponte di Kehl di Lomet sul Reno con trenta campate ciascuna con luce di circa quattordici metri e quello famosissimo di Schaffahusen del Grubenmann con due impalcati che superavano i cinquanta

metri. È solo il caso di ricordare una memoria[12] pubblicata a fine secolo in Italia, ove si propone un metodo per la costruzione di ponti ad unico arco variandone la sezione resistente con elementi lignei fissati da un sistema di perni metallici con uno spessore maggiore alle imposte per luci comunque contenute.

Nel caso dei ponti in muratura, in generale, quasi sempre si riprende il modello classico del ponte con archi a tutto sesto, non recependo le nuove tipologie già in uso in Francia Escludendo poche eccezioni, si rivolge maggiore cura agli aspetti formali e decorativi: lo stesso Vittone, ad esempio, pur attento ai problemi relativi al dimensionamento delle strutture, nella rappresentazione del suo «ponte di struttura» non si discosta da tale orientamento[13] .

Tra le realizzazioni del periodo vi sono i ponti veneziani, i ponti Clementini di Cesena ed Jesi[14]. Nel Regno delle Due Sicilie agli inizi del secolo Ferdinando Fuga progetta presso Palermo il ponte sul fiume Milicia[15] con tre archi policentrici; la successiva età di Carlo di Borbone coincide con il riordino della rete stradale, in pessime condizioni se "soltanto era rotabile a stento la strada che da Napoli per Capua e Fondi mena allo Stato Pontificio"[16]. L'opera di Carlo è proseguita dal successore Ferdinando IV[17] ; le principali strade sono citate accuratamente in vari testi e rapporti[18] da cui se ne può dedurre il tracciato e talvolta la presenza di ponti, oggi però molto spesso ricostruiti. Peraltro gli autori dell'epoca che si interessano alla descrizione del Regno raramente citano tali opere, se non in pochi casi come ad esempio quello del Giustiniani[19] .

Un' eccezione è costituita dal Galanti[20], il quale fornisce un elenco dettagliato dei percorsi stradali, di cui i più importanti erano la Strada Regia delle Puglie e la Strada Regia delle Calabrie, con i ponti ivi presenti. In Campania accanto alle opere più note di Vanvitelli, e cioè il ponte sul fiume Sele presso Eboli e quello di S. Onofrio a Benevento, vi furono la sistemazione del passo di Campestrino, la costruzione del ponte di Torcino, il restauro dei ponti di Capua e di Polla,oltre alla presenza di manufatti minori su percorsi locali .

Del Vanvitelli si deve ricordare inoltre l'intervento per il ponte sull'Ofanto ed il più noto acquedotto carolino, citato e rappresentato dal Gauthey nel suo trattato, come una costruzione "à l'exemple de quelques édifices antiques"[21]. I suoi due ponti campani sono stati ricostruiti nel XXI secolo, anche se tuttora si conserva, specialmente a Benevento il ricordo della realizzazione vanvitelliana. Elemento comune in tutte le sue opere resta il rigore metodologico con il quale affronta la progettazione, partendo da un attento e preciso rilievo dei luoghi delle strutture esistenti, con annotazioni che si sono rilevate poi particolarmente utili nel caso del ponte di Benevento per la conoscenza della preesistenza romana. Inserendo la sua figura nel più ampio panorama dell' epoca, si nota però una certa mancanza di attenzione al dibattito culturale e si ha l'impressione che le sue realizzazioni non risentano delle innovazioni francesi peraltro contempo-

ranee. Incaricato della ricostruzione del ponte sul Sele[22] a seguito del crollo di quello esistente, adotta un unico arco a tutto sesto. La soluzione fu dettata dall'esigenza di migliorare il deflusso del fiume, che trovava maggiori ostacoli nel ponte preesistente con due archi. Attraverso i disegni[23], i documenti e le lettere scritte dal Vanvitelli se ne possono ricostruirne le vicende della costruzione[24] che lo vedono attivamente impegnato sia nelle scelte progettuali che nella esecuzione. L'ingegnere incaricato per la realizzazione, G. Tommaso Piana, infatti non eseguì il ponte nei tempi previsti né avvisò il Vanvitelli che quindi dal 1760 assunse la direzione dei lavori, completandoli entro due anni. Del ponte originario, "forte e di bella simmetria", ricostruito in cemento armato dopo la seconda guerra mondiale, oggi non restano che una parte dei piloni ottagonali, peraltro occultati dalla vegetazione.

Dal 1766 si inserisce la vicenda del ponte S.Onofrio a Benevento, del quale restano schizzi e disegni autografi e che viene riproposto con l'andamento a sei archi a tutto sesto con finestre tonde per il deflusso delle acque. Anche in questo caso il Vanvitelli interviene nel corso dei lavori, modificando il progetto, a causa delle cattive condizioni in cui apparvero le fondazioni, per cui ne prescrive il rifacimento compreso quello della muratura dei piloni[25]. Il ponte è stato poi ricostruito a seguito dell'alluvione che nel 1949 colpì la città di Benevento sostituendolo con un manufatto a tre archi in modo da facilitare il passaggio del fiume. Sono però tuttora visibili i resti delle fondazioni della struttura originaria. Da'altro canto anche altri ponti ben noti del XVIII secolo in Campania non hanno avuto sorte migliore: il ponte di Torcino costruito sul Volturno per consentire raggiungere Venafro, per le cacce reali, descritto del Rosati[26] che parla di un ponte sontuoso "ponte reale" e di cui si conoscono, attraverso le testimonianze dell'epoca e di quelle immediatamente successive le varie vicissitudini, è oggi ricostruito. Resta, invece il ponte di Campestrino, vicino Pertosa, in provincia di Salerno, con le sue alte arcate, "che non manca di sveltezza e di solidità"[27], costruito durante il regno di Ferdinando IV[28], tuttora in uso, pur se forse, ancora poco noto.

Si deve tener presente che al momento manca un inventario dei ponti storici presenti nel territorio campano, se si escludono quelli risalenti all'epoca romana inseriti nell'ampio studio del Galliazzo[29]. Appare indispensabile pertanto procedere con una simile catalogazione, al fine di conservare quanto resta di un patrimonio di grande valore storico ed architettonico, che però non è stato, sinora, adeguatamente riconosciuto nella maggioranza dei casi.



Fig.4- Ponte di Campestrino

[1] F. Klemm, *Storia della tecnica*, Milano, Feltrinelli, 1959; J.K. Finch, *Storia dell'ingegneria*, Firenze, Sansoni, 1962.

[2] J. Day, *Strade e vie di comunicazione*, in Storia d'Italia, vol.V, I, Torino, G. Einaudi, 1973; L. Bortolotti, *Viabilità e sistemi infrastrutturali*, in Storia d'Italia. Annali vol.VIII, *Insediamenti e territorio*, a cura di C. De Seta, Torino, G. Einaudi, 1985.

[3] N. Carletti, *Istituzioni di architettura civile*, voll.1-2, Napoli, Stamp. Raimondiana,1772; N. Carletti, *Istituzioni di architettura idraulica dedotte dalle scienze di ragione, e di natura*, voll.1-3, Napoli, Stamp.Raimondiana, 1780.

[4] V.Lamberti, *Statica degli edificj*, Napoli, Giuseppe Campo, 1781.

[5] B.F. de Bélidor, *Architecture hydraulique, ou l'Art de conduire, d'élever et de ménager les eaux…* voll. I-IV, Paris, Jombert, 1737-1757. (trad. it. di B. Soresina, *Architettura idraulica …*, Mantova, Presso gli Editori, 1838.)

[6] *Ivi*, parte I, tomo I, p. 311.

[7] *Ivi*, parte II, tomo II, p. 107.

[8] H. Gautier, *Traité des ponts…* Paris, Duchesne Veuve, 1765.

[9] J.-R. Perronet, *Description des projects et de la costrution des ponts de Neuilly, de Mantes, d'Orleans, de Loius XV*, Paris, F.A. Didot, 1788

[10] J.-R. Perronet, *Mémoire sur le cintrement et le décintrement des ponts*, Paris, Bachelier, 1773.

[11] M. Gauthey, *Traité de la construction des ponts*, voll.1-2, Paris, F. Didot, 1809.

[12] G. Del Rosso, *Della facile costruzione dei ponti in legno, per torrenti e piccoli fiumi …...*, *Memoria letta nella R.Accademia Economica di Firenze nell'adunanza de'4 gennajo 1797*, Firenze, G. Pagani, 1797.

[13] L. Re , *Architettura e conservazione dei ponti piemontesi*, Celid, Torino, 1996. La dimensione per lo spessore della chiave della volta viene stabilito dal Vittone uguale ad un ventiquattresimo della luce – come Perronet – aggiungendovi però un incremento fornito in funzione del sovraccarico e di un coefficiente di sicurezza dipendente anch'esso dalla luce della volta (pp. 33-34).

[14] *Ivi*, p. 36.

[15] E. Kieven, *Ferdinando Fuga e l'architettura romana del Settecento : i disegni di architettura dalle collezioni del Gabinetto nazionale delle stampe : il Settecento*,trad. it. di R. Luciani, Roma, Multigrafica, 1988.

[16] *Rapporto generale sulla situazione delle strade sulle bonificazioni e sugli edifizi pubblici dei reali dominj al di là del Faro Diretto a S.E. io Ministro delle Finanze della Direzione Generale di ponti e strade e delle acque e foreste e della caccia*, Topografia Zambraja, Napoli, 1827 (2 voll.), vol.I p.5.

[17] *Ivi*, p. 7.

[18]*Rapporto generale…* (cit. in nota 4); *Memoria sulle regie strade da costruirsi o restituirsi, per le Province di Principato ultra, Capitanata,Terra di Bari, Terra d'Otranto e Basilicata*, Napoli, 1781 (conservato presso la Biblioteca Provinciale di Avellino); A. Pigonati, *Le strade antiche e moderne del regno di Napoli, e riflessioni sopra li metodi di esecuzione e meccaniche*, Napoli, Michele Morelli, 1784; A. Maiuri, *Delle opere pubbliche del Regno di Napoli e degli Ingegneri preposti a costruirle*, Stamperia e cartiera del Fibreno, Napoli, 1836 ed il recente contributo di R. Paone (a cura di) *Antiche*

strade della Campania. Percorsi ed insediamenti della Valle del Volturno, Dipartimento di Conservazione dei Beni storici ed ambientali, Napoli, 2003.

[19] L. GIUSTINIANI, *Dizionario Geografico ragionato del regno di Napoli* , Napoli, V. Manfredi, 1797.

[20] G.M. GALANTI, *Nuova descrizione storica e geografica delle Sicilie*, Gabinetto Letterario, Napoli, 1786.

[21] M. GAUTHEY, *op. cit.*, tome I, p.27.

[22] Cospicua è la bibliografia su Vanvitelli e sulle opere citate. Si segnalano i testi: L.VANVITELLI JR., *Vita di Luigi Vanvitelli*, a cura di M. Rotili, Napoli, Società Editrice Napoletana, 1975; G. ALISIO, *Siti reali dei Borboni*, Napoli, Officina Edizioni, 1976; R. DI STEFANO, *Luigi Vanvitelli, ingegnere e restauratore*, in *Luigi Vanvitelli*, Napoli, 1973, pp. 171-246; E. GALASSO, *Vanvitelli a Benevento*, Benevento, Abete,1959.

[23] Archivio di Stato di Napoli, Piante e Disegni, cart.XI, disegni 65, 66,67,68.

[24] Le *Istruzioni per la riedificazione del ponte, già citate nei testi della nota precedente* del Vanvitelli sono conservate alla sezione manoscritti della Biblioteca Nazionale di Napoli, XV A bis, busta 2,ff.120-121.

[25] BNN, *Autografi vanvitelliani*, sezione maniscrittti, XV A 9 bis, busta I. I documenti di questa busta riguardano il ponte sul Calore.

[26] G. ROSATI, *Le cacce reali nelle province napoletane*, Napoli, Compositori, 1871.

[27] L. PETAGNA, G. TERRONE, M. TENORE, *Viaggio in alcuni luoghi della Basilicata e della Calabria Citeriore effettuato nel 1826*, Napoli Nella Tipografia francese 1827.

[28] V. BRACCO, *Polla.Linee di una storia*, Salerno, Ed. Cantelmi, 1976.

[29] V. GALLIAZZO, *I ponti romani*, 2 voll., Canova, Treviso, 1995.

ORONZO MAURO

'Misurando'. Storia delle misure dal XVII secolo ad oggi attraverso la collezione privata di un appassionato ingegnere

Nei primi anni del 1900, lungo le Ferrovie dello Stato s'incontravano delle strane costruzioni; alcuni sapevano che quelle strutture erano impianti di depurazione delle acque da destinarsi alle locomotive a vapore. Le locomotive a vapore come anche le batterie, infatti, in quegli anni avevano bisogno, per l'alimentazione delle caldaie o per la ricarica delle batterie, del frequente rifornimento d'acqua depurata e decalcificata.

Intorno agli anni Cinquanta del secolo scorso, le locomotive a vapore sono state dismesse e si è passati alle locomotive Diesel o ad alimentazione elettrica cosicché tutto quello che era intorno alla depurazione delle acque si è dissolto nell'archeologia ferroviaria (Fig. 1). Elementi importanti di siffatti impianti, come peraltro di molti impianti, erano gli strumenti di misura utilizzati per tenere sotto controllo molte delle grandezze fisiche e chimiche del processo di depurazione e decalcificazione delle acque: la portate delle pompe di prelevamento dai pozzi scavati nei pressi degli impianti di depurazione delle acque da trattare, la corrente elettrica necessaria per l'alimentazione delle parti elettriche, la composizione chimica, la durezza e la densità dell'acqua stessa.

Lo strumento che si vede nella Figura 2 veniva utilizzato in una delle delicate operazioni del processo di produzione delle acque per usi ferroviari ed era verosimilmente uno degli strumenti utilizzati nell'impianto di depurazione sopra presentato.

Un meccanico dell'800, si può dire un ingegnere, gestiva l'impianto di depurazione delle acque ed utilizzava diversi strumenti. Questo nucleo di stru-



Fig. 1– Impianto di depurazione delle acque nel quale ha avuto origine la collezione di antichi strumenti di misura, Grottammare



Fig. 2 - Kit per la misurazione della durezza del calcio nelle acque espressa in gradi francese, primi del '900

menti, qualche unità, ha costituito il nocciolo iniziale della collezione di antichi strumenti di misura detto ora "Misurando della famiglia Mauro" in onore della famiglia interessata dalla conservazione e dalla promozione della collezione stessa.

La Collezione Mauro

La collezione partita con qualche strumento, attualmente è articolata in diverse gallerie tematiche che tendono a considerare la "misura" sotto diversi punti di vista: ci sono gallerie dedicate agli apparati di misura, gallerie centrate sui documenti che hanno fatto nascere la moderna metrologia, ci sono anche gallerie che vogliono mettere in risalto gli aspetti legati al marketing delle società produttrici di strumenti di misura.

La collezione, per essere privata, è abbastanza considerevole in termini di pezzi e di qualità degli oggetti: oltre 300 apparati di misura scientifici e non (elettricità, idrostatica, peso, lunghezza, temperatura) a partire dal 1700, oltre 50 reclame pubblicitarie di società produttrici di strumenti di misura italiane e non, oltre 50 documenti (Editti, Leggi, Proclami, Notificazioni di verifica, multe) relativi alla nascita della metrologia italiana, pre-unitaria e francese a partire dal 1700.

Gallerie delle Misure Elettriche

La collezione di apparati di misura è maggiormente focalizzata su questa tipologia di strumenti: voltmetri, amperometri, wattmetri, ohmetri, galvanometri, pirometri. Per ogni tipologia di grandeza da misurare esistono diverse versioni dello strumento stesso, diverse per principio di funzionamento, per impostazione stilistica o per sensibilità di misura. Nell'ambito della collezione sono presenti gli strumenti caratteristici di ogni momento storico della progettazione e dell'evoluzione tecnica ed ingegneristica della costruzione di strumenti per misure elettriche. Dopo la scoperta di Oersted (1819) dell'effetto della corrente elettrica su un ago magnetico inizia la realizzazione di strumenti in grado di misurare l'intensità della corrente.

Un ago posto in un campo magnetico è soggetto a una coppia di forze il cui momento meccanico è legato all'intensità del campo; pertanto, un ago sospeso mediante un filo di torsione al centro di una spira, o di più spire per moltiplicare l'effetto, percorsa dalla corrente da misurare (che genera un campo magnetico proporzionale alla propria intensità) subisce una rotazione che è legata all'intensità della corrente stessa.

Su questo principio è basato il prototipo del galvanometro ad ago, il moltiplicatore di Schweigger (1820), costituito da una bobina rettangolare e da un ago magnetico (Fig. 3). Benché negli anni Venti non si conoscessero ancora i concetti esatti di corrente e di resistenza, né la Legge di Ohm (del 1826), ci si limitava ad osservare l'effetto del passaggio della corrente sull'ago, al variare della geometria del sistema e ad usare il moltiplicatore come indicatore della direzione della corrente.

Sullo stesso principio del moltiplicatore di Schweigger si basa il galvano-

metro dell'Italiano Leopoldo Nobili (1826), il primo strumento di uso pratico (Fig. 4) che dominò per decenni nei laboratori (lo stesso Faraday lo impiegava nei suoi esperimenti, 1832-1855). Nello strumento compare per la prima volta il sistema astatico per compensare i disturbi dovuti alla componente orizzontale del campo magnetico terrestre.

Vennero poi costruiti, in analogia, i primi galvanometri impiegati, tra l'altro, da Gauss e Weber nei primi tentativi pionieristici di telegrafia elettrica. Gauss risolse il problema della taratura con un magnetometro e un galvanometro, mediante il quale riuscì a condurre misure esatte di corrente e a riportare le grandezze misurate nel sistema assoluto. Weber definì successivamente, nel 1840, l'unità di misura di corrente nel sistema assoluto, servendosi della bussola delle tangenti mediante cui confrontò la forza esercitata dalla corrente sull'ago con la forza esercitata da un magnete di momento magnetico unitario.

Nacquero in questi anni gli elettrodinamometri e i galvanometri a bobina e si consolidò il metodo di lettura con cannocchiale, specchio e scala, introdotto da Poggendorff nel 1826 e ripreso da Gauss e Weber, sia nei magnetometri che nei galvanometri. Tale metodo consente di osservare anche piccole deviazioni della posizione dell'ago, con una precisione più elevata di quella ottenibile con il galvanometro di Nobili a lettura diretta.

Gli strumenti ideati da Gauss e Weber, dalla ricerca di base vennero in seguito adattati per eseguire misure in telegrafia; di pari passo si realizzarono numerosi tipi di galvanometro, a seconda del campo di applicazione. Per aumentare la sensibilità degli strumenti vennero, inoltre, modificati i magneti, che diventano più corti e leggeri, e introdotte bo-



Fig. 3 - Primi modelli di galvanometro a bussola delle tangenti, costruttore C.Le G , Francia, circa 1850



Fig. 4 - Galvanometro di tipo Nobili, costruttore W&J. George Ltd, Regno Unito, circa fine '800



Fig. 5 - Galvanometro con filo sospeso a specchietto riflettente, costruttore ignoto, Regno Unito, circa primi del '900, sullo sfondo una scala galvanometrica della Tinsley, Regno Unito, prima metà del '900



Fig. 6 - Voltmeter – Direct Current di Weston, Model 1, costruttore Ing. Edward Weston; USA, fine '800

bine scorrevoli. Il sistema di smorzamento venne migliorato, così come il sistema astatico. Intorno al 1860, il galvanometro a specchio, realizzato da W. Thomson (Lord Kelvin) per eseguire misure di isolamento dei cavi telegrafici, segnò un progresso notevole e si impose per decenni, insieme a una varietà di modelli che ne ripresero il principio base di funzionamento.

Nel 1880 venne realizzato il galvanometro a circuito mobile, ideato da Deprez e D'Arsonval, non molto sensibile e perciò adatto per correnti di media e forte intensità. Nel galvanometro di Deprez-D'Arsonval una bobina percorsa dalla corrente da misurare, sospesa al filo di torsione, viene posta nel campo di un magnete a ferro di cavallo (Fig.5). Gradualmente la lettura con cannocchiale, specchio e scala venne sostituita dalla lettura a indice.

Il filo di sospensione scomparve del tutto nei milliamperometri Weston, introdotti nel 1888 dalla Weston Electrical Instruments Company di Newark, USA. Gli "indicatori Weston" (Fig. 6) rappresentarono i primi strumenti ad ago a lettura diretta, con scala proporzionale, trasportabili, e associavano ai vantaggi di un impiego facile e rapido la possibilità di eseguire misure di alta precisione. Gli strumenti con bobina a sospensione gradualmente uscirono di scena, per lasciare il passo a voltmetri, amperometri e wattmetri più funzionali alle mutate esigenze della tecnologia di fine Ottocento.

Quasi contemporaneamente in Francia venivano definiti, con non pochi problemi e controversie, gli standard per le unità di resistenza, tensione, carica, intensità e capacità (Congresso di Elettrotecnica di Parigi, 1881).

Nel corso dei primi anni del '900 non ci sono stati grandi mutamenti nel principio di funzionamento degli strumenti di misure elettriche; ci sono altresì design costruttivi differenti nei diversi paesi: dagli strumenti di laboratorio in eleganti cassettine di legno dalle forme più disparate, ai *case* in bachelite e quindi successivamente alle cassette in metallo (Fig. 7). Per quanto riguarda di strumenti da quadro si passa da pesanti strumenti in acciaio e metallo duro con eleganti disegni *liberty* sul pannello di lettura, agli strumenti in metallo leggero smaltato di colore nero lucido.

Una categoria di strumenti è persino scomparsa dalla circolazione, si tratta dell'amper/voltmetro da automobile, un elegante strumento da taschino, come un orologio utilizzato nei primi anni del secolo come strumento per verificare la carica delle batterie dell'automobile prima dell'avvio (Fig. 8). Ad oggi, nessuno per accendere la propria automobile deve misurare l'intensità di corrente della propria batteria!



Fig. 7 – Tester Multifunzione autocostruito dagli studenti della Scuola Radio Elettra (scuola per corrispondenza) intorno agli anni '50 nella piena ripresa industriale italiana



Fig. 8 - Amperometri e Voltmetri per automobile, USA, anni '30

Gallerie delle misure di densità e temperatura dei liquidi

In questa galleria sono raccolti una vasta serie di termometri e densimetri di tipo Baumé e Gay Lussac, anche detti areometri. Gli areometri sono strumenti galleggianti che servono a determinare il peso specifico dei liquidi. Questi strumenti erano utilizzati anche in ambito non scientifico per diverse misure indirette di purezza e qualità (mosto del vino, latte materno, benzine, olii pesanti, acidi di batterie, ecc.) basate sulla misura diretta della densità di un liquido. Il funzionamento dei densimetri è basato sul principio di Archimede (II Sec. AC) "*Un corpo immerso (totalmente o parzialmente) in un fluido riceve una spinta (detta forza di galleggiamento) verticale pari al peso di una massa di fluido di forma e volume uguale a quella della parte immersa del corpo*". Le due tipologie di densimetri, quella Baumé e

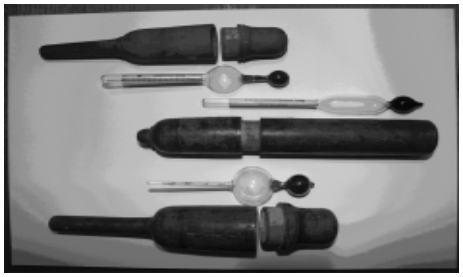


Fig. 9 - densimetri Baumé in eleganti astucci in legno ciliegio lavorato, Germania, fine '800

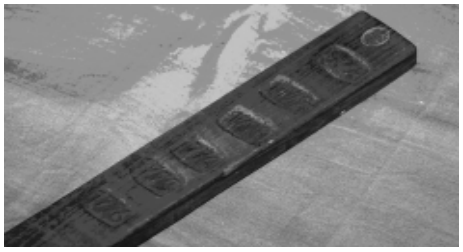


Fig. 10 - "Raso Sabaudo", antico "metro" pre-unitario usato nel Regno della Famiglia dei Savoia, metà del '700



Fig. 11 - Contagiri Hessler, Svizzera, primi del '900



Fig. 12 - Misure di Capacità per liquidi per uso didattico, produttore Paravia - Italia, primi del '900

quella di Gay Lussac, sono rispettivamente da riferirsi; se il liquido ha peso specifico maggiore dell'acqua (pesa acidi o pesa sali, olii) si usa la scala Baumé, altrimenti si usa la scala centesimale di Gay Lussac (etere, alcool, benzine).

La galleria è composta da oltre 70 strumenti dalle forme e dai generi più svariati: il più piccolo densimetro è lungo 4 cm, mentre il più lungo misura 30 cm. Diversi densimetri sono conservati in eleganti cofanetti in legno di ciliegio e di cartone decorato (Fig. 9). La galleria di compone altresì di una vasta gamma di termometri di varie forme e per diversi tipologie d'uso: industriali, domestici, alimentari, nautici, chimici, etc...

Galleria delle Misure diverse

Nell'ambito di questa galleria sono raccolti strumenti ed apparati per la misurazione di diversi tipi di grandezze: dalle misure lineari, alle misure di peso, di velocità rotazionale, di pressione, di tempo ecc…

Uno strumento molto particolare di questa sezione è il "raso sabaudo", uno strumento in legno per misure di lunghezza del tipo "à bout" (ossia la misura è presa ai bordi e non a segni o tagli disegnati nella lunghezza dello strumento), simile ad un metro da sarto di adesso, che veniva utilizzato nel Regno dei Savoia nel '700 per la misurazione della lunghezza delle stoffe, da cui appunto il nome "raso" (Fig. 10)

Lo strumento, lungo circa 62 cm, (le "*Tabelle di Ragguaglio*" del 1871 pubblicate a Milano, dicono che "una unità

di raso sabaudo è uguale a 62,3 centimetri del nuovo Sistema Metrico Decimale" entrato in vigore nel Regno d'Italia nel luglio del 1861 con la legge numero Regio Decreto Legge N°163) presenta tre punzonature raffiguranti lo stemma della Casa Savoia (due agli estremi per certificare la lunghezza, uno, più grande e definito, quasi al centro per prestigio), e sei punzoni di "verifiche" annuali dal 1771 al 1776. Fino a tempi recenti, la vendita di beni sottoposti a misura (vendita a peso o a lunghezza) poteva essere esercitata se il venditore era minuto di uno strumento di misura certificato dallo Stato mediante punzonature (dette "verifiche dei pesi e misure") dell'Ufficio Metrico che esigeva, per questo esercizio, il pagamento di una tassa. Un altro strumento molto interessante custodito in questa galleria è il contatore Hessler (Fig. 11); si tratta di uno strumento svizzero estremamente preciso ed elegante. A tutti gli effetti questo strumento sembra un orologio dove la lancetta si posizione sulla velocità di rotazione massima applicata all'asse posto sulla parte sinistra dello strumento.

La "galleria delle misure diverse" conserva anche una bella serie di misure didattiche della capacità dei liquidi: dal decilitro, al litro prodotte dalla società Paravia specializzata in strumenti scientifici per uso scolastici (Fig.12).

Altre serie di recipienti per misurazioni della capacità dei liquidi sono presenti nella galleria: una serie francese del 1700 in peltro, una serie di bottiglie da latte degli anni '50, ed tanti altri strumenti di sicuro interesse.



Fig. 13 - "Allocchio & Bacchini", 1920 è molto evidente lo stile futurista con cui l'illustratore ha disegnato la pubblicità



Fig. 14 – Copertina della rivista mensile "L'INGEGNERE" del 1929 con una fotografia della fabbrica della società italiana CGS, instrumenti di misura di Monza.



Fig. 15 - Pubblicità di wattmetri registratori della CGS di Monza, anni '30. Al tempo la libera produzione di energia elettrica abilitava scenari di commercializzazione di apparati per piccole centrali elettriche private



Fig. 16 – Icona tratta dall'opera "Iconologia, overo descrittione dell'imagini universali cavate dall'antichità et da altri luoghi da Cesare Ripa Perugino, opera non meno utile,che necessaria à Poeti, Pittori, Scultori, per rappresentare le virtù, vitij, affetti, et passioni humane", Roma, MDXCIII

Galleria Delle Pubblicità

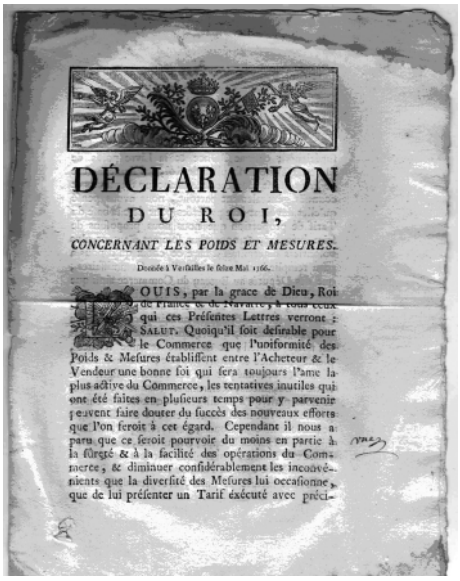
La maggior parte delle 50 reclame, collocate tra il 1885 ed il 1935, proviene dalle riviste "L'Ingegnere" edito della Associazione Italiana degli Ingegneri e da "Sapere" della casa editrice Hoepli. Quale migliore canale di pubblicità degli strumenti di misura se non la rivista degli ingegneri! In queste reclame è possibile vedere insieme il connubio tra marketing, arte, design e tecnologia.

Galleria Editti, Leggi, Avvisi e Notificazioni, documenti sulle misure antiche

Questa galleria documentali considera diverse tipologie di documenti sostanzialmente organizzate in due aree: prima area è costituita da documenti sulle misure (Fig.16), sulla tecnica e sugli strumenti antichi; seconda area è esplorata la nascita della "metrologia legale" moderna, ossia tutto quel insieme di leggi, editti, avvisi, pubbliche notifiche, sanzionai e tabelle di ragguaglio che hanno portato all'adozione del Sistema Metrico Decimale da parte degli Stati Europei e degli Stati Italiani pre-unitari. In questa raccolta sono conservati più 50 documenti datati tra il 1766 ed il 1874. Nel documento "*Declaration du Roi concernant le Poids et les Mesures*" (Fig. 17) il Re di Francia, Luigi XVI, nel 1766 ravvede la necessità di procedere con una repentina "unificazione" delle misure locali diffuse sul territorio francese allo scopo di agevolare gli scambi commerciali. Poco più avanti, nel 1782, il Granduca di Toscana, Pietro Leopoldo, impone a tutti i suoi sudditi l'adozione del sistema di misurazione

della città di Firenze. L'adozione del sistema metrico decimale è ancora lontano per l'Italia; avverrà, infatti solo nel 1861 (Fig. 19) con l'Unità d'Italia.

L'adozione del sistema metrico decimale non fu indolore ed economico. Nella galleria sono conservati reclami e multe effettuate per diverse ragioni: mancato pagamento della tassa annuale di verifica, "la tassa degli utenti"; oppure, mancata applicazione dei regolamenti di costruzione degli apparati di misura, oppure semplicemente per resistenza al cambiamento di chi voleva ancora utilizzare le "vecchie misure".



DÉCLARATION
DU ROI,
CONCERNANT LES POIDS ET MESURES.

Donnée à Versailles le 16me Mai 1766.

LOUIS, par la grace de Dieu, Roi
de France et de Navarre; à tous ceux
qui ces Présentes Lettres verront :
SALUT. Quoiqu'il soit désirable pour
le Commerce que l'uniformité des
Poids & Mesures établissent entre l'Acheteur & le
Vendeur une bonne foi qui sera toujours l'ame la
plus active du Commerce, les tentatives inutiles qui
ont été faites en plusieurs temps pour y parvenir
peuvent faire douter du succès des nouveaux efforts
que l'on feroit à cet égard. Cependant il nous a
paru que ce seroit pourvoir du moins en partie à
la sûreté & à la facilité des opérations du Com-
merce, & diminuer considérablement les inconvé-
nients que la diversité des Mesures lui occasionne,
que de lui présenter un Tarif exécuté avec préci-

Fig. 17 - "Declaration du Roi" sull'unificazione dei Pesi e Misure delle città di Francia alla città di Parigi, anno 1766

Esposizioni di 'Misurando'

La Collezione degli strumenti di misura è privata, viene esposta al pubblico in occasioni particolari quali conferenze ed eventi espositivi a tema.

Un ricco sito internet - http://www.misurando.com - presenta la collezione e le date di eventuali eventi espositivi.

Gli eventi più significativi dove è stata presentata la collezione insieme a sessioni di misura antica sono di seguito riportati:

"La Misura delle cose"– Università Politecnica delle Marche, Sede di Fermo – Novembre e Dicembre 2007

"1 Fiera dell'Elettronica di Chiudu-no (BG)" – AFI, Associazione Fieristica Italiana, 30 giugno e 1 luglio, 2007

"IEEE - 14th Mediterranean Conference on Control Automation" - Universitá Politecnica delle Marche, Ancona, Italia, 27-30 giugno, 2006

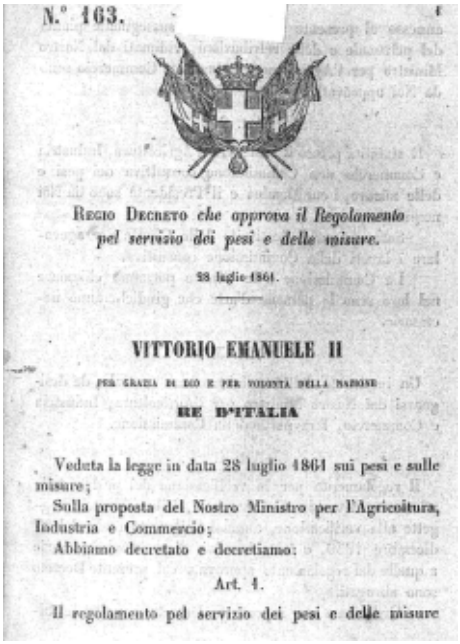
"2006 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Confe-



LXIII

PIETRO LEOPOLDO
PER GRAZIA DI DIO
PRINCIPE REALE D' UNGHERIA E DI BOEMIA
ARCIDUCA D'AUSTRIA
GRANDUCA DI TOSCANA &c. &c. &c.

Fig. 18 - Granducato di Toscana, Notifica ai sudditi di Pietro Leopoldo sull'unificazione dei pesi e delle misure delle città del granducato alle misure in essere presso la città di Firenze, 1782



N.° 163.

REGIO DECRETO *che approva il Regolamento pel servizio dei pesi e delle misure.*

28 luglio 1861.

VITTORIO EMANUELE II

PER GRAZIA DI DIO E PER VOLONTÀ DELLA NAZIONE

RE D'ITALIA

Veduta la legge in data 28 luglio 1861 sui pesi e sulle misure;

Sulla proposta del Nostro Ministro per l'Agricoltura, Industria e Commercio;

Abbiamo decretato e decretiamo:

Art. 1.

Il regolamento pel servizio dei pesi e delle misure

Fig. 19 – "Regio Decreto Legge che approva il Regolamento per il servizio sui Pesi e sulle Misure", 28 Luglio 1861, n. 163



Fig. 20 Evento espositivo, IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2006

rence", Hilton di Sorrento, Italia, 24-27 aprile, 2006

"Misurando in Esposizione", Sale A. De Carolis, Montefiore dell'Aso (AP), Italia, settembre-ottobre 2002

"Antichi Strumenti Elettrici", Morrison Pub, San Cupramarittima (AP), Italia, ottobre-novembre 2001

*"Le Clessidre Sheneour"***,** La Macchina del Tempo, San Benedetto del Tronto (AP), Italia, settembre-ottobre 2001

Maria Lippiello

La Statica degli Edifici *dell'ingegnere napoletano Vincenzo Lamberti: un trattato teorico-pratico del tardo XVIII secolo*

Premessa

Non è possibile comprendere le novità e le debolezze dello scenario scientifico napoletano nel XVII e XVIII secolo senza un breve cenno al panorama politico istituzionale. É facilmente intuibile che i contrasti fra Viceregno, Baroni e Chiesa non costituivano certo il terreno più favorevole alla nascita di istituzioni culturali e scientifiche. Naturalmente, però, in una città fra le più popolose d'Europa, insieme agli scambi commerciali arrivavano gli stimoli culturali e le idee nuove che nascevano nel contesto europeo. Sorgevano così, a partire dal 1611, le prime Accademie in cui si sottoponevano a revisione critica i modelli aristotelici e si diffondeva la nuova cultura scientifica. La visita di una delegazione di scienziati della Royal Society di Londra trovava a Napoli attenti lettori e divulgatori delle opere di Galileo, Descartes, Harvey, Bacon, Hobbes, ma a questo clima di studi non corrispondeva altrettanta attenzione da parte del Viceregno, combattuto tra il tentativo di mantenere alto il dibattito e la volontà di contenere le punte più avanzate nella ricerca filosofica e scientifica. Ciononostante, la scuola matematica napoletana iniziava ad avere riconoscimenti a livello europeo e la lezione galileiana diventava patrimonio condiviso nella comunità scientifica locale.

Nel 1734, con Carlo di Borbone, si avvia una vera politica di rinnovamento; alla drastica riduzione del potere baronale ed ecclesiastico si accompagna la ristrutturazione del sistema scolastico e dell'Università, fortemente voluta da Antonio Genovese, che confida nella creazione di tecnici qualificati per competere con gli altri Stati: da qui la nascita di Scuole ed Accademie militari in cui materie tecniche e matematica sono a fondamento degli studi. La scelta, necessaria in quel contesto storico, penalizza le Accademie scientifiche che, svuotate dei loro migliori uomini chiamati nelle amministrazioni dello Stato, perdono la originaria caratteristica di luoghi di libero dibattito, per diventare funzionali al potere centrale. Poiché l'intento di Carlo III era quello di formare tecnici, civili e militari, la ricerca di base non è incentivata e Napoli subisce un progressivo isolamento dalla comunità scientifica europea: alla figura dello "scienziato puro" viene preferita quella del "tecnico scienziato".

Vincenzo Lamberti: ingegnere napoletano

Questa nuova figura di "tecnico scienziato" è ben rappresentata da Vincendo Lamberti. Le fonti bibliografiche, piuttosto scarne, non consentono una ricostruzione cronologica completa della

sua formazione e della sua attività di ingegnere. I dati più esaustivi sono reperibili nel testo di Camolli [1] in cui si legge che Vincenzo Lamberti nacque a Napoli nel 1740 da Giovanni, discendente da una antica famiglia di scultori toscani. Il padre lo avviò presto agli studi matematici sotto la guida di Vito Caravelli, affermato maestro, il cui interesse per la conoscenza era affiancato da un uguale amore per la didattica che lo induceva a semplificare e chiarire la trattazione della materia, per poter divulgare agevolmente il pensiero matematico classico e moderno. La formazione si completò nelle scuole di Giovanni Bibiena ed Antonio Baldi, maestri di disegno e di principi pratici per l'architettura e si arricchì, successivamente, con la frequentazione dell'Accademia delle Scienze e Belle Lettere, di cui il Lamberti fu anche socio; in questa occasione ebbe contatti con Felice Sabatelli, Nicola Maria Cercani, Giuseppe Orlandi, Giuseppe Marzucco, tutti impegnati nello sviluppo e nella divulgazione delle conoscenze fisico matematiche in ambito napoletano.

Stimolante, anche se spesso conflittuale, fu il suo rapporto con Niccolò Carletti, architetto di spicco nel panorama culturale del Regno di Napoli.

L'impostazione scientifica assimilata da Vito Caravelli influenzerà tutta l'opera del nostro autore: egli rimarrà essenzialmente un teorico ed anche nelle attività pratiche cercherà di trasferire, in forma semplificata, i principi matematici e le conoscenze meccaniche avanzate, per generalizzare le sue esperienze e renderle fruibili dagli operatori del settore. Già nella sua prima opera, la "Voltimetria retta, ossia misura delle volte", pubblicata nel 1773, l'impostazione squisitamente teorica è mediata dallo scopo eminentemente pratico: valutare con esattezza la quantità di pietrame necessario alla costruzione e le giornate lavorative per la messa in opera delle stesse, al fine di consentire un accurato preventivo e consuntivo dei lavori eseguiti.

I giudizi sull' opera sono più che positivi; nelle Effemeridi Letterarie di Roma è scritto che "[…]*si dimostra eccellente Matematico e pratico osservatore. Riduce ogni cosa a calcoli esattissimi, e noi in esso non brameremmo altro che una maggior freschezza e leggiadria nello esprimersi.*[…] *Il trattato è compiuto, sodo e da gran Maestro dell'arte"*. Sulla sua attività di Ingegnere si conosce poco; nota è, invece, la sua partecipazione alle dispute che hanno accompagnato la realizzazione di alcune importanti opere. Fra tutte, si ricorda la sua netta presa di posizione sul restauro della cupola del Gesù Nuovo. Nel 1769, appena ventinovenne, contrastò vivacemente il parere di notissimi architetti come il Fuga, il Gioffredo e il Vanvitelli che propendevano per la demolizione dell'opera del Guglielmelli, sostenendo che le lesioni fossero causate da un cedimento differenziale delle fondazioni attribuibile alle infiltrazioni dell' acqua proveniente dalla cisterna prossima al piede del pilastro maggiormente lesionato. Le successive traversie della cupola testimoniano, oggi, come la sua ipo-

tesi, all'epoca minoritaria e perdente, fosse una felice intuizione.

La Statica degli Edifici

Particolare attenzione deve essere dedicata all'analisi della sua opera più significativa "*La Statica degli Edifici*" stampata a Napoli nel 1781, un'opera in cui il Lamberti sintetizza la sua formazione scientifica con l'esperienza tecnica acquisita in qualità di ingegnere del Regno.

Nella prefazione riassume chiaramente la struttura e le finalità del suo contributo "[…]*Il presente trattato è diviso in due libri, nel primo si analizzano i componenti della fabbrica, e nel secondo si espongono le teorie di qualunque volta contro i piedi dritti, ove poggiano, dalle quali teorie se ne deducono le pratiche semplicissime per trovare le grossezze di essi, acciò non si facciano troppo deboli a non poter reggere le parti dell'edificio, ne si facciano di una inutile grossezza, che tende ad un gravoso dispendio dell'edificare* […] *Dalle regole generali teoriche si è dovuto discender a consultar con l'esperienza, per l'applicazione delle teorie.*" Conclude la sua prefazione precisando che l'opera è destinata non soltanto agli "*Architetti scientifici*", ma anche, se non soprattutto, agli "*Architetti pratici*"; di conseguenza preferisce utilizzare un lessico comune piuttosto che una rigorosa terminologia matematica, ritenendo che fosse più facile ai primi adattarsi ad un linguaggio semplice che ai secondi comprendere una formulazione dotta.


STATICA DEGLI EDIFICJ

DI

VINCENZO LAMBERTI

INGEGNERE NAPOLETANO

DEDICATA

A S. E.

IL SIGNOR

D. GIUSEPPE BECCADELLI

DI BOLOGNA

IN NAPOLI MDCCLXXXI

Fig. 1 - V. Lamberti, Statica degli Edifici *Frontespizio*

La finalità non è originale. Un simile esplicito intento si ritrova nel trattato di Bernard Forest de Belidor *La science des Ingénieurs* del 1729, nel *Traité des ponts* di H. Gautier, architetto, ingegnere e ispettore Des Ponts & Chaussées du Royaume, pubblicato a Parigi nel 1714 (2° ed. Parigi, 1729) ed in altri testi coevi, quasi a testimoniare la volontà di ricucire il divario che si stava generando tra teoria e pratica, trasformando in regole fruibili dai tecnici le leggi che la nascente Scienza delle Costruzioni andava sistematizzando.

Del tutto originale è, invece, la modalità con cui il Lamberti traduce le formule generali in pratiche costruttive: egli ricava le regole di proporzionamento risolvendo teoricamente un problema base, costruito con esplicito riferimento alle tecnologie ed alle proprietà dei ma-

teriali locali; la soluzione è poi generalizzata a tutti i casi geometricamente simili, attraverso formule che introducono le effettive proporzioni dell'oggetto da realizzare. La peculiarità della trattazione fornisce ulteriori motivi di interesse: dalla descrizione dei modelli utilizzati è possibile ricostruire le tipologie e le modalità costruttive più frequenti nell'edilizia settecentesca napoletana; dall'analisi della resistenza dei materiali emergono dettagli significativi sulle proprietà meccaniche dei singoli componenti e sulla composizione delle murature.

Libro I - Analisi de' componenti della fabbrica

Il primo libro, diviso in sei capitoli, è essenzialmente descrittivo ma ricco di riferimenti bibliografici che mettono in evidenza la vivacità culturale che caratterizzava, all'epoca, il Regno di Napoli. I primi quattro capitoli trattano i componenti elementari: le terre, le pietre, la calce e i suoi effetti. Per ciascuno di essi, oltre ad una descrizione delle caratteristiche principali e ad indicazioni per individuarne la qualità, sono sottolineate una serie di norme a cui è opportuno attenersi se si vuole ottimizzare il loro impiego nelle diverse tipologie edilizie. Fra le terre è dedicato ampio spazio alla Pozzolana, distinguendola per colore e profondità del giacimento; nel capitolo sulle pietre, nel complesso molto sintetico, vengono confrontate le qualità di differenti tufi campani.

Negli ultimi due capitoli si cominciano a delineare alcune ipotesi teoriche su cui si articolerà il trattato. Il quinto capitolo tratta "Della coerenza de' corpi" e riprende la distinzione Galileiana tra resistenza assoluta e relativa per introdurre il concetto di "coerenza" dei materiali; nel sesto capitolo, dedicato alle fondazioni, l'Autore definisce la pressione e le regole per calcolarla, fornisce norme elementari per proporzionare la base di appoggio in funzione della resistenza del suolo, descrive le più opportune tipologie di fondazioni in relazione alla differenti strutture geologiche e morfologiche del terreno, ma, soprattutto, introduce la leva, che costituirà lo strumento teorico principe di tutta la trattazione successiva.

Libro II - Dello sforzo delle volte contro i piedi dritti ove poggiano

Come indicato nella prefazione e nel titolo, il secondo libro, diviso in dieci capitoli, tratta il comportamento dei diversi tipi di volta, per dedurre il dimensionamento delle stesse e dei piedritti su cui poggiano.

Fondamentale, per gli sviluppi successivi, risulta essere il Cap. III dedicato alla "*resistenza de' corpi nel frangersi*".

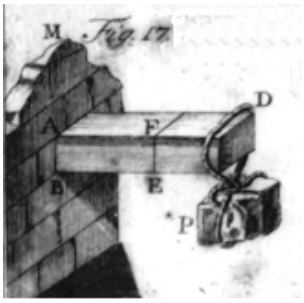


Fig. 2 - da Lamberti, Tav 1

Prima di introdurre i teoremi il Lamberti precisa che "*La coesione de' Corpi si ripete dall'attrazione: questa viene con maggior forza ad essere superata, se per dritto si tirino i solidi, e con minore se per traverso si violentino; da ciò dipende la distinzione fatta di coerenza assoluta e relativa* […] *e comecchè della seconda deesi tener conto in questa pratica, n'esporremo perciò le teorie con esaminare le proporzioni delle lunghezze, e grossezze in rapporto alle resistenze*".

Il problema è affrontato utilizzando il modello già proposto da Galileo. Con terminologia moderna, le ipotesi implicano che il materiale sia indeformabile, infinitamente resistente a compressione e limitatamente resistente a trazione.

In questo ambito, l'equilibrio del solido può essere studiato, (Fig. 3), come una leva angolare con fulcro nel punto B, potenza (comprensiva del peso P_c del corpo) applicata nell'estremo libero C e resistenza distribuita lungo la linea AB, linea di frattura.

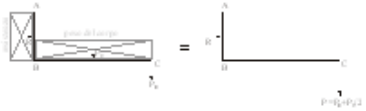


Fig. 3 - Applicazione della leva angolare

Costruita la relazione base

$$\frac{P}{R}=\frac{AB}{2BC} \qquad (1)$$

gli è possibile determinare il rapporto tra le potenze (o le resistenze) di due solidi, al variare delle caratteristiche geometriche degli stessi.

Tra i tanti problemi che risolve meritano un accenno quelli in cui definisce le condizioni di isoresistenza, finalizzate a fornire regole pratiche per la sostituzione di elementi strutturali. Molte di queste applicazioni sono formulate come conseguenze del Teorema IV del Cap. III - *Le resistenze di due cilindri d'ineguale basi, e differenti lunghezze, sono nella ragion composta della triplicata de' diametri delle basi, e della inversa delle lunghezze* -

Di interesse, per le successive applicazioni, è il confronto tra la resistenza della mensola e quella della trave su due appoggi: "[…] *la resistenza cresce nella ragion dupla a que' prismi o cilindri che saran sostenuti ne' due estremi, di quelli che fissi nel muro son sostenuti da un solo estremo"* (Fig. 4).



Fig. 4 - da Lamberti: Tav II, fig. 22

Un aspetto da evidenziare è l'attenzione che Lamberti dedica alla determinazione della resistenza dei materiali. Egli, alla luce delle sperimentazioni note (Mariotte, Parent, Musschenbroek, ecc.), assume a priori "*indeterminabile la ragione costante, tra la forza assoluta e quella relativa a rompersi un solido*" ed organizza una serie di esperimenti per ricavare i valori della "resistenza relativa" nei differenti materiali in uso in Campania: tufo, piperno, calce con pozzolana.

Esperimenti sul tufo

Le prove, effettuate su piccoli elementi prismatici di dimensioni 4 minuti×4 minuti×7,5 minuti, incastrati ad un estremo e caricati sulla base libera, forniscono un carico di rottura di 148 once.

Esperimenti sul piperno

Le prove, effettuate su piccoli elementi prismatici di dimensioni 2,5 minuti×2,5 minuti×10 minuti, appoggiati agli estremi e caricati nel punto medio, forniscono un carico di rottura di 583,33 once.

Esperimenti su calce mista a pozzolana

Le prove, effettuate su piccoli elementi prismatici di dimensioni 3 minuti×4 minuti×5 minuti, incastrati ad un estremo e caricati sulla base libera, forniscono un carico di rottura di 47 once.

Il Lamberti, successivamente, rielabora teoricamente i dati sperimentali, utilizzando il Corollario II del Teorema IV enunciato sopra, allo scopo di ottenere valori indipendenti dalla geometria del campione e dalle modalità di prova; perviene così alla definizione del carico di rottura di provini cubici, di lato 1 palmo napoletano, incastrati ad un estremo e caricati sulla base libera:

tufo campano - carico di rottura = rotoli1873;

piperno - carico di rottura = rotoli 10080;

calce con pozzolana - carico di rottura = rotoli 939.

Utilizzando questi valori, attraverso proporzioni geometriche, determina la lunghezza limite di prismi a base quadrata, di area pari ad un palmo quadro. La soluzione di questi casi costituisce il dato di partenza per lo studio dei problemi successivi, in cui variano le geometrie e le condizioni di vincolo e carico.

Il metodo di Lamberti si evidenzia, quindi, fin dai primi capitoli: risolvere un caso particolare da adottare come base per costruire formule generali in cui gli unici elementi variabili saranno i dati geometrici del nuovo problema!

Alla stessa filosofia si può ricondurre il criterio con cui il nostro Autore ricava la resistenza di un arco semicircolare: costruire un rapporto tra le resistenze dell'arco e di un prisma, solidale con i piedritti, tenendo conto del diverso meccanismo di rottura dei due elementi strutturali (Fig. 5).

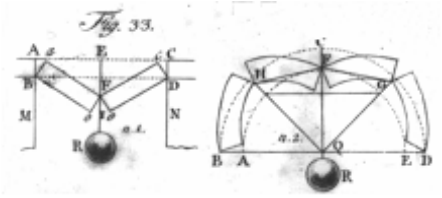


Fig. 5 - da Lamberti: Tav II, fig. 33.1,2

Egli assume che le due strutture, ambedue incastrate nei piedritti M ed N, abbiano lo stesso spessore e siano costituite dallo stesso materiale.

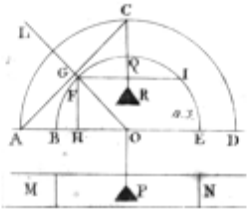


Fig. 6 - da Lamberti: Tav II, fig. 33.3

In queste ipotesi dimostra che (Fig. 6):

$$\frac{P}{R} = \frac{3}{5}\frac{FQ + AG}{BE} \qquad (2)$$

dove P ed R sono rispettivamente i carichi di rottura del prisma e dell'arco ed il fattore 3/5 è motivato dal differente numero di sezioni fratturate necessarie per generare il meccanismo. Il risultato a cui perviene è viziato dall'assunto, all'epoca ancora dominante, che la rottura alle reni sia localizzata sul concio inclinato a 45° e dall'apposizione del fattore correttivo 3/5, che contrasta con una precedente eguaglianza. Applicando la formula ad una geometria precisa, ricava il rapporto P/R che utilizzerà come fattore costante nelle successive "*pratiche*", per costruire le proporzioni da utilizzare nella determinazione del carico di rottura o dello spessore di un arco di dimensioni generiche.

Il breve spazio di una nota non consente di illustrare tutti gli esempi di questo trattato estremamente ricco di soluzioni concrete a problemi specifici. Non è tuttavia possibile non fare almeno un accenno al modo con cui Lamberti costruisce le "*pratiche*" per il dimensionamento dei sistemi complessi.

La trattazione è articolata sulla relazione tra il massimo carico che può essere sopportato dalla struttura e la geometria di quest'ultima, tenendo conto del possibile meccanismo di collasso globale; allo scopo il sistema è decomposto nelle parti elementari - muri, archi, ecc… - studiate in dettaglio nei capitoli IV e V.

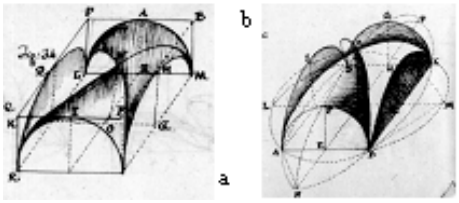


Fig. 7 - da Lamberti, Voltimetria Retta (1773)

Ad esempio, nel Capitolo VIII dedicato alle spinte della volta a crociera, l'Autore ricorda che esse sono generate dall'intersezione di due semicilindri – volte a crociera senza riguglio (Fig. 7a) - o dall'intersezione di due sferoidi - volte a crociera con riguglio (Fig. 7b) - e ne deduce il comportamento statico analizzando le modalità costruttive del sistema.

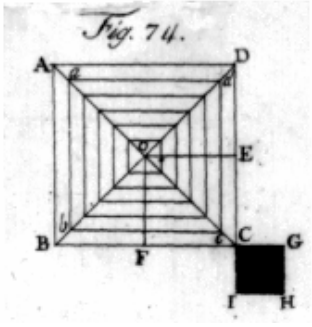


Fig. 8 - da Lamberti: Tav VII, fig. 74

Supponendo che la forma ABCD di Fig. 8 rappresenti la pianta dell'edificio, le diagonali AC e BD dividono la volta in quattro parti, mutuamente contrastantesi: *"le forze di tutt' i semiarchi frenati dal triangolo BOC, incontrandosi con quelle de' semiarchi frenati dal triangolo COD, agiranno per la diagonale OC"*, di conseguenza, ciascun elemento del campo voltato si può proporzio-

nare come elemento isolato, utilizzando le espressioni ricavate in precedenza.

L'elemento più sollecitato risulta essere il pilastro CGHI, "*spinto dall'arco per lungo il lato BC, da quello per lungo il lato DC, e dalla diagonale OC della volta.* […] *Le forze, colla di loro convergenza si dirigono verso la medesima diagonale OC, prolungata*". La forma del pilastro, dunque, deve essere simile alla forma della pianta e le sue dimensioni possono essere ricavate applicando la "*pratica I"* all'arco teorico avente per corda la diagonale AC (Fig. 9):

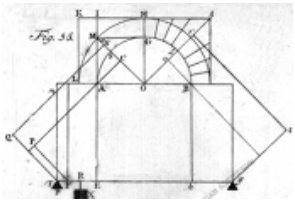


Fig. 9 - da Lamberti, Statica degli Edifici, *Tav IV, fig. 56*

"*I - Deesi trovar la potenza, diminuita nella forza morta, come si è detto nei passati esempi, e si noti*

II - Trovasi un quarto proporzionale dopo il prodotto del numero costante 185,36 per l'altezza del piedritto della volta, di cui se ne va cercando la grossezza, il prodotto del numero costante 24, per la notata potenza e per lo raggio della medesima volta; ed il terzo termine sarà il numero costante 42,25. Del detto quarto proporzionale estraendosi la radice quadra, questa sarà la grossezza del piede dritto, che si va cercando".

I numeri costanti che figurano nella "pratica" sono stati ricavati applicando la teoria generale ad un arco in tufo di raggio AO=8, altezza AE=24 e spessore HG=4 (Fig. 9).

È interessante soffermarsi su una osservazione relativa alle due diverse tipologie di volte a crociera. Nelle volte senza riguglio, i campi voltati non esercitano sforzo sugli archi di bordo; quelle con riguglio, invece, li caricano obliquamente. Tuttavia, l' intensità di queste forze è piccola rispetto a quelle esercitate sulla diagonale e, pertanto, lo spessore dell'arco, pari a quello del piedritto che tiene conto dei carichi maggiori, è certamente in grado di assorbirle.

Nel Capitolo dedicato alle Volte a Cupola, l'autore individua due problemi da studiare: "*le resistenze in rapporto a se, e rispetto a' piedi dritti che le sostengono*". Anche in questo caso, per la soluzione del primo punto, l'autore rimanda al problema dell'arco ritenendo che il crollo di queste forme architettoniche possa avvenire soltanto dopo che si siano verificate le fratture lungo i meridiani.

Nell'avvenimento VI del capitolo IX è esplicitata la 'pratica' per risolvere il secondo problema (Fig. 10).

"*Per avere adunque la grossezza del tamburro a poter soffrire lo sforzo della cupola deesi prima trovare la potenza, la qual è la superficie della sezione BLCFKE, e ad essa deesi aggiungere il profilo del finimento O, con diminuirla ed avanzarla nella ragion delle densità delle maniere se son diverse da quelle del tamburo, questa potenza*

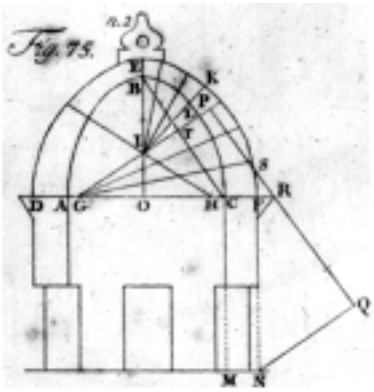


Fig. 10 - da Lamberti: Tav VII, fig. 75

deesi diminuire nella sua forza morta, ed indi deesi…

I - Trovar la CT come si è detto nell'avvertimento precedente e si noti.

II - Dopo il prodotto del numero costante 66,2 per la data altezza del piededritto; il prodotto del numero costante 30, per la potenza riferita di sopra e per lo valore di CT notato nel numero uno; ed il numero costante 32,83, trovisi un quarto proporzionale la radice quadra del quale sarà la grossezza del tamburo", dove, ancora una volta, i termini costanti sono la soluzione di uno specifico problema assegnato.

Un ultimo accenno deve essere fatto al Capitolo X – *Dell'origine delle lesioni* – perché questo contributo è il più originale, non essendovi analogo nei trattati coevi.

Il Lamberti individua sei cause generatrici delle lesioni: *la mancanza di pedamento* – da cui dipende l' inclinazione nel piano e fuori piano di parte dell'edificio; *lo scuotimento* – che determina la separazione di parti; *l'eccessivo peso sovrapposto* - che genera lesioni irregolari soprattutto in prossimità dei vuoti; *la cattiva costruttura ed antichità* - causa principale dei crolli; ed infine, *il rassetto dell'edificio* e *l'aspetto maggiore o minore dell'edificio a quello del Sole* - che provocano esclusivamente lesioni capillari.

Riguardo alla prima causa precisa che può essere determinata dalla particolare natura del terreno ma, più spesso da infiltrazioni d'acqua o cattiva esecuzione delle fondazioni. In questo ambito, confronta i quadri fessurativi di una parete piena (Fig. 11a) e una parete con vuoti (Fig. 11b) soggette ad un cedimento fondale nella parte mediana, con quello di un cedimento nell'angolo dell'edificio (Fig. 11c).

Dopo aver descritto in dettaglio l'evolversi delle fratture, conclude: "…dunque le mancanze, framezzate alle parti dell'edificio, generano le lesioni divergenti in giù, e convergenti verso sopra; al contrario le mancanze nelle parti estreme di un edificio partoriscon le lesioni divergenti sopra. Essendo gli effetti proporzionali alle cause, se queste sono istantanee saran di repente gli effetti".

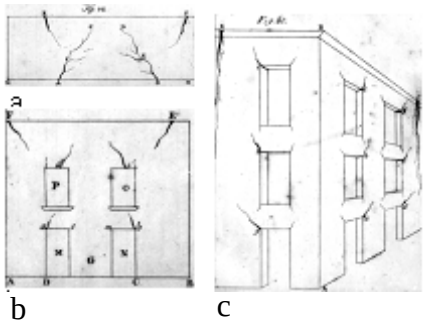


Fig. 11 - da Lamberti: Tav VII-VIII, figg. 78-80

Per illustrare la terza causa - eccessivo peso sovrapposto - considera una cupola gravata da un pesante lanternino (Fig. 12). Osserva che le prime lesioni si verificano nella calotta, in prossimità dei vuoti, secondo le linee p, n e q. Nel tamburo sottostante, se sono presenti solo aperture allineate, si svilupperanno fratture corrispondenti (linea h), qualora invece esistessero anche vani intermedi le lesioni su questi saranno inclinate (linee i ed m) e convergenti verso le precedenti.

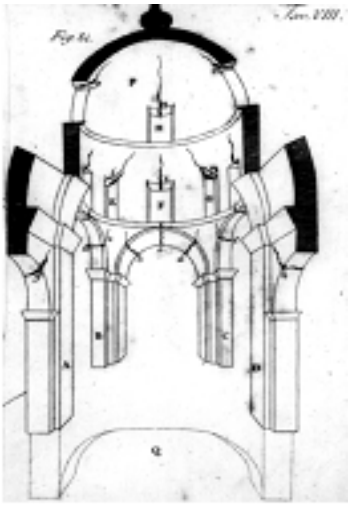


Fig. 12 - da Lamberti: Tav VIII, fig. 81

Consapevole della natura evolutiva di fratture prodotte da "*cause perenni*" precisa che, se gli arconi ed i pilastri non sono sufficientemente robusti, il fenomeno può propagarsi e provocare il crollo totale della struttura.

Bibliografia

[1] V. LAMBERTI – *La Statica degli Edifici*, Napoli, 1781.

[2] A. COMOLLI – *Bibliografia critica dell'architettura civile ed arti subalterne*, Roma, 1788 – 1792, p.p. 260-265.

[3] F. ABBATE, L. BOVE, L. DODARO-M. LIPPIELLO – *A peculiar architecture: the open staircase of Naples*, 1st International Congress History, Madrid 20-24 Gennaio (2003).

[4] G. CANTABENE, L. DODARO, M. LIPPIELLO - *The repairs to the dome of the Chapel of St. Gennaro's Treasure: an Eighteenth-century dispute between F. Sanfelice and G. Lucchese*, The Second International Congress on Construction History, Cam-

N. B.: Tutte le citazioni sono tratte da "La Statica degli Edifici" di V. Lamberti, [1].

LUCIANO BOSCOTRECASE

Dalla cultura tecnica settecentesca alla meccanica di Navier

Introduzione

Obiettivo di questo studio è di cogliere il passaggio tra la cultura tecnica settecentesca ed il nuovo modo di concepire le Costruzioni che si venne sviluppando nei primi decenni del XIX° secolo, sotto la spinta dei primi sviluppi sistematici della Scienza delle Costruzioni e della disponibilità su scala industriale del ferro e della ghisa.

Per raggiungere questo obiettivo senza eccessive dispersioni, si sono individuati tre personaggi chiave di tale evoluzione :

- B.F de Belidor (1697-1761)
- G. Rondelet (1734-1829)
- L. Navier (1785-1836)

Il de Belidor infatti nel suo trattato "La Scienza degli ingegneri nella direzione delle opere di fortificazioni e d' architettura civile" sintetizza le conoscenze settecentesche riferendosi alle teorie più convenzionali ed ignorando i contributi teorici dei suoi contemporanei come Eulero ed i Bernoulli.

Il Rondelet è un viaggiatore che visita, osserva, misura le dimensioni dei monumenti in Francia ed in Italia. Da questa estesa banca-dati che si è quindi formato e dalla teoria cui anche si riferisce, trae le regole costruttive che espone nel suo " Trattato teorico e pratico dell' arte di edificare ", ispiratore di tutti i Manuali costruttivi ottocenteschi e testo adottato nella Scuola reale di Belle Arti, presso la quale fu professore emerito.

Il Navier infine è una personalità completa: scienziato di grande qualità attento anche agli sviluppi storici nel settore, docente dell' Ecole Polytecnique in grado di trasmettere il suo sapere in modo comprensibile ed applicabile, progettista in particolare di ponti.

Il suo trattato "Résumé des Lecons …sur l' application de la mecanique…" è forse il primo testo in cui la la Scienza delle Costruzioni comincia ad assumere l'aspetto che oggi consideriamo "classico", mentre la sua opera di docente nei primi decenni dell' ottocento ha contribuito a formare in Francia una classe di ingegneri cui si devono molte grandi realizzazioni dell' architettura del ferro.

Questo studio, che si sviluppa quindi attraverso l' esame dei più importanti contributi forniti dai citati personaggi, non può e non vuole essere esaustivo degli sviluppi della Meccanica delle Costruzioni nel periodo considerato. Restano fuori da questo percorso grandi personalità, quali ad esempio Eulero, i Bernoulli, Lagrange, Coulomb, Lamé, Clapeyron, Young, Cauchy, Pois-son ed altri, cui si accennerà solo per l' influenza che hanno esercitato. Lo studio che si presenta è una sintesi di una più ampia ricerca sulle personalità prese in considerazione. Nell'esposizione, si è cerca-

to di conservare la simbologia originale, per quanto possibile.

B.F. de Belidor

Il Trattato citato (1729) è uno specchio fedele della cultura tecnica settecentesca, mentre al contrario nessuna attenzione viene riservata agli studi teorici, pur notevoli, che si sviluppano contemporaneamente. I modelli presi in esame sono semplici: il piano inclinato, la leva; a tali modelli si aggiungono le conoscenze sull' equilibrio delle forze e dei momenti e l'esperienza costruttiva personale o ricavabile da costruzioni del passato. In altre parole i risultati derivanti da un modello incompleto e semplice, venivano corretti empiricamente per tener conto di fenomeni fisici che non si ignoravano ma non si sapevano simulare. Il tutto agendo, da buon progettista, a favore di stabilità.

Ingegnere militare e docente nelle scuole che formavano gli specialisti in artiglieria e fortificazioni, pubblicò un volume sull' applicazione della matematica ai problemi dell' artiglieria e del genio militare. Ancora da ricordare il contributo nel campo dell' Idraulica.

In definitiva il de Belidor fu un sicuro riferimento per i progettisti settecenteschi nei campi citati. Al contrario, concordando con quanto espresso da Benvenuto, il suo contributo ai fini del progresso delle teorie scientifiche risulta alquanto modesto.

B.F. d.B. - Muri di sostegno

Il modello adottato è il piano inclinato: Un masso di terreno di forma prismatica e profondità unitaria tende a scivolare su di un piano inclinato di 45° privo di attrito ed è trattenuto dalla reazione del muro di sostegno (Fig. 1); il muro esercita una forza orizzontale in quanto a sua volta privo di attrito ed è a contatto con il terreno a mezzo di un piano verticale di altezza h.

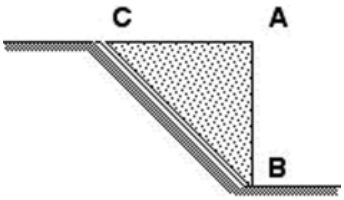


Fig. 1 -Modello: piano inclinato

Ne risulta una spinta pari al peso del volume A-B-C : $P = 0.5\ \gamma\ h^2$

Ma de Belidor era del tutto cosciente della povertà del modello (angolo α di inclinazione pari a 45° gradi per tutti i tipi di terreno, assenza di attrito) ed in base all' esperienza progettuale propone di ridurre la spinta alla metà, adottando il diagramma di spinta di Fig. 2, con $P = 0.25\ \gamma\ h^2$.

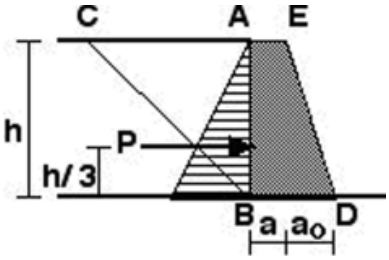


Fig.2 - Diagramma di spinta

La condizione limite al ribaltamento $M_{st} = M_r$ (con $M_r = g\ h^3/12$) consente di ricavare una equazione di secondo grado la cui radice positiva porge la formula di progetto:

$$a = -a_0 + \sqrt{\frac{a_0^2}{3} + \frac{\gamma}{\gamma_m}\frac{h^2}{6}}$$

(con γ e γ_m pesi specifici del terreno e della muratura).

Oggi noi valutiamo il momento ribaltante come segue:

$$M_r = \frac{1}{6}\,\gamma\, h^3\, tg^2\,(45 - \frac{\varphi}{2})$$

Come si mostra in Fig. 3, dove sono diagrammati i valori di Mr con tale ultima formula e con quella di de Belidor , il modello dello stesso de Belidor è sempre a vantaggio di stabilità.

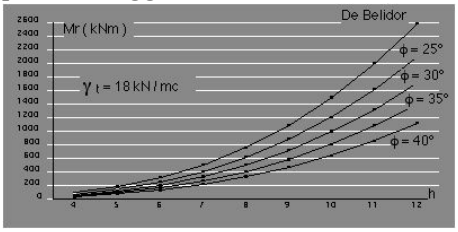


Fig. 3 - Momento ribaltante

B.F. d.B. - La statica degli archi

Il de Belidor ripropone, per il problema dell' equilibrio degli archi, il modello a rottura di De La Hire. Tale modello ipotizza che la parte centrale dell' arco, delimitata da raggi con inclinazione di 45°, funzioni da cuneo su superfici prive di attrito e provoca quindi la rotazione di ciascun piedritto e della porzione di arco ad esso solidale intorno allo spigolo esterno (Fig.4).

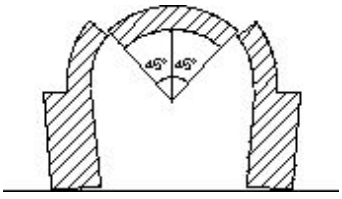


Fig. 4 - Modello scorrimento

Si individua così una leva e la condizione di equilibrio di essa è anche la condizione limite di equilibrio dell'arco.

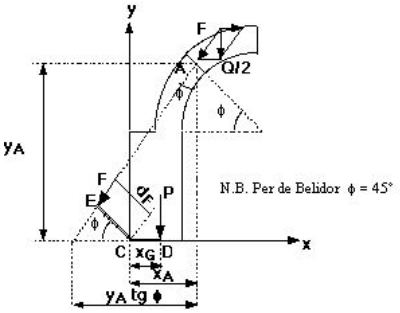


Fig. 5 - Equilibrio della leva

Con le notazioni di Fig. 5, detto Q il peso della parte centrale dell' arco e P il peso del piedritto e della porzione di arco solidale, la condizione limite di equilibrio alla rotazione è

$$F\,dF = P\,x_G$$

Tenendo presente che :

$$F = \frac{Q}{2}\,\frac{1}{\cos\phi}\quad ;$$

$$dF = (y_A \bullet tg\,\phi - x_A)\cos\phi$$

si ricava :

$$P = \frac{Q}{2}\,\frac{y_A \bullet tg\,\phi - x_A}{x_G}$$

La formula, opportunamente rielaborata, porta ad una equazione di secondo grado la cui radice positiva fornisce la dimensione incognita (larghezza) del piedritto. Come si nota dalla Fig. 5 de Belidor ipotizza che le reazioni trasmesse dalla parte centrale dell' arco siano applicate a metà spessore e non all' intradosso come proposto da De La Hire; diverse quindi sono le leve individuate dai due autori.

I modelli proposti da De La Hire e de Belidor rappresentano certamente un

progresso concettuale e consentono dimensionamenti più contenuti rispetto alle antiche regole esclusivamente geometriche del passato. Tali modelli viziati dall' ipotesi di assenza di attrito, non consentono di individuare il meccanismo di rottura più pericoloso che sarà proposto correttamente solo in seguito dal Mascheroni (Fig. 6).

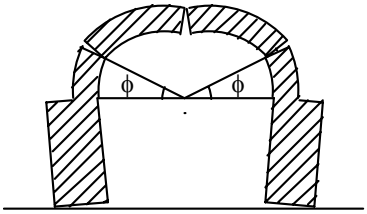


Fig. 6 - Modello flessionale

Tuttavia le formule di progetto proposte, anche se basate su modelli che non individuano correttamente il fenomeno, sono cautelative nel senso che forniscono dimensioni dei piedritti maggiori rispetto al modello Mascheroni. Esse furono quindi adottate per un lungo periodo, anche dopo la formulazione della teoria corretta.

G. Rondelet

Il Trattato del Rondelet citato, si articola in nove volumi che prendono in esame tutti gli aspetti sia teorici che costruttivi dell' arte di edificare. In questa sede ci interessa il IX° volume, dedicato alla Teoria delle Costruzioni. Nell' introduzione tale Teoria viene definita come la scienza che ha per oggetto la determinazione delle forme e delle dimensioni che si devono dare alle diverse parti degli edifici, onde assicurarne la solidità. Dopo aver osservato che la maggior parte degli autori che si sono occupati della Teoria e dell' Arte di edificare le hanno considerate indipendentemente l' una dall' altra, conclude che tale approccio è del tutto sbagliato. In particolare per quanto riguarda gli errori derivanti da "una cieca confidenza nella teoria", il Rondelet considera che "la maggior parte dei dotti che si sono occupati di quistioni relative all' arte di edificare, per rendere più generali le loro formule, hanno fatto astrazione dai processi dell' arte e dalla qualità dei materiali".

Per Rondelet il primo oggetto della Teoria deve essere l' osservazione e la riflessione su un determinato tema.

Dopo aver riconosciuto che calcolo, geometria e meccanica sono indispensabili per una analisi approfondita di una costruzione, conclude che tali mezzi non costituiscono da soli la teoria e che "molte cose nell' arte di edificare non possono essere conosciute che per esperienza".

Il IX° volume si articola quindi prima con una esposizione dei"principj di meccanica". Successivamente con metodi che Rondelet dichiara semplici si ricercano regole relative alla stabilità dei muri, alla spinta delle terre, alla "dottrina" delle volte. In definitiva le regole che stabilirà nella trattazione il Rondelet sembrano essere basate sia sui principi della meccanica che sulle osservazioni ricavate dall'esperienza.

Occorre ancora ricordare che il Rondelet fu progettista di chiara fama. Basta considerare il suo intervento risolutivo nel rinforzo dei piloni della chie-

sa di Saint Geneviève, trasformata nel Pantheon francese dopo la rivoluzione. In quella occasione il Rondelet mise a punto una macchina di prova per la resistenza delle pietre, che utilizzò in una serie di prove preliminari al progetto stesso.

Le regole di Rondelet per lo spessore dei muri isolati o controventati

Nello studio dei muri isolati o controventati Rondelet considera preliminarmente che "l'esperienza ha fatto conoscere che, negli edifici che non superano in elevazione gli ottanta piedi (26 ml.) lo spessore necessario a fornire una solidità sufficiente è molto più di quanto esigerebbe il peso da cui sono caricati". Dopo aver correttamente individuato i meccanismi di collasso per muri isolati o controventati da uno o due muri trasversali, Egli stabilisce per i muri isolati la regola di Fig. 7, basata a suo dire sulle osservazioni fatte su una grandissima quantità di edifici.

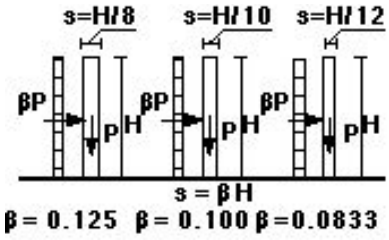


Fig. 7 - Regola di Rondelet per i muri isolati

Il coefficiente β assume uno dei valori riportati in figura, a seconda che si voglia forte, media o minima stabilità. In effetti con tale regola si stabilisce che il muro di peso P è in grado di sostenere una forza βP concentrata a metà altezza, come si evince dalla condizione $M_{st} = M_{rib}$. Per quanto riguarda i muri controventati Rondelet osserva che "quando si combinano (i muri) gli uni con gli altri, tali spessori possono essere ridotti". Osserva poi che "se l' avvicinamento è estremo lo squarciamento è impossibile e, in un grande allontanamento, la parete centrale non resisterebbe più di un muro isolato". Stabilisce quindi sulla base di "una infinità di esperienze, d'osservazioni e di calcoli", una semplice regola geometrica che fornisce il coefficiente β' necessario per determinare lo spessore s del muro :

s = β'H. Con riferimento alla Fig. 8, la "regola" in termini analitici si esprime con : β' = β cosϕ.

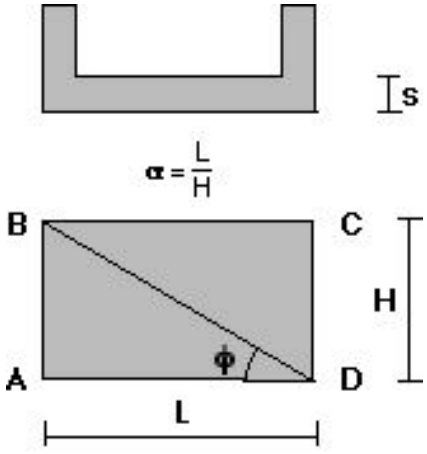


Fig. 8 - Regola per i muri controventati

La "regola" di Rondelet non esplicita il modello di rottura alla base della regola stessa. Una attenta osservazione tuttavia ha consentito di individuare tale modello. Si può ipotizzare che i muri trasversali siano in grado di impedire il

crollo, alle due estremità, di porzioni di muro longitudinale di forma triangolare di base 0.5 H ed altezza H. In Fig 9 si presenta il modello relativo ad L=1.5 H.

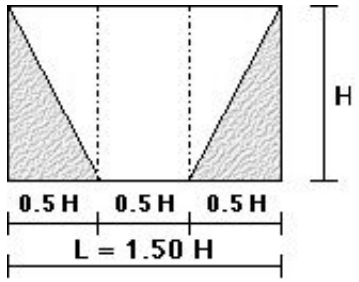


Fig.9 - Parete controventata con muri trasversali. Meccanismo di rottura ipotizzato

La condizione $M_{st} = M_{rib}$ fornisce il valore dell' incognita β'. La Fig. 10 mostra il confronto tra i valori di β' trovati con la regola di Rondelet e con il meccanismo ipotizzato.

α	Rondelet	$M_{st} = M_{rib}$
1.00	0.7071 β	0.6667 β
1.25	0.7808 β	0.7777 β
1.50	0.8321 β	0.8333 β
1.75	0.8682 β	0.8667 β
2.00	0.8944 β	0.8889 β

Fig. 10 - Valori di β'

G.R. - La teoria delle volte

Le volte vengono considerate essenzialmente dal punto di vista della spinta. Nella presentazione introduttiva il Rondelet considera: " Lo studio delle volte, considerato sotto il rapporto della loro spinta, è appoggiato su conoscenze teoriche che spiegano le condizioni ed i principj di Statica in virtù dei quali esse si sostengono, il che forma la teoria delle volte…" Prende in esame quindi gli studi teorici sulla teoria delle volte, cominciati con Parent e de la Hire, considerando i più importanti tra questi tra cui la Memoria di Coulomb (1773) e quella di Mascheroni (1785). Allo studio teorico originale della Teoria delle volte, premette una ricerca sulla teoria degli attriti. La conclusione a cui giunge è che le pietre cominciano a scorrere se poggiano su un piano inclinato con inclinazione a > 30° (Fig. 11). Di conseguenza lo sforzo della potenza orizzontale F (spinta) che trattiene il generico peduccio (concio) sulla sua connessura (sul concio inferiore) inclinata del generico angolo α è :

$$F = f \, tg \, (\alpha - 30)$$

con f peso del generico concio.

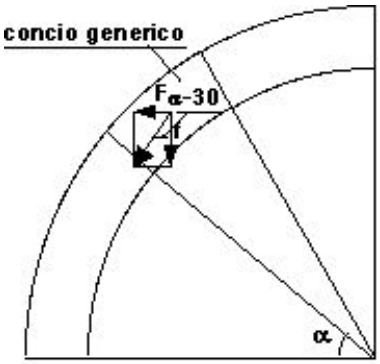


Fig.11 - Peso f del concio generico e potenza F

Sulla base di quanto detto il Rondelet fonda un primo metodo analitico per la determinazione dell' incognito spessore x del piedritto (Fig. 12).

Suddivisi il mezzo arco di raggio medio R in conci di apertura 20°, si osserva che :

- i conci I ed M non producono spinta orizzontale in quanto posti su connessure inclinata di angoli < 30°;

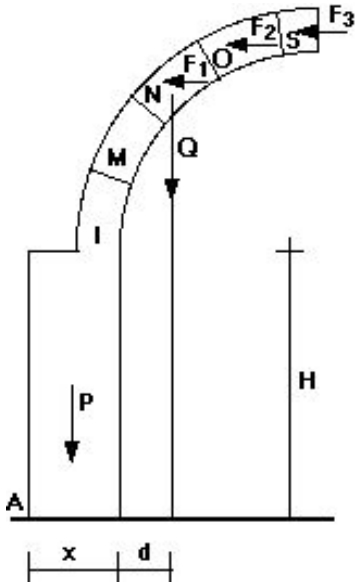


Fig. 12 - Primo metodo analitico

- per i conci N ed O e per il mezzo concio in chiave S le relative spinte vengono calcolate con la formula: $F = f\ tg\ (\alpha - 30\ )$;
- il momento ribaltante si valuta con l' espressione $Mrib = \sum Fi \bullet$ di con di braccio (verticale) di Fi rispetto al polo A;
- il momento stabilizzante si valuta con: $Mst = 0..5\ P \bullet x + Q\ (x+d)$ con Q peso del sermiarco e P peso del piedritto;
- la condizione limite $Mst = Mrib$ consente di ricavare una equazione di secondo grado, la cui radice positiva fornisce l' incognita dimensione x del piedritto.

Un secondo metodo grafico- analitico viene successivamente proposto dal Rondelet , chiamato II[a] regola, basato sulla considerazione che l'arco è costituito da conci"che si sostengono senza attrito grazie agli sforzi scam-bievoli che essi fanno gli uni sugli altri". Per brevità tale secondo metodo non viene esposto.

Nella tabella che segue si presenta, per curve d'intradosso circolare, un confronto tra i risultati ottenuti con i due metodi di Rondelet e con quelli del Mascheroni, per vari valori del rapporto H/R.

H/R	Reg. 1 x/R	Reg. 2 x/R	Mascher. x/R
0.75	0.1974	0.2415	0.2404
1.00	0.2348	0.2984	0.2704
1.25	0.2597	0.3281	0.2931
1.50	0.2907	0.3460	0.3108
1.75	0.2974	0.3576	0.3249
2.00	0.3109	0.3658	0.3363
2.25	0.3222	0.3718	0.3457
2,50	0.3315	0.3764	0.3536

Si nota che gli spessori dei piedritti che si ottengono con la II[a] regola sono maggiori di quelli che si ottengono con la I[a] regola, mentre gli spessori ricavati con il procedimento del Mascheroni sono intermedi tra quelli relativi alle due regole del Rondelet. Da notare che lo stesso Rondelet consiglia di incrementare gli spessori ricavabili dalla prima regola di 1/6 e quelli ottenuti dalla seconda regola di 1/8.

L. Navier

L' innovazione culturale di Navier è chiaramente esposta nel suo Trattato già citato. Dopo aver ricordato i primi tentativi di Galilei per analizzare la "resistenza dei corpi agli sforzi che tendono a romperli", si citano gli studi di J. Ber-

noulli, Leibnitz, Eulero, La Grange. Inoltre sono richiamate le numerose esperienze sulla "forza" (resistenza) dei materiali, tra cui in particolare quelle di Buffon. Infine si cita Coulomb per aver dato i principi di equilibrio delle volte e dei muri di sostegno.

A questo punto Navier esprime un giudizio che a prima vista può sembrare troppo drastico: "Queste ricerche sono state sino ad oggi più utili ai progressi dei matematici che al perfezionamento dell' arte delle Costruzioni".

Volendo tentare una interpretazione di tale giudizio, si può forse dire che per Navier gli studi citati, teoricamente corretti, non forniscono tuttavia strumenti di analisi semplici e facilmente utilizzabili nella pratica tecnica.

Questo è invece proprio quello che si propone Navier che tende a semplificare i problemi, ad esempio linearizzando le relative equazioni, fornendo sempre soluzioni brillanti e di buona applicabilità tecnica. Tornando al pensiero di Navier, egli considera che " la maggior parte dei costruttori dimensionano le strutture degli edifici o delle macchine in base agli usi stabiliti e d all' esempio delle opere esistenti; procedendo in tal modo non si rendono conto, se non raramente, degli sforzi che esse sopportano e della resistenza che oppongono". Questo modo di operare presenta pochi inconvenienti quando le opere che si progettano rassomigliano a quelle realizzate in precedenza e non si discostano di molto da esse nelle dimensioni e nei pesi. Ma questo procedimento non è utilizzabile quando si esce da tali limiti o quando si tratta di edifici di genere nuovo, per i quali non esiste esperienza.

L'oggetto del Trattato di Navier consiste quindi nell' esporre le condizioni di proporzionamento delle costruzioni e di permettere di verificare la resistenza di ciascuna parte della costruzione stessa. Navier individua nei materiali due qualità principali : la forza di elasticità (modulo E) e la resistenza a rottura. Ma questo non basta per le costruzioni, in quanto occorre conoscere non il peso che rompe un elemento strutturale, ma il peso con cui lo si può caricare senza che l'alterazione che subisce aumenti nel tempo. Questo concetto prefigura per la prima volta il concetto di " condizioni di esercizio".

Infine Navier dichiara che le condizioni da soddisfare in ogni progetto sono l'economia, la solidità e la durata; le regole esposte permettono quindi di individuare dei limiti che non si possono superare senza esporre l'opera a mancanza di solidità. Tuttavia non bisogna concludere che, per tener conto dell' economia, ci si debba sempre piazzare vicino a tali limiti. Le differenze che si trovano nella qualità dei materiali e molti altri motivi (legati forse all'esecuzione) si oppongono; l'arte, secondo Navier, consiste principalmente nel giudicare fino a che punto è permesso avvicinarsi.

Come si vede da quanto esposto, il pensiero di Navier è totalmente innovativo e rappresenta un punto di discontinuità con il passato. Vengono messi da parte i metodi basati sulla ricerca

delle condizioni limite di equilibrio; le strutture sono considerate elastiche e soggette alle condizioni di esercizio, che in genere mantengono le strutture stesse proprio in campo elastico.

L' insegnamento di Navier contribuisce quindi alla formazione, in Francia, di tutta una classe di ingegneri di qualità. Ma non è solo questo il merito di Navier. I contributi teorici alla teoria dell' elasticità, alla teoria delle membrane e delle laste inflesse sono essenziali per il successivo sviluppo ottocentesco della Meccanica applicata alle costruzioni, a partire dall' opera del suo allievo De Saint Venant.

Presentare in questa sede in modo esaustivo i contributi originali innovativi di Navier, in qualche pagina, non è possibile.

Saranno presentati solo alcuni contributi certamente significativi.

L. N. - Problemi iperstatici

I problemi che vengono presentati di seguito hanno notevole interesse storico. Essi infatti sono una esemplificazione dei primi tentativi di trovare soluzioni "tecniche", quindi facilmente comprensibili ed applicabili, per strutture iperstatiche. Lo strumento generalmente adottato da Navier è l' equazione differenziale della linea elastica :

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M$$

Si sono conservate le simbologie originali per mostrare le formule proposte. Si ricorda che Navier pone $\varepsilon = EI$.

Il primo caso presentato è quello della trave iperstatica di Fig. 14.

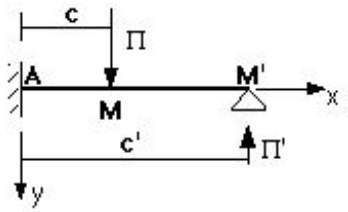


Fig. 14 -Trave iperstatica

Il procedimento si articola come segue:

1) Si scrive l' equazione della linea elastica per il tronco A-M esplicitando il momento in funzione di Π e Π'. 2) Si integra due volte; le costanti d'integrazione sono nulle per la condizione di vincolo in A. 3) Si scrive l' equazione della linea elastica per il tronco M-M' esplicitando il momento in funzione di Π'. Le costanti d' integrazione si ricavano con le condizioni di congruenza in M. In definitiva per il tronco M-M' si ricava la funzione abbassamento :

$$\varepsilon \cdot y = \Pi\left(\frac{c^2 x}{2} - \frac{c^3}{6}\right) + \\ -\Pi'\left(\frac{c' x^2}{2} - \frac{x^3}{6}\right)$$

Per x = c' deve risultare y = 0; quindi da tale equazione si trova Π':

$$\Pi' = \Pi \frac{c^2(3c' - c)}{2c'^3}$$

Il momento in A risulta: $M_A = \Pi c - \Pi' c'$.

Un secondo esempio di problema iperstatico presentato è relativo alla trave continua di Fig. 15.

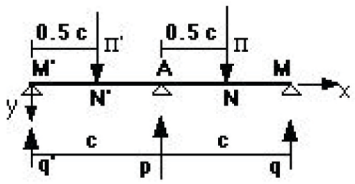


Fig. 15 - Trave continua su due campi

A proposito di trave con un numero di appoggi n > 2, Navier osserva che il problema della ricerca delle reazioni vincolari è indeterminato se si considera la trave rigida; per risolvere il problema occorre considerare l'elasticità della trave. Si indica con ω l'angolo formato in A dalla tangente alla curva elastica con l' asse orizzontale. Le condizioni di equilibrio alla traslazione ed alla rotazione rispetto ad A forniscono le due relazioni :

$\Pi + \Pi' = p + q + q' \; ; \; \Pi - \Pi' = 2\,(q - q')$

Si scrivono quindi per i quattro tronchi le equazioni differenziali della linea elastica, che vengono poi integrate due volte. Le costanti d' integrazione si determinano con condizioni di congruenza. Considerando poi che le equazioni dei tronchi N-M ed N'-M' devono fornire y = 0 per x = c, si ricavano due equazioni che, insieme a quelle di equilibrio risolvono il problema, consentendo di ricavare :

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{\Pi - \Pi'}{\varepsilon}\,\frac{c^2}{32}$$

$$p = \frac{22\Pi + 22\Pi'}{32}$$

$$q = \frac{13\Pi - 3\Pi'}{32}$$

$$q' = \frac{-3\Pi + 13\Pi'}{32}$$

Sostituendo tali valori nelle equazioni relative ai vari tronchi, si determina la deformata della trave. Il momento in A vale:

$$M_A = \frac{3\Pi + 3\Pi'}{32}c$$

L.N - Lastre inflesse

Navier affronta, nella Ricerca "Extrait des recherches sur la flexion des plans elastiques" del 1823, il problema della lastra inflessa di forma rettangolare di lati a e b e spessore h, appoggiata al contorno e soggetta ad un carico uniformemente distribuito (ovvero concentrato), ortogonale al piano della lastra. Nel caso di carico uniformemente distribuito è noto che il problema è retto dall' equazione differenziale:

$$\Delta\Delta w = \frac{p}{D}$$

Lo strumento analitico adottato è lo sviluppo in serie doppia di Fourier. La superficie elastica è descritta nella forma :

$$w(x,y) = \frac{16\,p}{\pi^6 D}\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\operatorname{sen}\frac{m\pi x}{a}\operatorname{sen}\frac{n\pi y}{b}}{mn\left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}\right)^2}$$

(con m=1,3,5,…; n=1,3,5…).

La freccia massima si ottiene per x = a/2 ed y = b/2.

La formula cui perviene Navier per la freccia massima è diversa nella forma ma sostanzialmente equivalente. La freccia massima viene presentata nella forma :

$$f = \frac{192\,p a^4 b^4}{\pi^6 E h^3}\left[\frac{1}{1\cdot 1\,(a^2+b^2)^2} - \frac{1}{1\cdot 3\,(a^2+3^2 b^2)^2} + \cdots\cdots - \frac{1}{3\cdot 1\,(3^2 a^2+b^2)^2} + \frac{1}{3\cdot 3\,(3a^2+3b^2)^2}\cdots\cdots\right]$$

Come si nota Navier considera correttamente D proporzionale al cubo dello spessore h, contrariamente a quanto sostenuto da Poisson e Cauchy che ritenevano D proporzionale al quadrato dello spessore. In definitiva Navier assume per D l'espressione:

$$D = EI = \frac{Eh^3}{12}$$

con I momento d' inerzia di una striscia di lastra di larghezza unitaria; viene quindi trascurato il coefficiente ν.

Solo successivamente con Kirchoff (1850) la teoria delle lastre inflesse arriva alla sua completa definizione e D assume definitivamente la formulazione :

$$D = \frac{EI}{1-\nu^2} = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$$

Resta comunque a Navier il merito di aver per primo impostato correttamente e risolto con uno strumento adeguato il problema della lastra rettangolare inflessa appoggiata al contorno.

Anche nel caso di carico concentrato al centro Navier propone una formula per la freccia del tutto corretta, ma sempre trascurando il coefficiente ν.

[1] E. Benvenuto, *La Scienza delle costruzioni ed il suo sviluppo storico*, 1981.

[2] B.F. de Belidor, *La Science des Ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, 1729.

[3] G. Rondelet, *Trattato teorico e pratico dell'Arte di edificare*, prima traduzione italiana 1833.

[4] L.Navier, *Résumé des Lecons donnée à l' école des ponts et chaussée sur l' application de la Mécanique à l' établissement des costruction et des machines*, 1826.

[5] L. Navier, *Extrait des recherches sur la flexion des plans elastiques*, 1823.

Bianca Gioia Marino

Note sulla diagnosi dei dissesti strutturali tra XVIII e XIX secolo

Con l'avvento ed il consolidarsi del pensiero illuministico nella cultura europea, la diagnosi dei dissesti strutturali dei manufatti architettonici assume dei contorni ben precisi e diviene un campo di studio da parte di tecnici/studiosi. Essa si incontra pure con la definizione dell'ambito disciplinare del *restauro* e, significativamente, ritroviamo nella cultura architettonica e in quella scientifica delle matrici comuni: l'esigenza di una metodologia di analisi, la definizione delle competenze scientifiche ed artistiche e, soprattutto, un diverso rapporto con l'Antico. Il differente peso e le diverse relazioni che in ogni campo disciplinare si sono intessute tra loro hanno dato via via luogo a diversi livelli di interpretazione della diagnosi nel consolidamento dell'architettura.

In tale ottica, qui si confrontano tre diversi approcci all'analisi, alla successiva diagnosi e poi indicazione di interventi su manufatti architettonici; approcci dislocati geograficamente, di diverso rilievo e, quindi, anche differenti come taglio interpretativo del proprio compito e, tuttavia, accomunati dal costituire un problema non tanto riconosciuto come "restauro", ma come "consolidamento"; vale a dire un intervento di natura espressamente e sostanzialmente "tecnica".

I casi in questione sono, in ordine cronologico, quello del restauro di Giovanni Poleni alla cupola vaticana, l'intervento ai *piliers* del *Panthéon* parigino che sembrano preannunciare il crollo della cupola, ed, infine, quello della risoluzione adottata per i problemi statici di S.Carlo Borromeo, la chiesa napoletana che presentava, analogamente, problemi alla cupola.

Tali episodi mostrano interessanti interconnessioni tra l'ingegneria e l'architettura, applicate, poi, all'intervento sull'architettura preesistente.

I problemi legati alla stabilità e agli interventi alle cupole sono affrontati, chiaramente, con una valenza scientifica in proporzione con le nozioni tecniche e meccaniche correnti[1] . Si deve pur considerare, ancora, che i casi che abbiamo preso a riferimento vengono discussi in un momento storico in cui si afferma il concetto di monumento come elemento urbano ben determinato e con particolari valenze simboliche. Non è qui superfluo richiamare il fatto che il "monumento" rappresenta "un nucleo di massimo prestigio nel nucleo urbano ed è generalmente al centro di una vasta zona organizzata in funzione dei suoi valori formali"[2] con un significato urbano rilevante. È proprio la cupola a rappresentare una delle tipologie in proposito più calzanti: quella di S.Pietro, o di St. Paul di Londra, o la stessa cupola *des Invalides* parigina esprimono bene tale connotazione[3] .

Nel *Mémoire historique sur le dôme du Panthéon français,* il saggio che J.Rondelet[4] dedicò ai problemi dell'intervento ai pilastri del *Panthéon* parigino, vengono ripresi, quali significativi ed imprescindibili precedenti, i restauri-consolidamento alla cupola vaticana, a quella di St. Paul di Londra, nonché la cupola, sempre parigina *des Invalides*. Inoltre, i due primi "precedenti" storici costituiranno, insieme alla chiesa di S.te Geneviève, nelle successive argomentazioni il *parterre* dal quale far partire tutti i ragionamenti di natura tecnica riguardanti l'intervento su strutture a volta e, nello specifico, sulle cupole. Ma, soprattutto, nel caso del *Panthéon* entrano in gioco diversi elementi come l'aspetto tecnico che la costruzione rivestì, il problema della formulazione degli eclettismi, l'incontro-scontro tra le mentalità rigorosamente scientifica e artistica nella loro fondazione disciplinare.

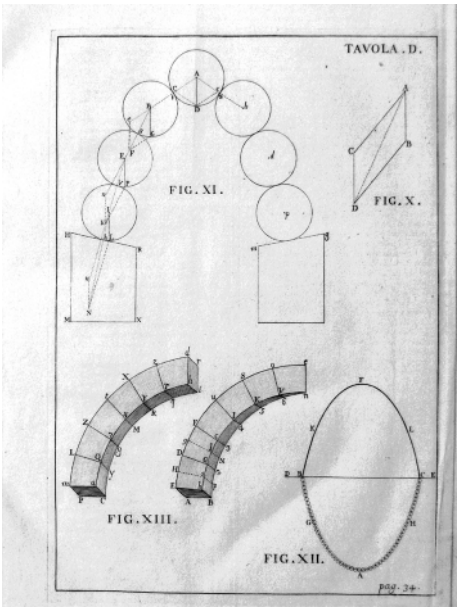


Fig. 1 – G. Poleni, studi sulla catenaria (Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano e dei danni di essa, e dé ristoramenti loro)

Tuttavia, ciò che in tale sede interessa non è tanto la mera esposizione delle modalità di approccio al problema di natura strutturale dei monumenti, quanto, invece, il ripercorrere quei momenti in cui si dipana ed insieme si fonde una visione ingegneristica ed un'altra fondata sugli aspetti interpretativi della fabbrica come monumento e come architettura, essendo questo uno dei versanti lungo il quale il restauro e la conservazione dei manufatti gioca la sua fondatezza.

Lo straordinario contributo che lascia Giovanni Poleni con la redazione delle sue *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano e dei danni di essa, e dé ristoramenti loro,* del 1747, rende in maniera molto lineare lo stato dell'arte in materia di conoscenze scientifiche applicate alla statica degli edifici e, nello specifico, alle strutture voltate. Com'è noto, l'intervento dello scienziato padovano per risolvere i problemi statici della cupola vaticana si presenta con una struttuta metodologica di grande rilievo per l'epoca e ancor oggi esemplare nel campo del restauro dell'architettura[5]. L'interpretazione dei dissesti di cui visibilmente la cupola michelangiolesca soffriva, venne dunque fondata su fasi metodologiche articolate secondo una struttura tuttora condivisibile in quanto interessa i due ambi-

ti di base, quello storico e quello tecnico che, nel progetto di restauro, si devono affrontare assegnando loro la medesima importanza.

La "fabbrica della Cupola" viene analizzata dalla sua concezione alla sua realizzazione, nonché attraverso le fasi diverse del cantiere[6].

Poleni richiama i diversi studi che, attraverso i tempi, hanno portato alla definizione della catenaria nell'analisi delle strutture ad arco. I riferimenti sono, nella gran maggioranza dei casi, di ambito francese; oltre a menzionare Carlo Fontana con il suo *Tempio Vaticano* in cui ragionò su *Regole occulte per il composto della Cupola* e su *Regole per le cupole semplici, & effetti di esse, e dell'altre doppie*, vengono citati P.François Derand, F.Blondel, G.F. de la Hire, A. Parent, Frézier, Dulacq. L'attenzione di Poleni si sofferma sulla individuazione della catenaria per cui richiama le *Transazioni Filosofiche della Società Reale di Londra* (1697) dove si argomenta sulla sua legittimità nello studio e nelle verifiche delle strutture ad arco[7]. La precisione, oltre alla competenza, con cui Poleni affronta il caso della cupola vaticana è testimoniata dalla densità delle argomentazioni presenti nelle *Memorie istoriche* e sulle quali non appare qui possibile ora soffermarsi[8]. I casi, dunque, delle tre "cupole" rappresentano le verifiche di un apparato di conoscenze che naturalmente nasce e si evolve all'interno del campo scientifico per trovare la sua applicazione a strutture monumentali. Sarebbe il caso di scandagliare il significato del termine "restauro" in tale frangente cronologico, ma questo esulerebbe dai tempi e dalla sede del presente contributo e porterebbe assai lontano per tratteggiare pur sinteticamente la questione. Basti a noi, allora, rintracciare alcuni punti di contatto e di sovrapposizione tra i contributi più specifici degli "scienziati" e dei matematici con le posizioni appartenenti alla cultura storica. Tali punti di contatto chiaramente sono più evidenti laddove sia in gioco una struttura "monumentale" con complessità costruttive e statiche rilevanti, come, appunto le cupole. Ed, ancora, tali punti di contatto vengono poi assimilati nella trattatistica quando si viene a trattare delle problematiche legate ai dissesti dei fabbricati che interessano, nella maggioranza dei casi, edifici storici e di interesse artistico.

Naturalmente ciò andava di pari passo con i progressi scientifici nel campo della statica e della meccanica[9]. La speculazione teorica intorno alle cupole si deve attribuire a P.Bouguer, il quale parte dalle posizioni di Bernoulli e scrive *Sur les lignes courbes qui sont propres à former les voûtes en dôme* nel 1734. Bernoulli, citato anche da Poleni, aveva sostenuto che un arco a forma di catenaria rovesciata resiste al suo peso e Bouguer sviluppa in termini matematici tale asserzione[10]. Diventa, poi, particolarmente interessante la circostanza, riportata ancora da E.Benvenuto, per la quale la successiva elaborazione teorica dell'abate Bossut - che presenta nel 1770 i suoi studi sulle volte all'Accademia di Parigi - risponda più alla disquisizione speculativa che non alla elabora-

zione di contenuti al servizio dell'Architettura. Sempre in proposito al rapporto tra arte e scienza[11] è singolare come sia sentita, già allora, la necessità della relazione reciproca tra i "due" campi laddove, nella seconda edizione della *Teoria delle macchine semplici* di Coulomb, l'editore rilevava come il progredire del campo scientifico comportasse quello delle arti, osservando che gli avanzamenti nella matematica sono vantaggiosi per «l'artista che sia abituato a leggere e studiare le opere degli scienziati che hanno trattato delle arti»[12].

Altro elemento che denota e condiziona in maniera significativa l'evoluzione dei saperi è la relazione forte - anche se non sempre chiara - tra le sperimentazioni scientifiche e tecnologiche e l'interesse per l'architettura del passato. In tal senso, la chiesa di Ste-Geneviève costruita da J.G.Soufflot a partire dal 1757, rappresenta quella sperimenta-zione di un'architettura[13] che è considerata una pioneristica costruzione con armature in ferro ma risponde pure, indi-scutibilmente, ad una espressione essenziale mutuata attraverso lo studio dell'Antichità.

Soufflot è l'architetto che studia i monumenti greci e romani[14], segnalando così ancora una volta l'interesse ed il legame con la conoscenza e l'interpretazione dell'architettura del passato.

È noto che l'interesse per i monumenti classici diventa un perno intorno al quale ruota il problema dell'adozione di un sistema di modelli per la nuova architettura adatta alla modernità delle esigenze. L'attenzione a tali istanze vede coinvolte figure strettamente ancorate alla cultura tecnica e, anzi, portatrici di fondamentali contributi su questo piano. In tal senso non è chi non veda le ripercussioni, vicine e lontane, nella cultura del restauro, laddove la proliferazione dei trattati e delle raccolte di tipi edilizi e di morfologie supporta, sia sul piano pratico che su quello ideologico, le operazioni di sostituzione e di rifazione di elementi architettonici, appunto, in stile.

Intanto, però, qui interessa soffermare l'attenzione su ciò che rappresentò S.te-Geneviève, nel contesto in cui il *gôut grecque* imperversava nel momento storico non solo francese, nella cultura architettonica; lo stesso diviene anche lo strumento degli ingegneri, i quali, ritenendo quello classico un repertorio, affrontano i problemi costruttivi e distributivi con una conseguente "soluzione" dei problemi formali.

Soufflot, in tale panorama, si pone in una posizione particolare: nel Panthéon, egli mette a frutto la sua ricerca basata sulla revisione dei metodi costruttivi, ma essa non trova i suoi riferimenti solo nell'architettura greca ma anche in quella quella gotica. St. Geneviève è, dunque, «la prima revisione razionalistica dei sistemi costruttivi»[15] e su di essa ebbe modo di operare, appunto, J.Rondelet, quando, subentrando a Soufflot[16], ebbe l'incarico di consolidare i *piliers.*

Autore del *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, che venne nel corso dell'Ottocento tradotto e diffuso in tutta Europa, Rondelet si pone come un riferimento completo per la forma-

zione di un professionista, facendo, dunque, emergere la necessità ineludibile, proprio nella formazione, della tecnica delle costruzioni, lasciando, d'altro canto, come questione ancora dibattuta quella dell'estetica e dello stile[17]. Il *Mémoire historique sur le dôme du Panthéon français*, è diviso in quattro parti: il primo riguarda la descrizione del monumento; il secondo la storia della sua costruzione; la terza contiene la verifica degli elementi di appoggio della cupola; la quarta parte esamina «tous les accidens qui se sont manifestés aux piliers du Dôme, le causes de ces accidens, et les divers moyens proposés pour les réparer»[18]. Il saggio di Rondelet appare, dunque, confermare l'iter metodologico così preciso e rigoroso che è possibile riscontrare nella trattazione per la cupola di S.Pietro fatta da Poleni, al quale ultimo caso, tra l'altro, come già affermato, il francese si riferisce[19].

La descrizione del monumento è praticata nei minimi particolari così come la storia della sua costruzione. Alla realizzazione della cupola è dedicato un paragrafo[20] dove si evidenzia anche lo schema statico di tutto il complesso piloni-tamburo-cupola, una struttura molto articolata dove la volontà di realizzare un'architettura rispondente a determinati canoni estetici ha comportato una presenza di nodi complessi[21]. La verifica strutturale è affrontata da Rondelet nella terza parte[22]. Il problema, invece, che è stato al centro del dibattito è quello del dimensionamento di quelle strutture - piloni compresi - che dovevano assorbire gli sforzi spingenti della cupola.[23] Le argomentazioni di Rondelet a sostegno della bontà del progetto di Soufflot sono portate avanti smontando l'analisi di Patte da un punto scientifico ed anche rispetto agli esempi da cui Patte ricava la buona regola del costruire, come la cupola di S.Pietro, ricordandone gli spessori e le proporzioni tra diametro della cupola e tamburo[24]. Si basa sull'ipotesi che le volte sferiche «peuvent se soutenir indépendamment l'une de l'autre, et par conséquent sans aucun effort d'un moitié contre l'autre»[25]. Rondelet, dimostra tale sua ipotesi attraverso un modello ma tiene anche a verificare il tutto attraverso la speculazione teorica[26], giungendo a fissare la tensione di rottura della pietra[27].

Il risultato comparato di tale analisi lo porta a considerare che, in concomitanza con la malsana costruzione della muratura, la sezione del pilone non è sufficiente. Se questi sono studi preli-

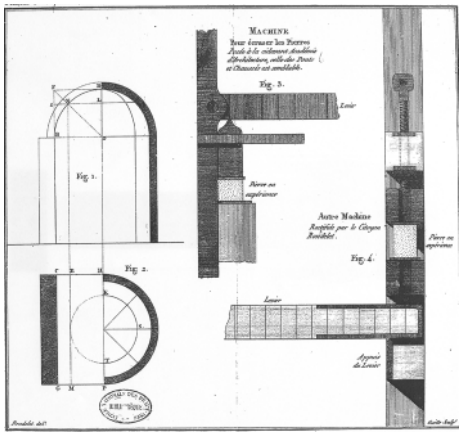


Fig. 2 - J. Rondelet, macchine per le verifiche a rottura del materiale per il Panthéon (da Mémoire historique sur le dôme du Panthéon français)

minari alla diagnosi del dissesto, nel saggio di Rondelet si riscontra, correttamente, l'analisi dello stato di fatto, ossia, la lettura del quadro fessurativo; tenendo presente bene la cronologia della manifestazione delle lesioni e cioé quella che si definisce la storia del dissesto[28].

Dall'interpretazione della natura e dalle caratteristiche del quadro fessurativo, Rondelet approda all'individuazione delle cause del dissesto[29], prima di fornire indicazioni circa la modalità di intervento. Analogamente all'analisi che fece Poleni, Rondelet esamina, dunque, i pareri sui mezzi ed i modi per consolidare il Panthéon[30]. Egli, da buon conoscitore delle costruzioni si mostra molto cauto nell'analisi quantitativa dei dati relativi alle verifiche, anche per la coscienza della particolarità dell'edificio, il Panthéon, appunto, un monumento ben diverso da altri tipi di costruzione. Ciò emerge bene quando, a proposito delle proposte di intervento avanzate dai tecnici dei *Ponts et Chaussées* e dagli Architetti, rimarca proprio le loro diversità di approccio dei due attori e, rispetto alle soluzioni dei primi, sostiene che «on n'a pas fait attention qu'il y a une difference considérable entre de gros ouvrages, qui à peine sortent de terre, et des constructions évidées de toutes parts, qui s'élèvent à plus de 250 pieds de hauteur»[31].

Emerge, dunque, dalla disamina, una problematicità del rapporto tra una visione più tecnicista ed un'altra più vicina alla realtà architettonica della fabbrica, laddove, poi, l'intervento su edifici di valore, in un momento in cui il "restauro" viene a fondarsi come disciplina e come operazione cogente su di un organismo murario che pone problemi figurativi e formali, comincia il suo difficile, pericoloso e non sempre fortunato itinerario. Si deve pure ammettere che il restauro appare il luogo probabilmente più vistoso degli effetti della dicotomia, sempre crescente tra cultura tecnica e quella storica: le ricostruzioni in stile dei monumenti non presentano molti punti di tangenza con lo sviluppo tecnologico se non in poche occasioni.

Intanto, si può affermare che i contatti tra la cultura francese e quella italiana, nella fattispecie, quella napoletana, sono diversi, continui e si sono attuati su più livelli.

Il legame tra intellettuali, studiosi, ma anche tecnici con gli ambienti partenopei è stretto e, nel momento storico qui analizzato, è fondato sulla interpretazione della cultura classica,e nello specifico, greca: il futuro direttore generale dei Monumenti di Francia, De Vandières effettua il suo Grand Tour nel quale vediamo lo stesso Soufflot[32]. E se in ambito artistico, verso la fine del secolo, possiamo riscontrare una caduta di tensione, sul piano dei rapporti internazionali si deve registrare una significativa dinamicità che può essere vista nell'attività ruotante intorno all'abate di Saint-Non[33]. Mentre, nell'ambito della cultura scientifica la fondazione di Murat della Scuola politecnica e militare, a Napoli e nel 1811, è uno dei momenti di rapporto e di scambio, tanto più che storicamente la reazione, in Francia, ed il successivo superamento del *rocaille* av-

viene attraverso l'interesse suscitato e reiterato dei ritrovamenti di Ercolano, prima e Pompei, dopo[34]. Le condizioni, poi, inerenti alle professionalità degli architetti e degli ingegneri si evincono abbastanza bene dalla successione degli enti che, si sotto il decennio francese, sia dopo la Restaurazione, si sono via via alternati[35].

Vincenzo Lamberti è un riferimento di rilievo nel panorama scientifico napoletano. Il testo di quest'ultimo[36] interessa il funzionamento delle costruzioni in muratura nonché la manifestazione del quadro fessurativo in caso di dissesto. Egli individua e classifica una serie di cause che possono essere alla base del dissesto letto attraverso l'interpretazione dell'andamento delle lesioni. Del resto, il panorama napoletano è abbastanza ricco sia di cupole che di eventi sismici per non trovare proprio nel XVIII secolo casi di intervento su tale tipo di struttura[37].

I precedenti ed i collegamenti con la cultura scientifica sono afferenti a quella francese: Lamberti cita Bernoulli[38]. D'altro canto, nel campo degli studi della meccanica e della produzione di trattati, Napoli non si presenta fuori 'gioco': il trattato, per esempio, di un Antonio Tucci si presenta come emblematico sia dello stato delle ricerche e delle applicazioni in ambito partenopeo, sia dello stato dei rapporti di quest'ultimo con il retroterra francese[39]. Inoltre, più tardi, è il trattrato di E. Folinea (*Sulla origine delle lesioni dei fabbricati e metodi di restauro*, 1885) a testimoniare l'esigenza di una sistematizzazione della materia e lo stato degli studi sul problema della diagnosi dei dissesti.

Ma i legami con la cultura francese non sono limitati allo scambio degli avanzamenti scientifici; ed anzi questi ultimi, in specie sul versante delle applicazioni tecniche si mescolano con l'affermazione degli orientamenti culturali che caratterizzano così tanto il XVIII secolo e quello successivo[40].

La figura di Francesco de Cesare appartiene a quel periodo in cui la realtà napoletana sconta le visioni e le politiche dei Borbone che, dopo la Restaurazione, sono strumentali alla ambivalente volontà di organizzare uno stato moderno e, al contempo, di mantenimento delle posizioni di potere. La formazione dei tecnici (architetti e ingegneri) avveniva attraverso la frequenza dei corsi di Scienze matematiche dell'Università e successivo tirocinio presso ingegneri operanti, l'Accademia di Belle Arti e la Scuola per ingegneri militari[41]. È presente, dunque, una situazione che esprime da sola la difficoltà di un univoco corso che, poi, potesse rispondere alle istanze che la gestione delle opere pubbliche del Regno poneva.

De Cesare[42] affronta il problema di intervento su di un edificio preesistente nella *Memoria* che dedicò alla chiesa di S.Carlo Borromeo, nel 1857[43]. La chiesa, nei primi decenni del Seicento costruita su progetto di Fra Nuvolo, presentava lesioni alla volta. L'approccio di de Cesare è coerente con una valida impostazione del progetto di restauro-consolidamento: seppur brevemente, si riscontrano nelle *Memorie*, la descrizio-

ne della chiesa con un cenno storico della sua costruzione, l'illustrazione dello "stato attuale", l'individuazione del dissesto e la determinazione della "riparazione". In sostanza, De Cesare desume dalla lettura del quadro fessurativo una eccessiva spinta della volta che agisce su murature non idoneamente dimensionate[44]. Infatti, rileva proprio che lo «stato del fabbricato, riguardo à muri ed à contrafforti, offre piuttosto in generale mediocre solidità». Si presenta inoltre più cauto nel valutare il dissesto che interessa la "volta a *scudella*" se non si elimina il manto di copertura[45]. In ogni caso, ricorrendo alle «dottrine meccaniche» e richiamando i principi di Rondelet, Gauthey e Boistard dichiara che i 4 palmi e mezzo dei muri non possono resistere con i 120 palmi della lunghezza dell'asse maggiore là dove, appunto, la spinta della cupola è massima[46]. Nell'argomentazione delle sue proposte - riparazione della volta con cerchiature in ferro o ricostruzione della volta con una sagoma da fare scaturire dalla catenaria - richiama, nel primo caso il Panthéon parigino, S.t Paul a Londra e la cupola vaticana; nel secondo cita il Navier e gli italiani Venturoli e Cavalieri[47]. L'intervento poi, prescelto fu quello della ricostruzione della volta con materiali leggeri onde contenere la spinta. De Cesare progettò dei contrafforti costituiti dal portico di colonne, dall'attico, anche se per motivi economici si provvide al solo ringrosso della muratura esistente per l'assorbimento delle suddette spinte[48]. Anche qui è possibile vedere come poi nelle scelte siano intervenute, sì valutazioni tecniche, ma anche visioni 'estetiche' quando, in particolare, si vuole eliminare "il gusto degenerato del secolo XVII"[49].

In conclusione, gli episodi e le circostanze riportate riconducono le diverse storie al destino dell'architettura e della sua interpretazione.

Il restauro - all'interno del quale esercita la diagnosi dei dissesti - rappresenta il campo dove maggiormente vengono chiamate ad interrogarsi a vicenda la tecnica e l'architettura in una situazione diversa dal quella della produzione del nuovo perchè, chiaramente, operanti su di una realtà materiale avente un valore, tra l'altro, in perenne mutazione. L'esigenza di far collimare la scienza con la ricerca estetica era, come si è visto, da taluni avvertita già allora; oggi tale esigenza diventa una responsabilità disciplinare.

[1] Si confronti il fondamentale E.BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni nel suo sviluppo storico*, Roma, Edizioni di storia e letteratura, 2006 (p. ed., Firenze, Sansoni, 1981).

[2] G.C. ARGAN, *L'Europa delle capitali. 1600-1700*, Milano, Fabbri-Skira, 1965 (p. ed. Genève, 1964), p. 45. In effetti, qui si sottolinea il legame tra la monumentalità che si intende perseguire e gli interventi per realizzare città-capitali e si fa riferimento, chiaramente, a Roma con S.Pietro, a Parigi, a Londra con St. Paul di Wren.

[3] Cfr. *ivi*, pp. 49-50. Intanto, lo stesso Quatremère de Quincy ancorava, nel suo *Dictionnaire*, l'idea di monumento all'abbellimento ed alla magnificenza della città con contenuti e significato ideologici.

[4] J. Rondelet, *Mémoire historique sur le dôme du Panthéon français*, Du Pont Imprimeur, Paris, 1798.

[5] R.Di Stefano, *La cupola di S.Pietro*, Napoli, E.S.I., 1980 (2° ed.).

[6] G.Poleni, *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano e dei danni di essa, e dé ristoramenti loro*, Padova, 1748, colonne 18-30. Prima di approdare all'analisi dei dissesti, Poleni svolge una ricca disamina della storia della fondazione e della costruzione della chiesa e del suo sito.

[7] Della suddetta curva catenaria, Poleni osserva che «quasi in universali varie cose si trovavano nè già commemorati Giornali Lipsiani, e specialmente nell'Anno 1691, scritte da Giovanni Bernoulli, da Got. Gugl. Leibnitzio, e da Cristiano Ugenio. Ma come nè il Bernoulli, né il Leibnitzio, né l'Ugenio (nelli citati luoghi) avevano toccata quella proprietà della Catenaria inversa per la forma degli Archi» Cfr. G.Poleni, cit., col. 33. Dopo Gregory, quindi, secondo Poleni, Bernoulli arrivò alla catenaria. Infatti, Poleni afferma che nelle stampe *Virorum Celeberr. Got. Gul. Leibnizii & iohan. Bernoullii Commercium Philosophicum, & Mathematicu*" (Lausanae e Genevae, 1745) e nelle Lettere LXXXI, LXXXII e LXXXIII «alcune cose, da cui l'uso della Catenaria per la figura degli Archi può restar ben illustrato, si trovano ». *Ivi*, col. 34.

[8] Cfr. su tale argomento R.Di Stefano, *La cupola di S.Pietro*, cit., p. 23 e sgg. Viene, infatti, notato come il Poleni, dopo aver ripercorso la storia della costruzione, tratti la statica delle volte e svolga un'attenta analisi delle caratteristiche tecnologiche dei vari materiali da costruzione della cupola. Sarà, infine, la conoscenza dello svolgimento del cantiere a far sì che si possa ipotizzare che il "male" principale, o, meglio, la causa prima del dissesto che interessa la cupola vaticana, risieda nei tempi di esecuzione (soli 21 mesi) nonché la pessima esecuzione della muratura. *Ivi*, p. 25.

[9] Cfr. E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni nel suo sviluppo storico*, cit., pp. 324 e ss. In particolare, si nota che De la Hire affronta il problema del dimensionamento dei piedritti nella seconda memoria *Sur la construction des Voûtes dans les Edifices* (1712) ; mentre Bélidor prevede un altro tipo di scomposizione, seppur analoga, della forza di ribaltamento. Infine, l'autore dimostra taluni passi in avanti compiuti dagli studi di C.A. Couplet. Cfr. pure A.Aveta, *L'approccio multidisciplinare per la diagnosi dei dissesti strutturali di volte e cupole*, in *Le cupole in Campania. Indagini conoscitive e problematiche di conservazione*, a cura di S Casiello, Napoli, Arte Tipografica, 2005, pp. 37-85.

[10] Le prime teorie statiche sull'arco in muratura sono da attribuire a P. De la Hire e a B.F. de Bélidor i quali costituiscono un sicuro ed indiscusso riferimento, per lungo tempo, per le teorie applicate a tale tipo di struttura: il primo si avvicina al calcolo a rottura, il secondo valuta diversamente la forza del ribaltamento dei piedritti dell'arco. Cfr. E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni nel suo sviluppo storico*, cit. pp. 324 e segg.

[11] Si deve ricordare che in Francia comincia la formazione dell'ingegnere come tecnico quando venne fondata, nel 1747, l'*Ecole des Ponts et Chaussées* avente funzione di fornire un'istruzione specialistica ai professionisti impegnati, appunto, in tale settore. Tale istituzione già era esistente dal 1716, pur senza l'organizzazione propria dell'Ecole. Nel 1749 venne, in più, istituita l'Ecole des Ingégnieurs de Mezieres, mentre è del 1794 l'Ecole polytecnique.Su tali argomenti si può consultare, tra gli altri, A. Buccaro, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento*, Napoli, E.S.I., 1985, pp. 22 e sgg.

[12] Cfr. L. M.Monaco, *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico*, Napoli, ESI, 2000, pp. 162-153.

[13] È stato osservato che il Panthéon di Sufflot fa appello alla tradizione teorica di Cordemoy attraverso l'Abbé Laugier. Cfr. K.FRAMPTON, *Storia dell'architettura moderna*, Zanichelli, Bologna, 1982 (p.ed. inglese, Thames and Hudson, London, 1980), pp. 4-5.

[14] Soufflot (1713-1780) diresse, tra gli altri, i lavori al Louvre mentre dall'interno dell'*Académie* lavora per la diffusione e lo studio di nuove tecniche di costruzione. Soufflot, insieme a pochi altri, aveva visitato i templi dorici di Paestum. I disegni furono pubblicati da G.-P.-M. Dumont in *Suite de plans, coupes, profils, élévations géométrales...de trois templesantiques de Pesto...mésurés par J.G. Soufflot.* In Italia, si registra anche la visita dei due Peyre (1752-1765), Laugier (1757), Quatremère (1776-1784), lo stesso Rondelet (1783), Vaudoyer (1783-1788), Percier (1791-1796).

[15] L.PATETTA, *op. cit.*, p. 49. Soufflot tenne all'Accademia delle Belle arti di Lione una conferenza nel 1741 (*Mémoire sur l'Architecture Gothique*). Cfr. *ivi*, p. 176.

[16] Il Panthéon venne iniziato nel 1757 sotto il regno di Luigi V. Soufflot l'aveva concepito a croce greca con una grande cupola all'incrocio delle navi, ma esigenze di culto l'avevano costretto ad allungare le navate d'entrata e quella del fondo. Un decreto dell'Assemblea costituente del 1791 sancì la cancellazione di tutti quegli elementi che erano riconducibili a S.te-Geneviève. Tale lavoro venne affidato a Quatremère de Quincy.

[17] È significativo che, nell'ambito della critica nei confronti della ufficiale formazione architettonica, da cui non fu estraneo neanche Viollet-le-Duc, si siano avuti numerosi interventi in proposito: nel 1877 la stessa *Académie* indisse un concorso per lo scritto *L'unione o la separazione dell'ingegnere e dell'architetto*. Il premio venne vinto da G.Davioud per il quale l'incontro tra architettura, scienza e tecnica poteva assicurare il superamento dell'*impasse*. Cfr. L.PATETTA, *L'architettura dell'eclettismo. Fonti, teorie, modelli 1750-1900*, Milano, Gabriele Mazzotta Editore, 1975, p. 334.

[18] J. RONDELET, cit.; in particolare, tale ultima parte del saggio contiene «1°. Un état détaillé des accidens qu'on éprouvés les piliers du dôme, depuis l'époque de la construction des arcs et des pendentifs jusqu'à présent, avec le détail des restaurations qui y ont été faites en différens temps ; 2°. Un précis des véritables causes des accidens arrivés aux piliers du dôme ; 3°. Le détail des moyens proposés par les architectes formant le conseil des bâtimens civils et les inspecteurs généraux des ponts et chaussées».

[19] J. RONDELET, cit., *planche* 5.

[20] *Ivi*, p. 44.

[21] Cfr. *ib*.

[22] Il francese parte dai requisiti essenziali per la bontà della costruzione: la stabilità del terreno, la buona qualità della muratura, il dimensionamento del struttura muraria ai fini del contenimento degli sforzi. La prima condizione è, per Rondelet, soddisfatta; la seconda risente delle modalità di esecuzione la quale era stata già riscontrata "vicieuse".

[23] Pierre Patte, in una sua memoria del 1770, denunciava le sue preoccupazioni riguardo agli spessori della muratura in costruzione. Rondelet controbatte: «il suffit dire que le mur de la tour du dôme qui existe, n'a que 3 pieds 3 pouces d'épaisseur; cependant il soutient trois grandes voûtes, au lieu de deux, et il a résisté à tous les efforts de la poussée et même au tassement inégal que le piliers ont éprouvés par leur mauvaise construction». *Ivi*, pp. 56-57.

[24] In tale circostanza Rondelet osserva che Patte rimanda alle teorie di Bélidor, di Frézier, e alle regole di Carlo Fontana che questi espone nel sua opera *Descrizione del tempio Vaticano*. Cfr. *ivi*, pp. 57-59.

[25] *Ivi*, p. 59.

[26] Cfr. *ivi*, pp. 60-65.

[27] Cfr. *ivi*, p. 64.

[28] L'esame, portato avanti per ogni pilone e colonna interessata e superficie, è corredato da grafici correlati anche alle ampiezze di ogni singola fessurazione. Cfr. pp. 77-96.

[29] Cfr. *Causes des dégradations qui se manifestent aux piliers du Dôme du Panthéon français*, *ivi*, p. 97 sgg.

[30] Da una parte vi è il parere dei *Commissaires-Arhitectes, Ingénieurs* e *Mathématicien* nominati dal Ministro dell'Interno, dall'altra gli Ispettori generali dei *Ponts et Chaussées*. I primi erano dell'avviso di costruire immediatamente delle centinature in legno; i secondi proponevano la costruzione di quattro archi rampanti da realizzare al di sotto di quelli già presenti. Rondelet è critico con tale proposta. Cfr. *ivi*, pp. 101 sgg.

[31] E continua: «et que les masses qui forment le Ponts peuvent, par leur position et leur grandeur, résister à des efforts infiniment plus considérables que les édifices du genre du Panthéon français». Cfr. *ivi*, p. 114.

[32] Tra il 1749 ed il 1751, durante la sua visita in Italia, il futuro marchese di Marigny è in compagnia anche dell'abate le Blanc e del disegnatore Cochin. Su tale argomenti, cfr. C. De Seta, *Architettura, ambiente e società a Napoli nel '700*, Torino, Einaudi, 1981, pp. 79 sgg.

[33] Cfr. *ivi*, p. 3-18.

[34] Nel 1729 Montesqiueu è a Napoli e De Brosses, nel 1739, scrive sui rinvenimenti di Ercolano.

[35] Cfr. su tali argomenti A. Buccaro, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento,* cit.; ma anche R.Di Stefano, *Storia, architettura e urbanistica,* in *Storia di Napoli*, E.S.I., Napoli, 1972, vol. IX, p. 652 e sgg.

[36] Cfr. V.Lamberti, *Statica degli Edificj, in cui si espongono precetti teorici pratici, che si debbono osservar nella costruzione degli Edificj per la durata di essi*, Napoli, 1781. Tale testo è considerato il primo trattato di diagnostica delle strutture; cfr. E. Benvenuto, *La statica delle costruzioni in muratura nel suo sviluppo storico*, in Atti del Convegno *Metodologie di intervento nei centri storici*, (Palermo, 3-4 marzo 1995), a cura di A. K. Sferrazza, Palermo, 1997, p. 44. Tra le altre opere del napoletano vi è *Voltimetria retta ovvero misura delle volte di Vincenzo Lamberti ingegnere napolitano dedicata a S.E. il marchese signor D. Angelo Cavalcanti,* Napoli, 1773. Questo testo è citato da F. Milizia come un contributo interessante al problema dell'equilibrio delle volte. Cfr. L.M. Monaco, cit., p. 176.

[37] Lamberti è presente nella nota *querelle* sorta intorno alla soluzione della cupola del Gesù Nuovo ed in questa occasione viene citato lo "scudellone" di S.Carlo all'Arena. Su tale particolare caso storico si può consultare, tra gli altri, M. Errichetti S.J., *La cupola del Gesù nuovo,* «Napoli Nobilissima», vol. II, fascicolo V, gennaio-febbraio, 1963, pp. 177-184.

[38] Risulta utile rammentare che, negli stessi anni, Milizia pubblicava nel 1781 il suo *Principi di Architettura civile*. Milizia citò Lamberti ed i francesi De la Hire, Couplet, Gauthey, Frézier e Bélidor. Mentre, sempre a Napoli, N. Carletti pubblicava *Istituzioni di architettura civile* (1772). Cfr. L.M.Monaco, *op. cit.*

[39] Cfr. A. Buccaro, F. De Mattia (a cura di), *Scienziati_artisti: formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, Electa, Napoli, 2003. Viene qui ricordato il *Della misura delle volte rette ed oblique. Trattato teorico e pratico*, di Francesco Tucci, professore di Calcolo differenziale ed integrale del Real Collegio militare. Tuttavia l'elemento interessante è l'esercizio dell'insegnamento alla Scuola politecnica e militare ed, ancora, la relazione tra questa e l'ambito francese: la Scuola politecnica, come la *Ecole* francese, si proponeva di formare dei tecnici che non fossero solo tecnici di "amministrazione", in ciò, ispirandosi alla visione di Lazare Carnot che aveva promosso l' *Ecole polytechnique*. *Ivi*, pp. 298-299.

[40] Risulta significativo ricordare quanto, a Napoli, fosse diffuso il *gôut grecque* come si evince pur da una lettera dell'abate Galiani a Bernardo Tanucci. Cfr. L. PATETTA, cit., pp. 51-52.

[41] Cfr. R. DI STEFANO, *Storia, Architettura, Urbanistica*, cit., p. 647 sgg.

[42] Francesco de Cesare ha pubblicato: *La scienza dell'architettura applicata alla costruzione, alla distribuzione, alla decorazione delgi edifici civili* (1855), in tre volumi; *Le antichità di Pesto* (1834) e *Le più belle ruine di Pompei* (1835). Infine, oltre a saggi di natura storica, De Cesare pubblicò, tra i numerosi altri, *Case di sicurezza resistenti a scosse di terremoti e di esplosione* (1833) e *Della responsabilità dell'architetto e dell'intraprenditore adibiti in un'opera* e *Dello stile architettonico proprio italiano* (1883). Cfr. R. DI STEFANO, cit., p. 738.

[43] Cfr. F. DE CESARE, *Sulla origine delle lesioni della chiesa di San Carlo Borromeo in Napoli e suo progetto di ricostruzione*, Napoli, Tipografia del Sebeto, 1857.

[44] Cfr. *ivi*, pp 6 e sgg. La costruzione della chiesa, cominciata nel 1623, si protrasse per lunghi anni proprio per la particolare delicatezza dell'impianto voltato impostato su pianta ellittica. La cupola fu completata solo nel 1680. Cfr. G. CANTONE, *Napoli barocca,* Roma-Bari, Editori Laterza, 1992, p. 114.

[45] In questo caso de Cesare suppone comunque l'azione degradante delle acque meteoriche, come quella della vegetazione infestante.

[46] F. DE CESARE , cit., pp. 6-7.

[47] Cfr. *ivi*, pp. 7-11. Nel trattato de Cesare dedica ampio spazio alle volte, alla loro classificazione, costruzione, alla stabilità ed al loro funzionamento statico. Perciò, egli cita gli studi di De la Hire, Danisy, Couplet, Coulomb, Bossut, Rondelet, Prony, Gauthey, Navier, Petit, Auday, Fabrè, Yvon Villarceau e gli italiani Lamberti, Borra, Largna e Mascheroni.

[48] de Cesare progettò contrafforti inseriti in un portico di colonne e dall'attico, ma, per motivi economici si provvide al solo ringrosso delle murature per l'assorbimento delle spinte. Cfr. F. DE CESARE, cit.; ma anche R. DI STEFANO, *Storia, Architettura, Urbanistica*, cit., p. 688.

[49] *Ivi*, p. 13.

FRANCESCA M. LO FARO

I sistemi di misura nel Mezzogiorno verso l''eguaglianza': da due pesi e due misure al sistema metrico decimale

Premessa

Una delle prime leggi promulgate dal Parlamento nazionale fu quella che impose l'adozione in Italia del Sistema Metrico Decimale (SMD). Furono abolite le antiche e varie misure di superficie, di capacità, e di volume - palmi, tomoli cafisi, rotoli ecc -, ed entrarono in uso i grammi, i metri, i litri. Fu introdotta la lira, moneta unica. Pesi e misure uniformi favorirono l'unificazione nazionale e l'integrazione del mercato interno. Nel 1875, l'Italia aderì poi alla "Convenzione del metro", che proclamava il SMD come misura "universale", accettata da tutti gli Stati, anche per ragioni di ordine pratico: infatti la divisione decimale, agevola i calcoli evitando le frazioni, con vantaggi evidenti per gli ingegneri e altre categorie professionali[1].

L'adozione del SMD fu un processo lungo. Negli anni precedenti l'unificazione d'Italia, il SMD fu argomento di controversia che coinvolse gli apparati statali, i poteri locali, le Società economiche, le Accademie scientifiche e, in primo luogo, il corpo degli Ingegneri di Ponti e strade. A seconda del momento politico, gli Stati della Penisola introdussero o abolirono il SMD. La ragione di tanta alternanza può essere ricondotta al fatto che il metro è una misura connotata ideologicamente, perché legata alla Rivoluzione francese[2]. Come è noto, fu il governo rivoluzionario a porre fine alla molteplicità di pesi e misure, che di fatto erano fonte di disuguaglianza tra i cittadini[3]. Una commissione di matematici nel 1790 fu incaricata di offrire alla Francia e al mondo intero un nuovo piano di pesi e misure[4]. La commissione suggerì di basare il nuovo sistema sulle dimensioni della terra (considerate oggettive e immutabili), ed individuò come nuova unità il metro, misura di lunghezza ricavata dal meridiano terrestre[5]. Per arrivare a una determinazione precisa i geodeti Pierre-Francois-André Méchain e Jean-Baptiste-Joseph Del ambre - per conto dell'Accademia delle Scienze di Parigi, prima, e dell'Istituto di Francia, poi - effettuarono triangolazioni per misurare l'arco di un meridiano. Si stabilì che il metro è pari alla quarantamilionesima parte del meridiano terrestre[6]. Dal metro, si ricavarono altre unità di misura (volume, peso, superficie)[7]. La suddivisione decimale riguardò anche la monetazione, la scala centigrada di termometri e barometri, e la suddivisione del giorno con la conseguente creazione di nuovi calendari ed orologi[8].

La decisione di dedurre il metro dal meridiano - elemento naturale ed invariabile - pose le basi per passare dall'era dei "due pesi e delle due misure", simbolo di disuguaglianza, al mondo del-

l'uguaglianza e dell'unione. Per l'affermazione di questo principio universale, la Francia chiese la ratifica del SMD agli scienziati europei, appartenenti a potenze alleate o neutrali. Gli scienziati italiani furono sei[9]. L'Inghilterra, nazione avversaria, non concorse alla ratifica[10]. Il governo inglese, per unità di base di tutte le misure anziché al meridiano fece riferimento alle oscillazioni del pendolo semplice a secondi (aprile 1816)[11]. I pesi e misure che erano in uso a Londra furono poi estesi a tutto l'impero britannico, che vi si uniformò (legge del 17 giugno 1824, in vigore dal primo maggio 1825).

L'idiosincrasia nei confronti del SMD da parte dell'Inghilterra e di altre grandi nazioni dedite ai commerci, come la Germania, ritardò l'uso del SMD nel resto d'Europa[12]. Tutto ciò ebbe un peso anche nel regno borbonico, dove il tema "pesi e misure" alimentò un dibattito in cui ebbero voce, tra gli altri, Melchiorre Delfico, Luca de Samuele Cagnazzi, Carlo Afan de Rivera, Giuseppe Ceva Grimaldi marchese di Pietracatella, Saverio Scorfani, Ferdinando De Luca, Giuseppe Grippa, Ferdinando Visconti. Le loro opinioni, aiutano a seguire e a focalizzare la riflessione su un aspetto apparentemente tecnico - l'individuazione di un sistema di misurazione unico e omogeneo -, ma di forte impatto sulla dimensione politica e sociale.

Una legge per uniformare pesi e misure fu promulgata, dopo una lunga elaborazione, soltanto nel 1840. Tale legge non adottò il SMD e fu valida solamente nella parte continentale del regno, mentre in Sicilia continuò a vigere il Sistema Metrico Siculo, introdotto negli anni dell'influenza britannica sull'isola. La riforma del 1840, dunque, invece di avvicinare le due parti del regno, rappresentò un'ulteriore separazione tra parte insulare e continentale, con conseguenze di natura economica e politica. La molteplicità delle misure ritardò, la realizzazione del catasto giacché risultò difficile disegnare con la dovuta precisione i confini nelle mappe e, di conseguenza, lo Stato non poté tassare i proprietari fondiari con imposte proporzionali al possesso e censo.

Carlo Afan de Rivera accusava i grandi possidenti di trarre dalla molteplicità di misure una opportunità per eludere il fisco, "perché la confusione lascia i riscuotitori [erariali] incerti nella percezione delle imposizioni e nella esecuzione delle tariffe, attesa la varietà delle misure e dei calcoli che si richiedono"[13]."L'amministrazione delle contribuzioni fondiarie - aggiungeva - ha scarsa capacità di azione perché non sono state levate le piante delle tenute […]. Il governo ha decretato che sino al 1860, per lasciar tranquilli i possessori di proprietà territoriali, non avrebbe fatto troppe verifiche fiscali o innovato imposte. Occorre prepararsi al 1860"[14].

Parole curiosamente premonitrici, che fanno intendere come la fine del Regno delle due Sicilie dipese anche dagli interessi particolari di chi si opponeva alla rettifica del catasto, rettifica che Afan de Rivera proponeva di assegnare, come vedremo oltre, a giovani ingegneri, istruiti in matematica e disegno.

Il Regno di Napoli

Nel Regno di Napoli esistevano un'infinità di unità di misura, diverse non solo da una provincia all'altra, ma anche all'interno di una provincia; nello stesso villaggio, non di rado, si trovavano tre tipi di rotolo: con uno si pesava la frutta, con un altro la carne, e con altro ancora il pesce[15]. Il proliferare di pesi e misure limitava gli scambi commerciali, facilitava i raggiri, comportava inganni nei contratti di compravendita[16].

Per vigilare sui commerci nelle principali città si conservavano dei campioni in pietra o bronzo, tutelati da contraffazioni, e tuttavia continuamente manomessi. I campioni venivano verificati da magistrati ufficianti a Napoli. Nei casali nei dintorni della capitale, durante le fiere, esisteva un Tribunale (composto da due maestri razionali, da un giudice e da un ufficiale detto Campione), a cui spettava di marchiare i pesi e le misure con certi diritti, che formavano ciò che si chiamava Arredamento[17].

Il Tribunale del commercio, al tempo di Corradini, tentò una azione di regolamentazione, sostenuta dalle punte più avanzate del riformismo illuminato. In quel contesto culturale, Melchiorre Delfico pubblicò nel 1787 una *Memoria sulla necessità di rendere uniformi i pesi e le misure del Regno*, in cui sosteneva (con una ricostruzione storica, ripetuta poi da altri autori) che gli Angioini tollerarono le numerose unità di misura del napoletano, mentre gli Aragonesi imposero in tutto il Regno le misure in uso a Napoli (editto di Ferdinando I del 6 aprile 1480)[18]. Il senso politico della scelta aragonese era chiaro: confermare la preminenza sulle province della capitale e delle grandi famiglie aristocratiche che avevano sostenuto la dinastia aragonese. Delfico, da parte sua, proponeva di reintrodurre quella legge e, in appendice alla sua *Memoria*, pubblicava gli ordini, e le istruzioni di Ferdinando I d'Aragona, sovrano che "conosceva le regole dell'arte di governare" e sapeva garantire la libertà di commercio[19].

La legge aragonese assurse a valore fondante perché giusto 360 anni dopo (6 aprile 1840), i Borbone introdussero nella parte continentale del Regno delle Due Sicilie una riforma che, nello spirito, richiamava quella aragonese. Ambedue le leggi sono del 6 aprile. Vi è dunque un'evidente corrispondenza simbolica di date, che merita di esser maggiormente indagata; così come andrebbe sottolineata la diversità di opinioni, espressa dalla cultura napoletana dell'Ottocento, in merito alle dinastie medievali: da una parte, gli intellettuali moderati, come Ceva Grimaldi, ammiravano la politica Angioina nel Regno di Napoli; dall'altra, gli intellettuali più progressisti - Delfico, Visconti, Afan de Rivera - esaltavano gli Aragonesi[20].

Proprio un sovrano di quest'ultima dinastia - Alfonso I - istituì il Tavoliere di Puglia, dove i terreni si misuravano a moggi di 100 passi quadrati e si usava il Passo Agrimensorio detto geometrico, "ossia il millesimo di miglio di 60 a grado del meridiano terrestre, il quale passo fu diviso in sette palmi napoletani".[21] Una fonte (e la notizia merita di essere

approfondita) afferma che il Tavoliere era rifrazionato ogni anno. Le complesse e periodiche operazioni di suddivisione richiedevano la conoscenza della "Misura appula", esposta negli *Elementi di Agrimensura* del foggiano Giuseppe Rosati[22].

La particolare precisione delle misure agrarie vigenti nel Tavoliere servì a contrastare il potere feudale, che, invece, aveva buon gioco nel resto del Regno, dove esisteva una gran varietà di misure agrarie[23]: Nella stessa località poteva esserci "una misura per il pubblico, ed altra per il Barone, una per le terre coltivate e l'altra per i boschi, altra ancora per i maggesi , altre per la vigna ecc"[24]. Carlo Afan de Rivera annovera ben 180 misure agrarie (ver-sura, moggio, coppa, carro, tomola, tombolata ecc)[25]. "Tale difformità - scrive Afan de Rivera - deve essere attribuita all'interesse dei grandi possessori di tener celata al governo l'estensione delle loro vaste tenute "[26].

Il Decennio

La Napoli di Giuseppe e Gioacchino Napoleone guardò al metro come nuova unità di misura. Il modello era la Francia, dove dal 10 dicembre 1799 vi era il Metro Legale. Il SMD era stato reso obbligatorio poi con la legge del 2 novembre 1801; ma, da subito, erano sorti però forti reclami e lagnanze. Il governo imperiale aveva ritenuto perciò opportuno concedere delle deroghe. Napoleone ne sospese l'obbligatorietà, con decreto del febbraio 1812 [27]. I ritardi nell'adozione del SMD in Francia non scoraggiarono il governo franco-napoletano. Nel 1811 il ministro dell'Interno incaricò una commissione di scienziati di confrontare le misure adoperate abitualmente a Napoli con quelle del nuovo SMD, che si intendeva introdurre. Giuseppe Conti, Luigi De Ruggiero, Raffaele Minervino, Luca Cagnazzi, erano i componenti della commissione. Per le ricerche storiche ci si avvalse delle vaste competenze di Alessio Pelliccia, Francesco Orlandi, Lorenzo Giustiniani. Ingegnosi esperimenti furono effettuati "con l'aiuto dell'abilissimo macchinista Michele Arnaud" e del prof. Vincenzo Ramondini del Museo mineralogico[28]. Le misurazioni dei campioni napoletani furono eseguite nella "Officina de' pesi e misure", a Castel Capuano, dove, dal tempo degli Aragonesi, era conservato un campione di palmo[29]. Accurati esperimenti ebbero sede a Palazzo Gravina[30]. La commissione presentò infine al sovrano un rapporto (poi rimesso al Supremo consiglio di stato) che costituì la base della nuova legge sui pesi e misure del Regno di Napoli. Si stamparono le tavole di ragguaglio con l'esatta determinazione del rapporto delle antiche unità con le nuove[31]. I parroci furono invitati a diffondere dal pulpito il SMD[32]. Vito Buonsanto, pedagogista ed ecclesiastico, pubblicò un catechismo, a domanda e risposta, in cui auspicò che si mantenesse cognizione delle antiche misure, per comprender in futuro le carte d'archivio[33].

Nel SMD, il peso (grammo) è a fondamento della monetazione. Pertanto a Napoli fu anche rettificata la moneta[34].

Gioacchino Napoleone, nell'autunno 1811, impose per il "conteggio delle monete" nuove norme che, per vari aspetti, avvantaggiavano gli interessi politici e gli introiti del regio erario[35]. L'esecuzione dei decreti, in vigore dal primo gennaio 1812, fu affidata al poco amato ministro delle Finanze [36].

Negli stessi mesi, l'economista siciliano Saverio Scorfani ripubblicava a Napoli, con ampie aggiunte, una sua *Memoria su le misure e pesi d'Italia* che a Parigi nel 1808 aveva sottoposto all'attenzione di ragguardevoli personaggi pubblici come socio dell'Istituto nazionale di Francia[37]. Scorfani - riprendendo temi già espressi dai patrioti italiani nel triennio giacobino -, per ragioni di opportunità commerciale (libertà di scambi e abolizione delle dogane), auspicava l'unificazione della Penisola in funzione francese, e suggeriva di adottare in tutta Italia le nuove misure e pesi francesi[38].

Altra opinione aveva invece il matematico salernitano Giuseppe Grippa che, per facilitare gli scambi commerciali, proponeva il Miglio Europeo[39]. Val la pena ricordare che Grippa fu esule dopo la rivoluzione del 1799 in Francia, dove conobbe uno dei verificatori della misura del meridiano terrestre, - Louis Lefevre Gineau (1751-1829) professore di fisica sperimentale nel prestigioso Collège de France, - che gli fece ottenere la cattedra di matematica nella nuova scuola istituita "dal governo francese" a Casal Monferrato (novembre 1804)[40]. Grippa tornò poi in patria. Terminato il Decennio, affermò che, per merito suo, Napoli si era "preservata dal "flagello" costituito dal SMD[41]. Egli sollevò dubbi sulla precisione delle misurazioni geodetiche eseguite dai "matematici rivoluzionari". Non accettò la nomenclatura dei multipli e sottomultipli del SMD[42]. Criticò la suddivisione in 100° del cerchio che considerò "pericolosa ai progressi delle scienze" e ricordò che i "rivoluzionari francesi" avrebbero fatto meglio ad attenersi a Talete che aveva diviso la circonferenza del cerchio per 360° (il 360 è un numero divisibile per due e per tre)[43].

Alla divisione decimale della circonferenza si oppose in Francia anche il celebre direttore di Ponti e strade, Gaspard de Prony. Costui "in epoca rivoluzionaria" (1799?) fece breve dimora a Napoli e incontrò il matematico Vincenzo Flauti, che testimonia: "A Napoli il Prony doveva scegliersi dei collaboratori al fine di costruire nuove tavole trigonometriche accuratissime, secondo tal divisione. Ma volle appositamente perder tempo. Tali tavole non furono neppure stampate"[44].

Certo è che i tempi brevi dell'esperienza franco-napoletana non permisero un uso abitudinario del metro, che finì per esser quasi ignorato dagli ingegneri e dai tecnici impegnati a suddividere i feudi per incarico della apposita Commissione feudale. In ambito militare, invece, il metro fu utilizzato per i calcoli d'artiglieria e la balistica. Ne sono testimonianza i manoscritti dell'ispettore di Artiglieria e Direttore dell'Adriatico, Afan de Rivera (fratello di Carlo), autore delle *Tavole di riduzione di Pesi*

e misure in attuale uso dell'artiglieria napoletana alla nuova misura e pesi prescritti colla legge de' 19 maggio 1811[45].

Il Regno di Sicilia

Nel Regno di Sicilia proliferavano pesi e misure di antica origine[46]. La pubblicistica abbonda di notizie riguardanti il periodo Greco-romano, Arabo, Normanno, Svevo[47]. Gli Aragonesi introdussero "salutari" riforme, successivamente abbandonate e sostituite da "poche leggi e inefficaci; da molte riforme progettate e nessuna effettuata"[48]. In moti erano persuasi "che una misura uniforme era inutile o addirittura di pregiudizio al commercio e allo Stato"[49].

Il momento favorevole alla creazione di un sistema di misurazione unico e omogeneo arrivò a fine Settecento, al tempo dei viceré Caracciolo e Caramanico[50]. Una scala di misure fu approntata, nel 1797, dal più noto architetto dell'epoca - il palermitano Giuseppe Venanzio Marvuglia - incaricato dal sovrano della "fissazione delle proporzioni tra alcune misure del Regno di Napoli, e quelle di Sicilia". Marvuglia fu anche autore di una *Nuova regola generale per la maggiore speditezza delle scale aritmeticamente e geometricamente dimostrate*" ("Antologia Romana", a. 57, 1797). Lo scritto, forse elaborato da Marvuglia per i suoi allievi del corso di architettura, suscitò numerose polemiche, azzittite dall'architetto Domenico Marabitti - professore di matematica e coautore con Marvuglia della discussa pubblicazione - che nel 1798 stampò a Palermo *L'architetto vendicato*[51].

Sia Marvuglia che Marabitti negli anni 1789-1793 frequentarono Leon Dufourny, l' architetto "giacobino" che diffuse a Palermo notizie ed idee provenienti d'oltralpe. Le informazioni sul SMD giunte da Parigi nel 1804 forse spinsero la Deputazione del regno a chiedere a tutte le "Università e Terre" delle relazioni giurate. Lo scopo era avere un quadro sinottico per un provvedimento regio inteso a fissare un sistema uniforme di pesi e misure.[52]. La presenza a Palermo della Corte borbonica accelerò i tempi della riforma. Nel parlamento concluso il 10 luglio 1806 il "Braccio militare" domandò al sovrano la concessione di una prammatica. La richiesta fu accolta dal re "per mezzo del canale del cavalier Luigi de Medici, Segretario di stato nel ripartimento delle Finanze".

Un sistema metrico uniforme per tutto il Regno di Sicilia fu elaborato da una commissione appositamente nominata. La componevano l'astronomo Giuseppe Piazzi (presidente), l'economista Paolo Balsamo e i già citati architetti Marabitti e Marvuglia (quest'ultimo, malato e anziano, ebbe ruolo defilato)[53]. Il primo febbraio 1809, la commissione presentò al re la Misura Legale Siciliana. Si trattava di un sistema che rifiutava il SMD e faceva seguire alla Sicilia un cammino diametralmente opposto a quello seguito in Francia. Una tal scelta fu forse influenzata dalla presenza inglese nell'Isola, oppure dai timori di imprimere mutamenti troppo radicali in un momento in cui si

profilava il cambiamento costituzionale. La commissione mantenne pertanto le antiche divisioni per 2, 4, 8, 12 e 20, non cambiò la nomenclatura; apportò modeste modifiche nelle dimensioni dei campioni[54]. Unità di misura rimasero il palmo e il rotolo, considerati ricavati dal *modio* dei Romani e dal *dupondion* dei Greci.[55]

La legge del 31 dicembre 1809 promulgò il Codice Metrico Siculo e proclamò l'unità, l'uniformità e l'immutabilità delle misure. La Misura Legale Siciliana entrò in vigore dal primo gennaio 1811. Il Codice Metrico Siculo fu stampato a Catania nel 1812, con Tavole sinottiche.[56] Con precorritrice sensibilità etno-antropologica, affinché ne restasse memoria, le Tavole individuavano e tramandavano gli antichi nomi di pesi e misure, i luoghi in cui si adoperavano, e le denominazioni usate nei contratti.

Il Codice Metrico Siculo nacque in una stagione politicamente molto attiva e in un momento in cui la società siciliana sembrava accettare o promuove le trasformazioni. Il tentativo di "modernizzazione" vedeva per protagonisti alcuni personaggi del "partito napoletano" - Medici, Tommasi, duca d'Ascoli-. Il governo borbonico sperimentò una rigorosa politica fiscale; infrastrutture furono costruite per necessità strategiche; il notabilato urbano partecipò maggiormente al dibattito parlamentare; nuovi gruppi sociali esordirono alla vita pubblica. Il nuovo sistema di misure siglò un nuovo rapporto tra cittadini, e tra Stato e cittadini[57]. L'abolizione delle antiche misure siciliane non comportò però una rivoluzione nelle abitudini delle persone. In realtà, la gente continuò a far uso delle antiche misure[58]. Addirittura, dopo i moti del 1820-21 il governo fu costretto a ripristinare per breve tempo le antiche misure[59].

Da parte napoletana non mancarono critiche al Codice Metrico Siculo, accusato di localismo per non aver ragguagliato la Misura Legale Siciliana con la misura in uso a Napoli e con il SMD[60]. Ferdinando Visconti segnalò la differenza di lunghezza tra il palmo siculo proposto da Piazzi e Niccolò Cacciatore (che non poca parte ebbe nella compilazione del Codice), da una parte, e le misure proposte dai militari dell'Armata inglese di stanza in Sicilia e dagli ufficiali borbonici del Genio[61]. Nonostante tali imprecisioni, Carlo Afan de Rivera non potè non rimarcare che Francia Sicilia e Inghilterra rappresentarono gli unici tre casi di Stati europei che, nel giroo di pochi anni, riordinarono il rispettivo sistema metrico per rendere uniformi i pesi e le misure[62].

La Restaurazione: i progetti dell'astronomo Giuseppe Piazzi

Con la Restaurazione nel Napoletano si tornò a parlare di riforma del sistema di pesi e misure. La questione era vecchia ma il campo di intervento è adesso nuovo perché nuovo è l'apparato statale - il Regno delle due Sicilie - che conservava l'impronta dei nuovi equilibri emersi dagli "anni napoleonici". Le comunità locali del napoletano cominciarono con forza a rivendicare uni-

formità di pesi e misure. Anche questo era un segno di un deciso cambiamento (nella articolazione amministrativa, nella stratificazione sociale, negli assetti economici), avviato dal 1806. Protezionismo e liberismo, politica doganale e libero cabotaggio, erano i due poli che, variamente combinati, agevolavano o ostacolavano il mercato. Occorreva un sistema monetario unico e con la legge 20 aprile 1818 il ducato diventò l'unità di moneta del Regno delle due Sicilie[63].

Proprio in questo contesto nel 1817 Ferdinando I incaricò l'astronomo Giuseppe Piazzi di presentare un piano per "la parte del Regno al di qua del Faro". Piazzi propose un sistema opposto a quello da lui seguito in Sicilia. Nel settembre 1821 (in tempi ancora surriscaldati dai moti carbonari) presentò le sue idee per il sistema metrico da adottare nel Napoletano. Il suo *Saggio sulle misure del Regno*, stampato a fine anno, doveva esser inserito nel "Calendario" del 1822, affinché fosse a tutti noto. La proposta di riforma era stata sottoposta ai sindaci (fin dal 1819) ed ai Consigli provinciali, per conoscere il loro parere (era nello spirito della monarchia amministrativa dare al notabilato la parvenza di compartecipare alle decisioni). Alcuni Consigli tacquero, altri presentarono risposte vaghe e indeterminate, "ma quasi tutti [furono] concordi nel giudicare irragionevoli le proposte modifiche" avanzate dal Piazzi[64].

Giuseppe Ceva Grimaldi fu un attento osservatore di quella vicenda e ci informa: "Furono consultati tutti i Consigli provinciali, soprattutto quello di Napoli. Alcuni non risposero. Altri si divertirono a fare delle critiche scientifiche sui progetti del P[adre] Piazzi, altri desideravano una riforma de' pesi e delle misure, ma uniformandole al tipo di quelle di cui facevano essi uso". Poi aggiunge: "Se i Consigli provinciali la desiderano, o almeno gli scienziati che ne fan parte la promuovono, ciascuno però vuole una riforma a modo suo, che corrisponda ai suoi particolari bisogni, alle sue particolari abitudini, e non accoglierebbero quella riforma universale che non può accontentare tutti"[65].

In effetti, scontentava proprio tutti il Piazzi: la cui proposta intendeva superare gli interessi particolaristici e gli usi locali inveterati, in nome di un sistema di misura che avvicinava le misure del Napoletano al SMD. Il modo per realizzare tutto ciò era estremamente tecnico e complesso da esporre. In estrema sintesi, occorreva rendere il tomolo di 2/3 più piccolo di quello allora in uso.[66]; e "uguagliarsi alla canna il passo itinerario e quello dell'agrimensura; di conseguenza, sostituire al miglio di 7000 palmi quello di 8000" ecc.[67]

Il quadro è comunque chiaro: l'astronomo valtellinese, pochi anni dopo aver elaborato il Codice Metrico Siculo (legge 31 dicembre 1809), ha un ripensamento in merito al SMD e vuole adottare nel Napoletano un sistema metrico modellato su quello francese. Sorprende che egli formuli la sua riforma all'indomani dei moti carbonari del 1820-21, e non durante i mesi costituzionali. La corrispondenza, in parte inedita, tra Piazzi e l'astronomo Barnaba Oriani (fauto-

re del SMD), conservata nella sede dell'Osservatorio di Brera, potrà forse chiarire questi aspetti; così come sono da approfondire le idee politiche del Piazzi ed i rapporti intercorsi con il "rivoluzionario" Cesare Paribelli, suo parente, che ebbe un ruolo nella trasformazione delle logge massoniche napoletane in club giacobini (1793); e che fu poi agitatore politico in Sicilia, quando il Piazzi viveva a Palermo.

Piazzi rinunciò del tutto al SMD nel 1825 quando, in un differente contesto politico e dopo lunga riflessione, si rende conto che anche in Francia si è ancora ben lontani da "una applicazione reale generale e costante del nuovo sistema"[68]. Nel 1826, Piazzi propone al sovrano di apportare lievi modifiche a pesi e misure in uso nella capitale, e di estenderli alle province. La Consulta generale del regno approvò il sistema suggerito. Tale riforma, che riconsegnava preminenza a Napoli, andò incontro alla disapprovazione della Direzione generale di ponti e strade. La principale critica che si muoveva al Piazzi era di non aver tenuto conto delle abitudini delle popolazioni[69]. L'accusa era identica a quella mossa da Cuoco ai rivoluzionari napoletani del 1799.

Ferdinando Visconti e la Reale Accademia delle scienze

Il colonnello Ferdinando Visconti riteneva che un sistema metrico uniforme dovesse esser obbligatorio soltanto per le pubbliche amministrazioni. "Che restino pure le consuetudini locali per la gente comune sino a tempo indeterminato", affermava con evidente pregiudizio nei riguardi delle popolazioni rurali; precisando che i coloni, "non intendono in modo alcuno le misure de' loro terreni usate dagl'agrimensori"[70]. Per i contadini "la misura sta nella durata del lavoro", affermava e aggiungeva: in molti luoghi, i notabili o i sindaci sconoscono quale sia la misura agraria usata per i loro terreni o nel loro Comune "perché quando se ne ha bisogno si fa venire da altro paese il perito agrimensore. La misura dei terreni non è in mano a gente volgare e idiota. Ma vien trattata da agrimensori, architetti, o da gente colta sufficientemente per intendere la misura agraria"[71].

Visconti si faceva paladino della categoria professionale degli ingegneri e dell'esclusività delle loro competenze, acquisite nelle scuole di alta specializzazione introdotte a Napoli durante il Decennio francese. L'8 luglio 1828 (e poi ancora il 9 settembre 1828) Visconti espose queste sue opinioni alla Reale accademia delle scienze di Napoli[72]. A quella assemblea lesse una relazione dal titolo *Rapporto sul sistema metrico uniforme che meglio si conviene ai domini al di qua del Faro*, (stampata nel 1829) che fu esaminata da una commissione composta da Parisi, Piscicelli, Cagnazzi, De Ruggiero, Brioschi, relatore Flauti[73]. Visconti era convinto che quelle di epoca aragonese fossero le vere misure napoletane. Per restituirle alla loro integrità, pensò di misurare a Castel Capuano il campione di ferro aragonese (mezza canna), già esaminato dalla Commissione del 1811. Ma quel

campione era svanito misteriosamente. Visconti ne creò perciò uno nuovo e lo denominò "passo del Duomo", con una timida correzione nella misura. Fece poi del passo aragonese (misura geodetica, perché tratta dalla lunghezza del meridiano) la pietra angolare di un nuovo sistema metrico[74]. Visconti fece adottare dal Real ufficio topografico dello stato maggiore dell'esercito, dove era anche in uso la suddivisione in parti decimali del passo o del palmo (secondo che l'uno o l'altro si assumesse per unità nei calcoli)[75].

Le misure geodetiche usate nella Direzione generale di ponti e strade acque e foreste

Per facilitare i complessi calcoli necessari alla realizzazione di infrastrutture e lavori pubblici, nella Direzione generale di ponti strade acque e foreste del Regno delle due Sicilie fu introdotto, con circolare 6 febbraio 1830, a firma di Carlo Afan de Rivera, un sistema di misura semplificato, basato sulla divisione del palmo in parti decimali. La circolare, oltre a dettare le norme di servizio agli ingegneri di Acque e strade, fissò la misura del palmo pari a millimetri 264,55: "e quello fu il solo palmo riconosciuto dagli ingegneri e dagli appaltatori della Direzione generale"[76] Per effetto della nuova norma, fu eliminato definitivamente il calcolo dei denominatori ossia delle frazioni espresse in 1/8, in 1/64, ecc. La suddivisione decimale del palmo fu accolta dagli ingegneri del servizio di Ponti e strade, e "degl'artefici e degli appaltatori". Tutti erano consapevoli dell'importanza di stabilire nell'esecuzione dei lavori le esatte misure sia per la formazione dei progetti, sia per la compilazione dei "scandagli"[77]. Al riguardo Afan de Rivera avverte: "Le livellazioni richiamavano la speciale nostra attenzione, poiché ogni decimo di palmo sulla lunghezza di un miglio può aver molta influenza sul progetto di un'opera idraulica"[78] Per ottenere risultati rigorosi giunsero dalla Francia strumenti tecnici (livelle a cannocchiale) e il "macchinista" dell'osservatorio, Aenhelt, fu incaricato da Afan De Rivera di costruire le aste di mira e di segnarvi il palmo secondo il campione che si conservava presso il real Osservatorio e presso l'Ufficio topografico[79].

Si procedette anche alla correzione delle misure itinerarie[80]. Il Consiglio egli ingegneri, in base a considerazioni di ordine geodetico, ritenne con Afan de Rivera che occorresse allungare il palmo, per renderlo adeguato alle misurazioni del meridiano fatte dai Francesi e riconosciute dagli scienziati degli altri paesi. In base ai nuovi calcoli si stabilì che il miglio napoletano pari a palmi 7023,4416 (cioè più lungo di 1,5 su 1000). Il "palmo corretto" fu adottato dalla Direzione generale di ponti e strade, dall'Ufficio topografico e dal real Osservatorio: tutti istituti in relazione con organismi scientifici esteri.

Afan de Rivera suggerì di adoperare il "palmo corretto" anche per le carte del catasto e "per tutti i bisogni sociali" I catasti attuali - affermava - presentano errori. Una "luminosa prova" la offrono i quadri statistici dei boschi,

compilati dagli impiegati forestali. Per ogni taglio degli alberi essi devono procedere ad una verifica dello stato del bosco e della sua estensione. Il Consiglio forestale ha continua occasione di notare la gran differenza che vi è tra l'estensione riportata nel catasto e quella che risulta dalla verifica sul campo[81]. Anche gli ingegneri incaricati dal Consiglio di acque e strade - prosegue -, scoprono errori nei catasti quando vanno a fare gli "apprezzi dei fondi occupati o danneggiati per oggetto di pubblica utilità"[82]. Nessuno ha provveduto a fornire l'amministrazione delle contribuzioni fondiarie di aggiornate piante catastali[83]. I possessori di proprietà terriere - annuncia - possono vivere tranquilli sino al 1860. Solo dopo quella data il governo borbonico comincerà a fare rigorose verifiche fiscali e introdurrà nuove imposte. "Occorre prepararsi al 1860 correggendo gli errori del catasto" asserisce Afan de Rivera[84]. Occorre stabilire - suggerisce - una sola misura agraria di 10 mila palmi quadrati per ridurre ad essa tutte le misure esistenti[85]. Propone inoltre di impiegare "i giovani istruiti nelle discipline matematiche e addestrati al disegno per levare le piante". Tali tecnici dovranno essere aggregati all'Ufficio topografico, per fare le triangolazioni[86]. Si otterrebbero piante con notazioni e specchi statistici dettagliati, dai quali si dedurrebbero le necessarie nozioni utili anche a scopo militare. "I lavori dovrebbero concludersi entro il 1860". Cosi propone Afan de Rivera nel 1840. Le sue parole sono estremamente significative: esse dimostrano come la fine del Regno delle due Sicilie dipese anche dagli interessi particolari di chi si opponeva alla rettifica del catasto, rettifica che Afan de Rivera voleva assegnare a giovani ingegneri, istruiti in matematica e disegno.

La riforma del 1840

A fine 1832, il ministro degli Affari interni propose al sovrano la nomina di una commissione di accademici che desse un parere definitivo in merito alle misure e alle correzioni necessarie. La commissione era composta da. Luigi De Ruggiero, Vincenzo Flauti, Leopoldo Del Re, Ferdinando Visconti, Ernesto Capocci (direttore dell'osservatorio astronomico ed allievo del Piazzi). Essi non ebbero parere univoco ma insieme proposero l'adozione della pertica di palmi 10, che era usata nella Direzione generale di ponti e strade acque e foreste. Le nazioni straniere, intanto, attendevano dal governo borbonico una normativa di riferimento per determinare gli esatti rapporti tra i pesi e le misure in uso nei loro paesi con quelle del napoletano[87].

Anche l'opinione pubblica avvertiva la necessità di semplificare e uniformare le misure, per assecondare lo sviluppo economico e commerciale che giusto negli anni Trenta viveva parte del Regno delle due Sicilie. In quel contesto, Giuseppe Ceva Grimaldi sollecitò gli Intendenti, i Consigli provinciali, le Società Economiche, a spingere per una riforma. Fu cosi che la Società Ercolanense e il marchese di Montrone, voce autorevole nella cultura dell'epoca, nel

1838 presero posizioni vicine a quelle di Afan de Rivera. Anche i Consigli provinciali, sempre nel 1838, fecero sentire il loro parere. Tra tutti si distinse per competenza quello di Terra di Bari.[88]

Soprattutto gli archeologi avevano a cuore il problema della misura. Gli scavi dei grandi siti rendevano assolutamente necessario stabilire l'esatta posizione dei monumenti, in base alle misure itinerarie indicate dalle antiche fonti scritte (piede romano, piede tolemaico usato in Cirenaica, il piede di Druso, lo stadio reale, ecc)[89]. Di questo aspetto antiquario si occupò Luca De Samuele Cagnazzi, che fu incaricato da Francesco I, con rescritto del 12 ottobre 1823, di studiare le misure e i pesi rinvenuti negli scavi di Ercolano e di Pompei. Cagnazzi pubblicò *Su i valori delle misure e dei pesi degli antichi romani desunti dagli originali esistenti nel Real Museo Borbonico di Napoli*, con cui ragguagliò i valori in uso nell'antichità con il SMD, cioè con le misure "francesi" che considera "come le più costanti e le più comode all'intelligenza dei dotti"[90]. Cagnazzi si occupò anche degli antichi tracciati. Dal Di Fazio (uno degli ispettori della Direzione di Ponti e strade) seppe che le moderne strade non seguono esattamente le originarie, mentre Piscicelli (già direttore dello stesso Corpo) lo informò che non esistevano misurazioni moderne di tratti di antiche vie da una città all'altra.[91]

Pesi e misure in uso nell'antichità furono anche oggetto di uno studio di Agatino Sammartino, un matematico che nel 1842 presentò alla catanese 'Accademia gioenia di scienze naturali la relazione *Sopra un'antica misura del centipondio. Memoria storico-fisico-geometrica* relativa ad un reperto in serpentino (conservato nel museo del principe di Biscari), del peso di quasi 100 libbre, che nel 1809 non era stato ritenuto un antico peso dalla Commissione presieduta da Piazzi[92]. Anche altre pubblicazioni ebbero per oggetto gli antichi pesi, che non potevano esser ignorati da farmacisti ed erboristi, medici e chimici, stimolati a comprendere e applicare la farmacopea dei vecchi libri di medicina.[93]

Con rescritto del 26 aprile 1839 fu nominata la commissione (composta da Carlo Afan de Rivera, Ferdinando Visconti, Ernesto Capocci) che presentò il piano di riforme in base al quale fu formulata giuridicamente la tanto attesa uniformità di pesi e misure: riforma che, a conti fatti, derogò dai principi scientifici per fare concessioni agli usi ed ai "bisogni del popolo". Visconti e Afan de Rivera erano infatti decisamente contrari a cambiare le antiche abitudini e pertanto rifiutarono il SMD, creato dai "rivoluzionari francesi": e ancora non adottato neanche in Francia.[94]

La legge napoletana fu infine promulgata il 6 aprile 1840, giusto 360 anni dopo la legge Ferdinando I di Aragona, che nello spirito era ispiratrice di questa. Vi è una chiara corrispondenza simbolica nella scelta di promulgare la legge giusto in quella data - il 6 aprile - e ciò è provato dal costante e benevolo richiamo alla legge aragonese da parte di Visconti e di Afan de Rivera (e, al suo tem-

po, anche da Delfico). Testimonianza questa della propensione filo-aragonese di una parte della cultura napoletana (quella apparentemente più progressista), mentre l'ala moderata era filoangioina e sostenuta dal "calderaio" Giuseppe Ceva Grimaldi marchese di Pietracatella[95]. Costui preferiva l'adozione del SMD ad una riforma di pesi e misure che - come quella del 1840 - finiva sancire giuridicamente la divisione tra parte insulare e continentale del Regno delle due Sicilie. La nuova legge infatti fu valida soltanto nel napoletano, mentre in Sicilia continuò a vigere il Sistema Metrico Siculo, introdotto negli anni dell'influenza britannica sull'isola (1813)[96]. La riforma del 1840 siglò dunque una ulteriore separazione, con rilevanti conseguenze di natura economica e politica perché stabiliva e riconosceva nel regno due differenti sistemi di pesi e misure. A queste condizioni - affermava Ceva Grimaldi - meglio sarebbe usare in tutto il regno il SMD, ed aggiungeva: "se vogliamo adottare un sistema metrico, scientifico, qual è il francese, dobbiamo adottarlo con severità puritana, senza riguardo al passato, senza la minima concessione agli antichi nomi, alle antiche misure, alle costumanze ed abitudini nostre di quattro secoli. Soltanto così i vantaggi potrebbero essere bilanciati con i danni"[97].

La voce di Ceva Grimaldi rimase inascoltata, così come quella di Ferdinando de Luca, convinto sostenitore dell'adozione del SMD nel napoletano fin dal 1818, quando su quel tema aveva presentato alla Società economica di Capitanata una memoria (elogiata dal giornale scientifico-letterario "Il Pontano"). Nel 1839, alla vigilia della riforma, De Luca tornò sull'argomento con un'opera in cui ribadiva le stesse opinioni, supportandole ora con le citazioni dei recenti provvedimenti presi dai governi europei per introdurre nei loro stati l'uniformità metrica, cioè il sistema metrico francese [98].

Il De Luca era un personaggio legato all'esperienza giacobina e filofrancese. Appartenente alla Scuola politecnica e militare fu anche Socio dell'Accademia delle scienze. La sua formazione culturale, tanto simile a quella di Ferdinando Visconti (che però ebbe opinione opposta riguardo al SMD), mostra come il SMD fu un argomento di controversia, in cui non è facile comprendere quanto di volta in volta, nelle varie opinioni, pesarono il momento politico, la polemica personale, le considerazioni scientifiche, il richiamo ideologico.

[1]A. P. Favaro, *Metrologia, o sia Trattato generale delle misure, de' pesi, e delle monete…*, vol. I, Napoli, Gabinetto Bibliografico e Topografico, 1826, p. 144.

[2]K. Alder, *La misura di tutte le cose: l'avventurosa storia dell'invenzione del sistema metrico decimale*, Milano, Rizzoli, 2002.

[3]La proposta di trovare una misura unica fu avanzata, con l'appoggio degli scienziati, da Talleyrand, vescovo di Autun (poi principe di Benevento), con una mozione all'Assemblea nazionale. I "rivolu-

zionari francesi" avrebbero potuto estendere i pesi e le misure di Parigi a tutta la nazione. Ma l'Assemblea costituente "stimò formare un sistema di misure sopra una base naturale … affinché a tutti i Popoli appartenesse, e in ogni tempo si potesse verificare". G. Grippa, *Dell'origine, della natura e del merito del sistema metrico-decimale francese*, Napoli, presso Domenico Sangiacomo stampatore del Real Collegio Militare, 1816, p. 8.

[4]La commissione era composta da Charles Borda, Pierre Simon Laplace (nominato poi da Bonaparte ministro degli Interni), Antoine de Condoret, Gaspard Monge, e Giuseppe Luigi Lagrange. Quest'ultimo, nato in Piemonte ma vissuto a lungo all'estero, all'inizio degli anni Ottanta del '700 aveva ricevuto da Domenico Caracciolo l'invito a trasferirsi da Berlino a Napoli, per insegnare all'università. Così testimonia Ferdinando De Luca in F. PALLADINO, *Metodi matematici e ordine politico: Lauberg, Giordano, Fergola, Colecchi*, Napoli, Jovene, 1999, p. 100.

[5]A lungo gli scienziati dibatterono su tre possibilità: prendere come base la lunghezza del pendolo che battesse esattamente il secondo alla latitudine di 45°, fare riferimento al quarto di circonferenza dell'equatore terrestre, oppure riferirsi al quarto del meridiano terrestre. La prima misurazione del meridiano fu compiuta da Eratostene di Cirene (III sec. a.C.) che fece il suo calcolo tenendo conto del fatto che la città di Alessandria si trova sullo stesso meridiano di Siene (l'attuale Assuan), ma con latitudine differente, e che in quest'ultima città il sole al solstizio d'estate era pressoché perpendicolo (giacché illuminava i fondi dei pozzi) mentre ad Alessandria proiettava un segmento d'ombra.

[6]Molti archi di meridiano erano stati già misurati in Francia in differenti epoche. La commissione geodetica, dal 1792 al 1799, tra difficoltà di ogni genere (non ultime quelle legate ai disordini sociali derivanti dallo stato di guerra), misurò l'arco di meridiano tra Dunkerque e Montjuich presso Barcellona. Quell'arco di meridiano presenta due pregi importanti: ha entrambi gli estremi sul livello del mare ed è posto ad uguale distanza tra polo ed equatore.

[7]Una Commissione di pesi e misure, composta da scienziati di diversa nazionalità, ricavò dall'unità di lunghezza le altre unità (volume, peso, superficie, tempo ecc.) e pubblicò a Parigi nel 1807 le *Istruzioni su le misure dedotte dalla grandezza della terra e su i calcoli relativi alla lor decimale divisione*. Cfr. S. SCORFANI, *Memoria su le misure e pesi d'Italia in confronto col sistema metrico francese*, Napoli, nella Stamperia del Monitore delle Due Sicilie, 1812, p. 25n.

[8]La giornata fu divisa in 10 ore e ogni ora in 100 minuti e ogni minuto in 100 secondi. "Furono subito fatti in Parigi degli orologi con questa divisione del tempo, ma esposti in vendita non trovarono compratori". G. Grippa, *Dell'origine, della natura*, cit., p. 38. Alcuni orologi con suddivisione decimale sono ancora oggi visibili nel Conservatorio di Arti e Mestieri, a Parigi.

[9]Gli italiani che collaborarono con scienziati di potenze alleate o neutrali della Francia (Spagna, Olanda, Danimarca, Svezia) furono: Pietro Franchini (1768-1837) deputato della Repubblica Romana; Lorenzo Mascheroni (1750-1800), professore di matematica alla università di Pavia, deputato delle Repubblica Cisalpina; Ambrogio Multedo deputato della Repubblica Ligure; il toscano Giovanni Fabbroni, direttore del Gabinetto di storia naturale di Firenze, che fu aggiunto a Lefevre Gineau per verificare le misure; il conte Balbo, deputato del re di Sardegna, che fu poco dopo sostituito dal piemontese Anton Maria Vassalli Eandi (1761-1825). Quest'ultimo, professore di fisica all'Università di Torino, direttore dell'Osservatorio meteorologico e appassionato di economia politica, sosteneva che la densità della terra contribuisce a rendere inesatta l'esperienza del pendolo, in confronto al meridiano. Cfr. S. SCORFANI, *Memoria su le misure e pesi d'Italia*, cit., p. 50.

[10]La Francia dapprima pensò di chiedere la collaborazione anche dell'Inghilterra Difatti l'Assemblea costituente, su iniziativa di Talleyrand, con decreto dell'8 maggio 1790, intese "supplicarsi il re di

scrivere a S. M. Britannica pregandola di impegnare il parlamento d'Inghilterra di concorrere all'Assemblea nazionale a fissare l'unità naturale delle misure e dei pesi, affinché, sotto gli auspici delle due nazioni, i commissari dell'Accademia delle Scienze possono riunirsi con ugual numero di membri della Società Reale di Londra, in un luogo che sembrerebbe giudicato dalle due parti opportuno, per determinare alla latitudine di 45 gradi, o in altra latitudine che potrebbe preferirsi, la lunghezza del pendolo, e dedurre un modello invariabile per tutte le misure e pesi". Gli avvenimenti poco dopo seguiti non permisero l'effettuazione della decretata riunione. A. Agnello, *Tavole prontuarie officiali della reciproca riduzione di Misure Pesi e Monete del sistema metrico decimale e del sistema metrico legale antico di Sicilia*, Palermo, Stamperia Piola e Tamburello, 1861, p. IV.

[11]G. Grippa, *Dell'origine, della natura*, cit., p. 12.

[12]S. Scrofani, *Memoria su le misure e pesi d'Italia* ,cit., p. 50.

[13] C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro sistema di Misure pesi e monete alla sua antica perfezione*, Napoli, dalla stamperia e cartiera del Fibreno, 2. ed, Napoli, 1840, p. 12.

[14] *Ivi*, p. 59.

[15] F. Visconti, *Del sistema metrico uniforme che meglio si conviene a' domini al di qua del Faro del Regno delle due Sicilie*, Napoli, dalla stamperia reale, 1829, p. 50.

[16]Alcune nazioni usavano unità di misura riconosciute dappertutto: ad es., da Norimberga si diffusero in tutta Europa delle scatolette di metallo, del peso di 8 once, che ebbero valore di unità di misura. L'uniformità di pesi misure e monete favorì i commerci di Olanda e Inghilterra. Anche la Russia di Pietro il Grande si dotò di una legge adeguata. S. Scorfani, *Memoria su le misure e pesi d'Italia* , cit., p. 12.

[17]*Ivi*, p. 17, con cit. da Giuseppe Maria Galanti.

[18]La data è riportata anche da Carlo Afan de Rivera *Della restituzione del nostro sistema*, cit.

[19]M. Delfico, *Memoria sulla necessità di rendere uniformi i pesi e le misure del Regno*, Napoli, presso Giuseppe Maria Porcelli librajo, 1787.

[20]Ferdinando Visconti, come Melchiorre Delfico, esalta il valore dell'editto di Ferdinando I d'Aragona. Considera il "passo aragonese" scientificamente rigoroso, perchè tratto dal meridiano, e lo propone come pietra angolare su cui fondare il nuovo sistema metrico a Napoli (su Visconti vedi oltre). I diplomi e le carte Angioine sono invece trascritti e commentati da. G. Ceva Grimaldi, *Sulla riforma de' pesi e delle misure ne' reali domini di qua dal Faro, considerazioni*, snt, [Napoli, 1838], p. XXXV.

[21]F. Visconti, *Del sistema metrico uniforme che meglio*, cit., p. 50, con rimandi a G. M. Galanti, *Descrizione della Sicilia*, tomo 3, libro 5, c. 9 ; Id., *Corso compiuto di agricoltura teorica, pratica ed economica: opera pubblicata in francese in forma di dizionario dall'abate Rozier tradotta in italiano*, part. 1, tomo III, [Venezia, Vitarelli, 1807].

[22]G. Rosati, *Gli elementi dell'agrimensura, 3. ed. accresciuta e migliorata con nuove misure*, Napoli, per le stampe di Gennaro Reale, 1813 (l'opera ebbe anche una edizione a Torino). Rosati lasciò tra i suoi ms inediti le "Ricerche per la lunghezza del Palmo". La sua biografia (era nato a Foggia il 21 sett. 1752) fu ricostruita da S. Gatti, *Elogio storico di Giuseppe Rosati*, Napoli, nella stamperia reale, 1815.

[23]In Terra di Lavoro, in Capitanata, nelle province di Bari e di Lecce, si usavano misure di superficie così varie che un agrimensore barese, "parlando il suo linguaggio non potrà essere inteso dal suo

confratello leccese o napolitano". V. Buonsanto, *Elementi di Aritmetica pè giovanetti*, Napoli, presso Domenico Sangiacomo, 1810. p. n.n.

[24]Le misure agrarie non erano usate nei contratti pubblici. Negli atti notarili si dichiarava che un terreno si affittava, si vendeva o si comprava "A Corpo e non A Misura". F Visconti, *Del sistema metrico della città di Napoli e della uniformità de' pesi e delle misure che meglio si conviene a' reali dominj di qua del Faro*, Napoli, dalla Stamperia reale, 1838, p. 74.

[25]C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro sistema di misure pesi e monete alla sua antica perfezione*, Napoli, dalla Stamperia e cartiera del Fibreno, 1838, p. 47.

[26]*Ibidem*.

[27]Il decreto imperiale ritardò a lungo l'adozione del sistema metrico. Altra revoca si ebbe con legge del 1840.

[28]S. Scrofani, *Memoria su le misure e pesi d'Italia*, cit., pp. 61-79.

[29]Il palmo napoletano fu considerato dalla commissione equivalente a m. 0,26455. Ma il campione di metallo, a Castel Capuano, era lungo m. 0,26367."La piccola differenza è forse dovuta all'ossidazione del campione, oppure può dipendere dalla imperfetta misura del grado di meridiano terrestre che vi era all'epoca dei re Aragonesi". L. De Samuele Cagnazzi, *Su i valori delle misure e dei pesi degli antichi romani desunti dagli originali esistenti nel Real Museo Borbonico di Napoli. Memoria letta nella R. Accademia delle Scienze*, Napoli, dalla Tip. di Angelo Trani, 1825, p. 98.

[30]F. Visconti, *Del sistema metrico uniforme che meglio*, cit., p. 70.

[31]Le tavole di ragguaglio non consideravano tutte le antiche misure in uso nel Regno. V. Buonsanto, *Il nuovo sistema metrico* , cit.

[32]S. Scrofani, *Memoria su le misure e pesi d'Italia*, cit., p. 58 Nel Regno di Sardegna, il SMD fu diffuso con l'incisiva azione del clero.

[33]V. Buonsanto, *Il nuovo sistema metrico*, cit.

[34]L'unità di peso è pari al cubo d'acqua pura, resa densa sino alla temperatura del ghiaccio fondente, che ha per lato la centesima parte del metro. Questa unità di. peso presa in 5 parti d'argento puro, misto con 1/10 di lega costituisce l'unità della moneta: legge del 19 maggio 1811. G. A. Sparano, *Il sistema metrico teorico – pratico posto in chiaro ai giovinetti*, Napoli, presso Antonio Garruccio, 1812.

[35]Fu ridotto di 1/10 il valore delle monete in rame. Tutte le monete d'oro e d'argento, napoletane e siciliane, furono valutate comparativamente alla nuova moneta "che avrà corso, in ragione di lire 440/100 per ogni ducato". Le monete "forestiere" d'oro e d'argento ebbero corso in lire. *Ragguaglio della vecchia colla nuova moneta*, Napoli, nella stamperia del Monitore delle Due Sicilie, 1812.

[36]Il ministro delle Finanze Pierre–Louis Roderer, "un francese rivoluzionario di oscurissima origine, e di non meno oscuro nome", era favorevole all'introduzione di un uniforme sistema monetario presso tutte le nazioni: "i ministri ignoranti sono il flagello dei popoli". G. Grippa, *Dell'origine, della natura*, cit., p. 34.

[37]L'opera fu edita nel 1808, in italiano, a Parigi, nella stamperia Graditot, e fu presentata al Cretet, e ad altri rappresentatiti del potere politico.

[38]Scorfani ricorda che "le nuove strade di Sempione e Moncenisio abbrevieranno le distanze" tra Italia e Francia accrescendo i già lucrosi commerci, di cui una parte notevole era costituita dallo scambio di prodotti tra Savoia e Sicilia. S. Scrofani, *Memoria su le misure e pesi d'Italia*, cit., p. 53.

[39]Il Miglio Europeo, misura unica valida in tutto il continente da Gibilterra alla Lapponia e Capo Nord, doveva esser lungo 1000 metri. Grippa cita più volte l'economista lombardo Giovanni Tamassia (1776-1839) G. Grippa, *Dell'origine, della natura*, cit., p. 49 e ss. Note biografiche su Grippa in F. Palladino, *Metodi matematici e ordine politico*, cit., Napoli, pp. 92-95.

[40]G. Grippa, *Delle utilità dell'origine e del progresso della matematica. Discorso diretto a' Giovani Monferrini*, In Casale, Lodovico Maffei Stampatore, 1804. Il Lefevre Gineau andò a Torino e a Casale per riorganizzare il nuovo piano di pubblica istruzione. Lo scienziato francese fu colui che verificò la lunghezza dell'arco di meridiano e che per incarico della Commissione di pesi e misure, fissò multipli e sottomultipli della nuova unità di peso: il grammo.

[41]Grippa, *Dell'origine, della natura*, cit., p. 5. L'opera – a detta dell'autore – fu scritta del 1812 ma poté esser pubblicata solamente nel 1816, concluso il regime napoleonico. *Ivi*, p. 5.

[42]*Ivi*, p. 12.

[43] *Ivi* p. 35.

[44]Lettera di Vincenzo Flauti a Giuseppe Ceva Grimaldi, datata Napoli 15 sett 1837, riportata in G. Ceva Grimaldi, *Sulla riforma dei pesi e delle misure*, cit., pp. XLVII-LVII.

[45]Biblioteca Nazionale di Napoli, ms Biblioteca Provinciale I 1863. L'autore ragguaglia multipli e sottomultipli del SMD con misure (piedi, pollici e linee) e pesi (cantaro, rotolo, oncia e terraggio).

[46]"In Sicilia quasi ogni distretto, ogni baronia adottò e si fece delle misure che giudicò più convenevoli alle sue circostanze o meglio conciliabili con gli interessi di chi sopra gli altri primeggiava". *Sistema metrico per la Sicilia presentato a S. M. dalla Deputazione de' pesi e misure da P[Paolo]. Balsamo con Giuseppe Piazzi e Domenico Marabitti 19 febbraio 1808*, Palermo, Reale Stamperia, 1809, p. n.n.

[47]Un excursus storico è in A. Agnello, (*Tavole prontuarie officiali*, cit, p. X): il "sistema metrico siculo" è frutto di un secolare retaggio storico, ma si deve soprattutto agli Arabi. Conservato integro per vari secoli, fu modificato sotto i Normanni, e trasformato poi da Federico di Svevia, al tempo del quale – si afferma con malcelato campanilismo - il "sistema metrico siculo" fu "trapiantato nel vicino continente".

[48]"Salutare fu la legge di Federico d'Aragona, che ordinava non doversi esser più di due tumuli, uno a norma di quello della città di Siracusa da usarsi *Cifra Flumen Salsum*,e l'altro modellato su quello della città di Palermo da usarsi *Ultra Flumen Salsum*". Le varie dominazioni che si sono poi susseguite nell'Isola e "lo spirito indipendente dei baroni, vi recarono tale soqquadro che si passò dalle riforme alle parziali alterazioni". *Ibidem*. Nel sistema metrico siculo le varie misure sono dedotte dalla sola lineare (come il SMD).

[49]*Sistema metrico per la Sicilia*, cit, p. n.n.

[50]Nella speranza di promuovere la piccola proprietà dei coltivatori diretti, nel 1789 venne creato un organismo regio chiamato Giunta delle censuazioni, con il compito di censire le terre demaniali e dividerle in apprezzamenti, che avrebbero dovuto essere assegnati in enfiteusi. Furono i nuovi gruppi di pressione, e in particolare i creditori dello Stato, a sollecitare l'introduzione del catasto (feudalità

e clero erano esenti dal meccanismo tributario) Vedi A. Bulgarelli Lukacs, *Misurare l'imponibile* , in *Storia e misura. Indicatori sociali e economici nel Mezzogiorno d'Italia (secoli XVIII-XX)*, a cura di R. De Lorenzo, Milano, Franco Angeli, 2007.

[51]A. Abbadessa, *Tre allievi di Giuseppe Venanzio Marvuglia*, Palermo, Assessorato regionale ai beni culturali, 1999.

[52]Il 29 luglio del 1804 nell'Istituto di Francia venne letta una memoria che proponeva una misura "che si approssima come esatta". L. De Samuele Cagnazzi, *Su i valori delle misure*, cit., p. 29.

[53]I precedenti studi del Marvuglia furono utilizzati dalla deputazione. *Sistema metrico per la Sicilia*, cit.

[54]C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit., (ed. 1840) p. 9.

[55]"La Deputazione restituì il palmo alla sua integrità, derivandolo cioè dalla doppia altezza dell'antico *modio* dei Romani, e stabilisce il rotolo uguale al *dupondion* dei Greci". Le due unità – palmo e rotolo – in uso nel 1808 a Palermo, erano assai simili ai loro corrispettivi dell'antichità classica. A. Agnello, *Tavole prontuarie officiali*, cit., p. XI.

[56]Eugenio Malato, a Palermo, era "depositario del codice metrico del 1809".

[57]Nel 1812, tra le mozioni più interessanti approvate dai Comuni vi fu quella della formazione delle Tavole statistiche, da eseguirsi dagli ufficiali del corpo del Genio, per conoscere lo stato del reddito in tutta la Sicilia. La mozione fu fatta da Vincenzo Gagliani, poi segretario di intendenza a Catania.

[58]Nel 1812 fu istituita la Suprema deputazione dei Pesi e delle misure L'ufficio rimase in vita sino al 1861, anno in cui fu creata a Palermo la Giunta Metrica L'archivio di Stato di Palermo conserva i documenti della Suprema deputazione e le carte del Ministero e segreteria di stato presso il Luogotenente generale; Amministrazione dei pesi e delle misure.

[59]Durante i moti del 1820 furono ripresi gli antichi usi di pesi e misure. Dopo i rivolgimenti politici, il governo autorizzò il ripristino delle vecchie suddivisioni del rotolo e della botte. L. Granozzi e A. Signorelli (a cura di), *Lo sguardo dei consoli. La Sicilia di metà Ottocento nei dispacci degli agenti francesi*" La Spezia, Aracne Edizioni, 2001, p. 86.

[60]Dopo la pubblicazione del Codice Metrico Siculo, il metro fu considerato uguale a palmi 3.872639 (Domenico Marabitti), 3.873223 (Giuseppe Piazzi), 3.87324 (Niccolò Cacciatore), 3.873120 (Gaetano Cacciatore), e a palmi 3.8732 (Giuseppe Caldara). A. Agnello, *Tavole prontuarie officiali*, cit., p. XI.

[61]*Ivi*, p. XII. Nel 1838 Visconti determinò le dimensioni di pesi e misure in uso in Sicilia e commissionò al "macchinista" Bonaventura Bandiera un campione di rotolo legale siciliano in porfido. F. Visconti, *Del sistema metrico della città di Napoli*, cit.

[62]C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit.(ed. 1840), p. 9.

[63]I1 ducato fu diviso in 100 parti (che si chiamano grani a Napoli e baiocchi in Sicilia). La moneta di rame era il grano, diviso in 10 parti (chiamati cavalli a Napoli e piccioli in Sicilia). La moneta d'argento era il carlino che in Sicilia si chiama tarì. La moneta d'oro era l'oncetta.

[64]C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit.(ed. 1840), p. III.

[65]G. Ceva Grimaldi, *Sulla riforma de' pesi e delle misure*, cit., p. 11. Le disparate analisi e opinioni espresse nel 1821 dai Consigli provinciali riguardo al barile, canna ecc., sono *Ivi*, p 12.

[66]F. Visconti, *Del sistema metrico uniforme che meglio*, cit.

[67]C. Afan de Rivera**,** *Della restituzione del nostro sistema di Misure*, cit. (ed. 1838) p. III.

[68]G. Ceva Grimaldi, *Sulla riforma de' pesi e delle misure*, cit., p. 36.

[69]A Napoli Piazzi ebbe "il torto di guastare, come aveva fatto nella Sicilia ulteriore, un sistema che era il monumento della sapienza dei nostri maggiori". [C.] Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit.(ed. 1840), p. 5 Altrove, riferendosi a Piazzi, lo stesso autore scrive: "come esimio astronomo troppo veloce discorreva ne' campi delle astrazioni, senza soffermarsi a valutare i bisogni e le abitudini delle popolazioni; né si curò di studiare e valutare la sapienza de' principj di quel sistema che intendeva riformare". Piazzi – come dimostravano le difficoltà da lui incontrate in Sicilia – sapeva "che i popoli non si possono divezzare dalle idee di grandezza e di peso che si acquistano e perfezionano per mezzo de' sensi fin dalla prima infanzia" [C.]Afan de Rivera**,** *Della restituzione del nostro sistema di Misure*, cit. (ed. 1838) pp. III-IV.

[70]Nelle contrattazioni e negli atti doveva essere specificato il rapporto con le misure del sistema metrico uniforme della città di Napoli. Altrimenti l'atto era nullo F. Visconti, *Del sistema metrico della città di Napoli*, cit., p. 84.

[71]*Ivi*, p 75

[72]L'Accademia delle scienze fece anche stampare nel 1826 i due volumi dell'opera di A.P. Favaro, *Metrologia, o sia Trattato generale delle misure, de' pesi,e delle monete*, cit.

[73]F. Visconti, *Del sistema metrico della città di Napoli*, cit., p 6.Il rapporto del Visconti era stato commissionato dalla Consulta di stato C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit.(ed. 1840), p. IV.

[74]F. De Luca, *Esame critico di alcuni Opuscoli pubblicati intorno al sistema metrico della città di Napoli*, Napoli, dalla stamperia della Reale Accademia delle Scienze, 1839 pp. 98 e 114.

[75]F. Visconti, *Del sistema metrico della città di Napoli*, cit, p 83

[76]*Ivi*, p. 6

[77] La complessa normativa su questi aspetti, relativamente alla Sicilia, è stata raccolta da G. Perez, *Manuale di ponti e strade, acque e foreste,compilato per disposizione di S E il principe di Satriano*, Palermo, stab. Tip. Di Francesco Lao, 3 voll. 1850-1853.

[78]C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit.(ed. 1840), p. 16.

[79]*Ivi*, p IV.

[80]La Direzione generale di Ponti e strade nel gennaio 1828 ricevette l'ordine dalla real Segreteria di stato degli Affari interni di calcolare quanti palmi e quanti passi contenesse il miglio, misura itineraria di Napoli. Nel marzo 1828, il Consiglio degli ingegneri fece notare che - essendo il miglio napoletano equivalente all'arco di un minuto primo del meridiano - conveniva correggere il palmo secondo la misurazione del quadrante del meridiano che servì da base al sistema metrico dei francesi.

[81]C. Afan de Rivera, *Della restituzione del nostro*, cit. (ed. 1840), p. 57

[82]*Ibidem*.

[83]*Ibidem*.

[84]*Ivi,* p 59.

[85]*Ivi,* p.65.

[86]*Ivi,* p. 62.

[87]Nell'aprile 1836 il governo degli Stati Uniti affidò questo incarico all'astronomo statunitense Ferdinand Rudolph Hassler.

[88] *Ivi,* p. 36.

[89] La questione era avvertita con urgenza dagli archeologi che proprio in quegli anni, soprattutto a Roma, si apprestavano a scavare l'area del Colosseo: si pensi al celebre architetto Antonio Nibby, 1792-1839 che, assieme a Antonio De Romanis, delinea la *Pianta delle vestigia di Roma secondo le osservazioni e le ultime scoperte* e utilizza le scale in piedi antichi, metri e palmi romani.

[90] La memoria fu letta nell'adunanza del 24 settembre 1825 della napoletana Accademia delle scienze (edizione: Napoli, dalla tip. Di Angelo Trani, 1825). La citazione è a p. 5n.

[91]*Ivi*, pp. 27 28. Le competenze in campo antiquario degli ingegneri napoletani sono tracciate in F. M. Lo Faro, *Ingegneri, architetti, tavolari:periti "di misura" nel Regno di Napoli fra Settecento e Ottocento,* in *Storia e misura, indicatori sociali ed economici*, cit., pp.305-361.

[92]Sammartino presentò la relazione nelle due tornate del 26 agosto e del 7 settembre 1842. La memoria fu pubblicata in negli "Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze naturali di Catania", tomo 19, Catania, tipi dei fratelli Sciuto, 1842, pp. 132-169.

[93]A. P. FAVARO, *Metrologia, o sia Trattato generale delle misure, de' pesi,e delle monete*, cit, p. 12

[94] Il popolo francese – scrive Afan De Rivera – non si è ancora abituato al nuovo sistema e si oppone alla legge del 1837. Cioè dopo 45 anni il SMD non è ancora di uso generale in Francia. *Della restituzione del nostro,* cit.(ed. 1840), p. 11.

[95] Ceva Grimaldi trascrive e commenta i diplomi e le carte Angioine in, *Sulla riforma de' pesi e delle misure*, cit., p. XXXV.

[96]Il Sistema Metrico Siculo nella pratica restò sulla carta: è noto che le riforme del Piazzi "sono consegnate in una legge ineseguita" G. CEVA GRIMALDI, *Sulla riforma de' pesi e delle misure* , cit., p. 58.

[97]Cita il "Rapport" del deputato Mathieu alla Camera dei deputati del 10 maggio 1837. *Ivi*, p. 56.

[98]La normativa più recente era tratta da *Origine e vantaggi del sistema metrico decimale*, Piacenza, dalla tip. del Majno, 1837 (altra ed.: Piacenza, 1833) F. DE LUCA, *Esame critico dil alcuni Opuscoli*, cit., pp. 18-56.

Cristina Càndito

Un disegno per l'ingegneria ottocentesca

Gli ingegneri italiani si collocano tra i primi in Europa nel recepire le innovazioni introdotte dalla codificazione ottocentesca del disegno assonometrico effettuata dagli studiosi inglesi. I testi del professor Giovanni Codazza (1842) e dell'ingegnere e statista Quintino Sella (1861) costituiscono significative testimonianze dell'adozione e dello sviluppo della tematica assonometrica in Italia.[1] Risulta, peraltro, interessante rilevare come si possa individuare anche un precursore italiano del metodo assonometrico in Giuseppe Tramontini, professore dell'Università e della Scuola Militare di Modena.

La nascita dell'assonometria in Inghilterra

Il professore ed ingegnere William Farish aveva descritto il metodo della assonometria isometrica (1822)[2] come un caso particolare di disegno prospettico, che avrebbe permesso, ai suoi allievi di filosofia naturale e sperimentale a Cambridge, di comprendere e progettare i macchinari per l'industria manifatturiera,[3] in maniera agevole e pratica. Il movente per Farish non è da ricercarsi, quindi, nell'ambito della disciplina del disegno, bensì nelle esigenze didattiche; questi aspetti sono importanti anche per la redazione di un precedente testo di Farish (1796-1821),[4] sulle relazioni tra manifattura e chimica, che costituisce, tra l'altro, il vero esordio dell'insegnamento delle materie di ingegneria all'Università di Cambridge.

È bene chiarire che il metodo ideato da Farish e da lui denominato "prospettiva isometrica" costituisce solo uno degli infiniti tipi di assonometria,[5] che oggi è chiamata ortogonale isometrica.

Tale tipo di assonometria è generata da un fascio proiettante con direzione perpendicolare al piano assonometrico p, che è ugualmente inclinato rispetto ai tre piani di riferimento triortogonali. Considerato p con la giacitura descritta, se un cubo ha le facce orientate secondo le tre giaciture di riferimento, il contorno apparente della sua proiezione su p risulta coincidente con un esagono regolare. Oltre ai sei spigoli del cubo proiettati nei sei lati dell'esagono, nella proiezione sono visibili altri tre spigoli, coincidenti con altrettanti raggi del cerchio circoscritto all'esagono regolare, che formano tra loro tre angoli uguali di 120°.[6]

I precedenti di Farish e gli studi di Giuseppe Tramontini

Nonostante la trattazione di Farish risulti originale, è possibile riconoscere diversi precedenti nell'utilizzo del suo metodo di rappresentazione. Nell'arte figurativa di diverse culture orientali, la pseudo-assonometria riveste un ruolo di primaria importanza, paragonabile a

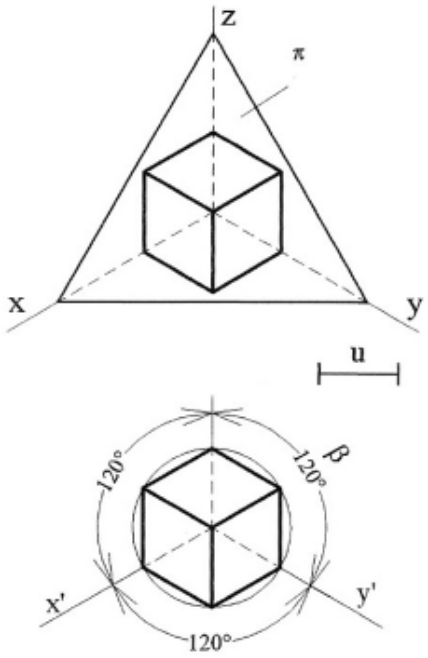


Fig. 1 – L'assonometria ortogonale isometrica e il cubo isometrico

quello della pseudo-prospettiva per la storia dell'arte del mondo occidentale.[7] In occidente, la prospettiva parallela viene utilizzata in maniera intuitiva nei trattati rinascimentali di ingegneria militare e geometria pratica[8] e viene descritta a partire dal XVII secolo anche nei testi di stereotomia.

In particolare, interessa qui indagare quest'ultimo ambito,[9] che si occupa principalmente di fornire indicazioni per la realizzazione di apparati costruttivi di conci in pietra. Infatti, l'assonometria si trova già nel testo del 1640 del geometra lionese Girard Desargues dedicato appunto alla stereotomia,[10] dove l'argomento trattato non costituisce che una delle applicazioni di un metodo universale sulle proiezioni studiato dall'autore nell'intero arco della sua attività scientifica.[11]

L'assonometria viene utilizzata anche nel trattato di Jean-Baptiste de La Rue (1728),[12] per illustrare le superfici curve di coni circolari e volte e nel testo di Amédée-François Frézier (1737-1739),[13] per disegnare con maggiore chiarezza le compenetrazioni tra i solidi. Fin dai primi trattati, la stereotomia è strettamente legata alle procedure di rappresentazione geometrica dei singoli conci anche per l'interesse particolare nel reperimento della vera grandezza delle facce dei conci stessi.

Ad ulteriore riprova del forte legame tra proiezioni ortogonali, assonometria e stereotomia, si ricordano anche i testi dello stesso Gaspard Monge (*Stéréotomie*, 1795) e del suo allievo Jean Pierre Nicolas Hachette (*Traité de Géometrie Descriptive...*, 1828), a completamento della tradizione che presenta un notevole sviluppo successivo.[14]

Per quanto riguarda il versante teorico, un precedente significativo della dell'assonometria ortogonale è costituito in Italia dal trattato dell'ingegner Giuseppe Tramontini.[15] Professore di Disegno e poi di Geometria Descrittiva dell'Università e della Scuola Militare di Modena, Tramontini pubblica nel 1811 uno studio[16] in cui espone in maniera compiuta la teoria e la pratica della novella Geometria Descrittiva. La disciplina nasce, com'è noto, dallo scritto di Gaspard Monge del 1798[17] e si occupa di descrivere il metodo della doppia proiezione ortogonale, peraltro già in uso

nella pratica del disegno architettonico e in parte codificato da precedenti studi teorici.[18]

Tramontini dedica la prima parte del testo alla descrizione del metodo di Monge.[19] In particolare, nel capitolo IV, si trova la prima esposizione del cambiamento dei piani di proiezione, nel quale sembra di poter ravvisare un vero e proprio elemento di raccordo tra il metodo delle proiezioni ortogonali e quello dell'assonometria ortogonale. Infatti, se consideriamo la famiglia delle assonometrie ortogonali, ossia quelle generate da raggi proiettanti perpendicolari rispetto a π, è necessario escludere la possibile coincidenza delle direzioni principali dell'oggetto con quelle di riferimento, altrimenti la rappresentazione risulterebbe una proiezione ortogonale. Dunque, se dal punto di vista geometrico-proiettivo non esiste differenza tra i due metodi, dal punto di vista della rappresentazione occorre rispettare tale limitazione, ai fini di distinguere i due tipi di disegno che sono governati da codici distinti.

Tramontini si occupa anche della "*prospettiva parallela"* nel cap. II della seconda parte del testo,[20] dove il metodo è assimilato a quello della prospettiva, proprio come farà in seguito lo stesso Farish. Tramontini definisce le caratteristiche generali di questo metodo nel parallelismo dei raggi di proiezione e nella posizione all'infinito del punto di vista. Nel metodo da lui proposto, tale "prospettiva" si ottiene a partire dalle proiezioni mongiane dei punti. I riferimenti della linea di terra e della linea di

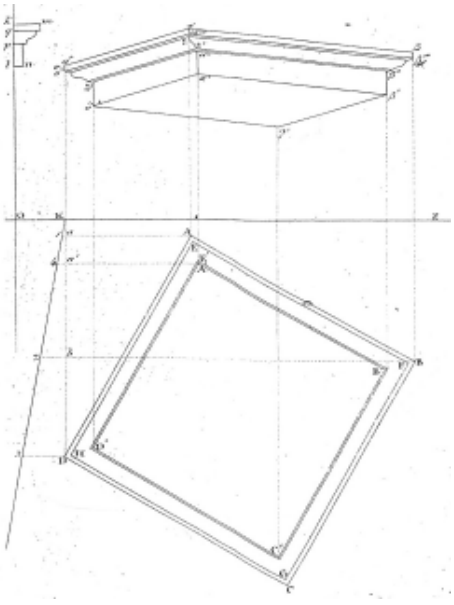


Fig. 2 - G. Tramontini, Delle Projezioni Grafiche ..., *Modena 1811, assonometria di un abaco*

intersezione tra piano verticale e laterale costituiscono il punto di partenza per ottenere la proiezione assonometrica di ogni punto notevole della figura da disegnare.

È possibile, comunque, individuare una maggiore vicinanza del testo di Tramontini al versante delle teorizzazioni di Farish, nel sottolineare i vantaggi di una particolare direzione di proiezione, ossia quella perpendicolare al quadro che individua proprio il metodo illustrato dall'autore inglese. Per Tramontini è possibile ottenere direttamente tale proiezione di un punto, utilizzando la retta perpendicolare alla retta fondamentale che passa per la prima proiezione ortogonale del punto stesso. Si può, dunque, affermare che Tramontini si riferisca

sempre alle proiezioni mongiane, interpretate però in senso assonometrico.

Tramontini non trascura di descrivere anche le *"prospettive a cavaliere"* o *"a vista d'uccello"*, che sono utilizzate per rappresentare le città e le fortificazioni. L'adozione di un'inclinazione di proiezione di 45°, che lascia inalterate anche le dimensioni verticali, sembra indicare che tale metodo coincida con l'*assonometria obliqua cavaliera*, nella variante monometrica. Il testo si conclude con un riferimento al tema generico della prospettiva parallela, per sottolineare la possibilità di dedurre da essa le vere dimensioni dell'oggetto rappresentato, data la direzione di proiezione.

L'assonometria in Italia dopo Farish: gli studi di Codazza e Sella

La trattazione di Farish è seguita in Inghilterra da un discreto numero di testi, che si occupano dell'argomento in forme sia analitiche sia sintetiche.[21]

In Italia, uno dei primi studi che recepisce le innovazioni del metodo di Farish è il testo composto dall'ingegnere e professore Giovanni Codazza[22] nel 1842. L'ingegnere italiano conosce il metodo di Farish attraverso il riassunto fornito da William Grier nel 1838.[23]

Il testo di Codazza è articolato in ventidue capitoli di contenuto geometrico, seguiti da quattro applicazioni del metodo al disegno di linee curve.[24] La trattazione inizia con l'introduzione del soggetto da rappresentare, ossia le macchine, per spiegare come le loro parti siano configurate e disposte in maniera da presentare una prevalenza di figure geometriche semplici. Codazza rileva i difetti dei metodi di rappresentazione più diffusi, con riferimento specifico alla rappresentazione delle macchine. Le proiezioni mongiane, infatti, possono risultare di difficile comprensione, mentre si individuano delle difficoltà esecutive nella prospettiva e anche in alcuni tipi di assonometria, a causa del cambiamento di scala (*unità assonometrica*) lungo le tre direzioni di riferimento.

Per Codazza, il metodo che permette di superare queste difficoltà è quello proposto dal professor Farish, in cui i raggi di proiezione sono perpendicolari al quadro e l'oggetto da rappresentare è disposto secondo un particolare orientamento.

Codazza, dunque, descrive la facile applicazione del metodo di Farish e le sue proprietà geometriche. Tale disegno permette di ottenere la stessa scala di rappresentazione lungo le tre direzioni isometriche e la proporzionalità tra lato del cubo isometrico, diagonale di una sua faccia e diagonale dello stesso cubo. Si individua inoltre la presenza di angoli di ampiezza costante (60°, 120°), oltre all'uguaglianza della rappresentazione del cerchio nei tre piani principali, in modo da permettere l'utilizzo di appositi strumenti da disegno.

Un altro testo italiano dedicato all'assonometria è quello redatto nel 1861 dall'ingegnere e statista Quintino Sella.[25] Lo scritto è tratto dalle lezioni tenute dall'autore nel 1856, presso il Regio Istituto Tecnico di Torino.[26] Il testo è tradotto in tedesco[27] ed in precedenza lo stesso Sella ne comunica i contenuti

a Ludwig Julius Weisbach.[28] Weisbach, professore alla Bergakademie di Freiberg, è uno degli importanti autori tedeschi di inizio Ottocento sull'assonometria. Nel suo trattato del 1844,[29] sottolinea il forte legame tra geometria descrittiva e geometria analitica ed individua i rapporti tra le unità assonometriche, attraverso gli elementi di trigonometria sferica. Tra gli autorevoli autori tedeschi si ricordano qui Karl Theodor e M.H. Meyer, che coniano il termine assonometria (dalle parole greche *axôn*, asse e *metron*, misura),[30] e Karl Pohlke, autore del teorema fondamentale dell'assonometria nel 1860.[31]

È proprio grazie ai suoi contatti internazionali, dunque, che Sella può avvalersi delle evoluzioni più significative della materia compiute proprio in ambito tedesco. Infatti, nell'introduzione del suo studio, Sella spiega che il disegno assonometrico ha origine dal metodo proposto da William Farish nel 1822, ma anche dalla sistematizzazione compiuta nel 1844 da Weisbach.

Lo scritto è articolato in due parti, di cui la prima introduce il tema generale delle proiezioni, mentre la seconda si occupa dei diversi metodi di rappresentazione: le proiezioni quotate, le proiezioni mongiane e la prospettiva, per concludere con la descrizione del *disegno axonometrico*.

Si noti che, all'interno del capitolo sulla prospettiva, Sella descrive la *prospettiva parallela*, generata da un punto di osservazione posizionato all'infinito, intendendo con questa definizione la famiglia delle assonometrie oblique. Il *disegno axonometrico*, invece, per Sella coincide con il caso particolare di prospettiva parallela, in cui la direzione di proiezione sia perpendicolare al quadro, ossia l'assonometria ortogonale. È rilevato dallo stesso Sella, come la condizione necessaria perché quest'ultimo tipo di assonometria si distingua dalle proiezioni mongiane, è che il quadro sia inclinato rispetto all'oggetto da rappresentare.

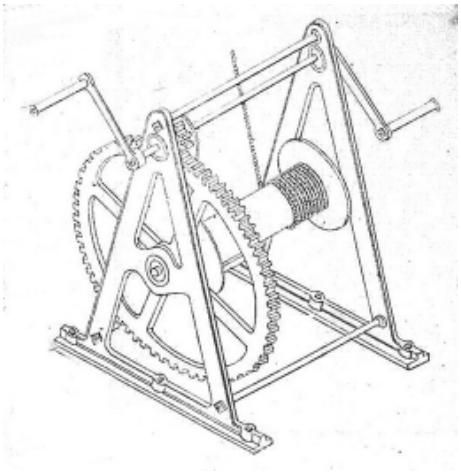


Fig. 3 - Q. Sella, Sui principi geometrici del disegno*, 1861, il verricello in isometria*

Come Tramontini, anche Sella riconduce il problema ad un cambio di piano di proiezione sul quale si proiettano i tre assi e le tre coordinate del punto di cui si cerca la proiezione.

Sella si interessa dell'individuazione delle relazioni algebriche che legano le proiezioni degli assi, la loro posizione nello spazio e le tre unità di misura. In particolare, viene indagato il caso specifico del *disegno isometrico*, ovvero il metodo di Farish, ma sono contemplati

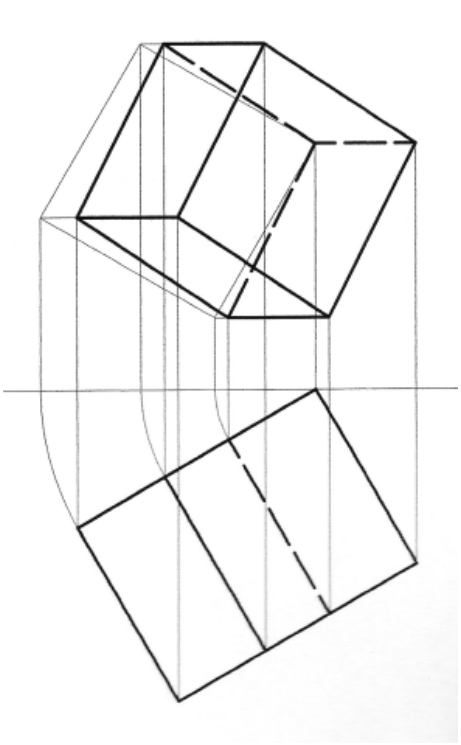


Fig. 4 - Dalle proiezioni ortogonali all'assonometria ortogonale: cambiamento del riferimento o rotazione dell'oggetto. La seconda proiezione coincide un' assonometria ortogonale

anche i casi particolari del *disegno monodimetrico* (assonometria ortogonale dimetrica) e *anisometrico* (assonometria ortogonale trimetrica).

Sella esprime alcune considerazioni sulla pratica del disegno, mostrando come il cubo disegnato in isometria presenti delle ambiguità, costituite dalla sovrapposizione di alcuni spigoli, che si possono evitare adottando il *disegno monodimetrico*. Altre notazioni sulla pratica grafica riguardano il disegno dello *spaccato assonometrico*, che è utile per evidenziare le parti interne dell'oggetto da rappresentare, il disegno dei *corpi rotondi* attraverso il contorno apparente e la scelta della scala del disegno.

Per concludere, Sella cita il problema dell'indeterminatezza della posizione del punto, data la sola sua proiezione assonometrica e annovera i vantaggi dei *disegni axonometrici*, nel conservare il parallelismo e nel permettere un'agevole misurazione lungo le direzioni degli assi.

Conclusioni. Il fondamento comune dei metodi di proiezione

L'assonometria ortogonale isometrica, usata intuitivamente da tempi remoti, viene descritta in maniera scientifica per la prima volta da William Farish nel 1822, ma più in generale, un'immagine generata da una proiezione ortogonale e da un oggetto non allineato lungo le direzioni di riferimento si può reperire proprio all'interno del metodo della doppia proiezione ortogonale, anch'esso di antica tradizione, ma codificato nel 1798 da Gaspard Monge.

In ambito italiano, dunque, è normale trovare un precedente di Farish proprio tra i primi studiosi del dettato mongiano, l'ingegner Giuseppe Tramontini (1811). Infatti, la cosiddetta prospettiva parallela si rivela subito ben differente dalla sua cugina, la prospettiva propriamente detta, proprio per la differente origine proiettiva, in quanto generata da un centro di proiezione all'infinito.

Se l'assonometria ortogonale deve essere considerata come un caso particolare di proiezione ortogonale, è il riferimento alla corrispondenza biunivoca, implicita nella trattazione del problema inverso, che permette di collocare lo studio di Tramontini tra i precursori dell'argomento trattato con un approccio di tipo proiettivo.

Per gli studi italiani successivi, si può riconoscere un riferimento molto stretto all'opera di Farish, sia nell'opera di Codazza, sia in quella di Sella, anche se quest'ultimo dimostra di interessarsi ad un approccio di tipo algebrico, sull'esempio dei precedenti studi tedeschi.

Per quanto riguarda gli aspetti strettamente rappresentativi, l'assonometria in generale si trova a rivestire da sempre un ruolo ben distinto dalla prospettiva, quest'ultima appannaggio degli artisti e adottata in architettura per illustrare gli aspetti ritenuti più esteriori del soggetto rappresentato. L'antica "prospettiva cavaliera" serve a scopi puramente tecnici, già nel disegno rinascimentale delle fortificazioni o della geometria pratica. In particolare, si dimostra uno stretto legame dell'assonometria con la stereotomia scientifica del Seicento e del Settecento, normalmente ricordata per il suo rapporto con il disegno delle proiezioni ortogonali.

La discendente di quegli antichi grafici, l'assonometria obliqua od ortogonale, risulta perfettamente adatta ad illustrare le macchine industriali nella maniera più chiara ed evidente. Se la prospettiva arriva ad essere considerata come un'applicazione del disegno inutilmente complessa e la proiezione ortogonale come un grafico astratto, l'assonometria è definita come l'unico metodo di rappresentazione che deve essere promosso ai fini di un suo utilizzo pratico ed efficace.

Per questo motivo si trova ad essere studiata e divulgata proprio nell'ambito delle scuole di ingegneria, che nell'Ottocento fioriscono anche in Italia, sia in ambiente militare, sia in quello civile, come dimostrano gli esempi della Scuola Militare di Modena e delle Università di Pavia e Torino, dove si compiono i descritti studi di Giuseppe Tramontini, Giovanni Codazza e Quintino Sella.

[1] Per la storia dell'assonometria, cfr. M. Scolari, *Il disegno obliquo. Una storia dell'antiprospettiva*, Venezia, Marsilio, 2005 (che contiene scritti pubblicati a partire dal 1982 su "Rassegna", "Casabella", "Eidos"); A. Giordano, *La geometria nell'immagine. Storia dei metodi di rappresentazione*, vol. III, *Dal secolo dei lumi all'epoca attuale*, Torino, Utet, 2002; C. Càndito, *Le proiezioni assonometriche. Origini storiche ed applicazioni agli strumenti per il disegno*, Firenze, Alinea, 2003 (con particolare attenzione ai trattati inglesi).

[2] William Farish, *On isometrical perspective*, in "Transactions of Philosophical Society", I, 1822, pp. 4-19.

[3] Per il significato dell'assonometria nel periodo della rivoluzione industriale, cfr. anche, P. Eisenman, *Le rappresentazioni del dubbio: nel segno del segno*, in "Rassegna", n. 9, 1982, pp. 69-74; K. Baynes,

Forme della rappresentazione, in *Storia del disegno industriale. I. 1750-1850. L'età della rivoluzione industriale*, Milano, Electa, 1989, pp. 108-127; F. BERTAN, *Disegno: strumenti e apparati*, in *Storia del disegno industriale, op. cit.*, 1989, pp. 289-298 e *II. 1851-1918. Il grande emporio del mondo*, Milano, Electa, 1989, pp. 304-309.

[4] *A plan of a course of lectures on Arts and Manufactures, more particularly such as relate to chemistry*, 4 voll., Cambridge, Buges, 1796-1821. Per un'analisi del testo, cfr. P. J. BOOKER, *A history of Engineering drawing*, London, Chatto & Widus, 1963; altra ediz.: London, 1979.

[5] Le proiezioni assonometriche sono accomunate alle proiezioni ortogonali e a quelle quotate per la presenza di un centro di proiezione all'infinito, che caratterizza i rapporti metrici tra il soggetto e la sua rappresentazione. L'assonometria, però, è anche detta prospettiva parallela, poiché mostra l'immagine del soggetto da rappresentare in un'unica proiezione che simula la terza dimensione. A differenza della prospettiva propriamente detta (che ha un centro di proiezione finito), l'assonometria non presenta la riduzione delle grandezze in profondità, bensì permette la conservazione del parallelismo delle rette.

[6] Siccome nell'*assonometria ortogonale isometrica* il *quadro assonometrico* π presenta uguale inclinazione con ognuno dei tre assi di riferimento, il triangolo delle tracce è equilatero, con i seguenti rapporti assonometrici:

$ux' = uy' = uz' = 0.816; \qquad \alpha = \beta = \gamma = 120°$

Considerato che le tre unità di misura assonometriche sono tutte ridotte del fattore di 0.816 (ossia radice quadrata di 2 / radice quadrata di 3), se si applica l'ingrandimento convenzionale di 1.225, si ottiene l'identità tra misure reali e misure proiettate. Tale accorgimento, comunemente usato nella pratica del disegno, permette di utilizzare l'assonometria isometrica con maggiore praticità.

[7] Per le forme di rappresentazione orientali, oltre a SCOLARI 2005, cfr. anche A. DE ROSA, *L'infinito svelato allo sguardo. Forme della rappresentazione estremo-orientale*, Torino, Citta-Studi, 1998.

[8] Per questi argomenti, cfr. SCOLARI 2005.

[9] Per la stereotomia, si rimanda a J. SAKAROVITCH, *Epures d'architecture: de la coupe des pierres à la géométrie descriptive, XVIe-XIXe siècles*, Basel, Birkhäuser, 1998, oltre a A. BECCHI-F. FOCE, *Degli archi e delle volte. Arte del costruire tra meccanica e stereotomia*, Venezia, Marsilio, 2002.

[10] G. DESARGUES, *Brouillon project d'exemple d'une maniére universelle du S.G.D.L. touchant la pratique du trait à preuves pour la coupe des pierres en l'Architecture: Et de l'esclaircissement d'une manière de reduire au petit pied en Perspective comme en Geometral, & de tracer tous Quadrans plat d'heures égales du soleil*, Paris, 1640. Cfr. Sakarovitch 1998 e C. CÀNDITO, *La gnomonica di Desargues e le meridiane di Kircher e Maignan*, in "XY. Dimensioni del disegno", n. 41-42-43, gen-dic 2001, pp. 115-124.

[11] Per Desargues, cfr. J.V.FIELD-J.J.GRAY, *The geometrical work of Girard Desargues*, Springler-Verlag, New York 1987; M. BOFFITO, *Dentro la geometria. Sui prodromi di geometria proiettiva, evoluzione storica e applicazioni* Genova 1989; ediz.1996 ed i testi e la bibliografia contenuti nel numero monografico "Sciences et techniques en perspective", n. 29, 1994.

[12] Jean-Baptiste DE LA RUE, *Traité de la coupe des pierres*, Paris, 1728.

[13] Amédée-François FRÉZIER, *La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois pour la construction des voûtes et autres parties des bâtiments civils et militaires, ou traité de stéréotomie à l'usage de l'architecture*, 3 voll., Strasbourg-Paris, 1737-1739.

[14] Si citano Jean Baptiste Rondelet (*Construction des voûtes* e *Stéréotomie* nell'enciclopedia di Quatremère de Quincy, Parigi 1788-1825) e J.A.Adhémar (*Traité de la coupe des pierres*, Parigi 1840).

[15] Giuseppe Tramontini (1768-1852) si laurea in ingegneria a Padova ed è autore di un *Elogio di Giacomo Barozzi*, 1825.

[16] G. Tramontini, *Delle Projezioni Grafiche e delle loro principali applicazioni. Trattato teorico pratico ad uso della Reale Scuola Militare del Genio e dell'Artiglieria, come ancora di tutti i giovani architetti ed ingegneri civili*, Modena, Società Tipografica, 1811 (Accademia Nazionale di Scienze Lettere e Arti di Modena). Per l'analisi della sola prima parte dello scritto, cfr. G. Loria, *Storia della Geometria Descrittiva dalle origini sino ai nostri giorni*, Milano, Hoepli, 1921, pp. 191-192.

[17] G. Monge, *Géométrie Descriptive. Leçons données aux Ecoles Normales l'an III de la Republique*, Paris, 1798. Per alcuni aspetti della geometria descrittiva, cfr. oltre a Loria 1921, anche M. Docci-R. Migliari, *Geometria descrittiva e scienza della rappresentazione*, in AA.VV., *Geometria e percezione nei metodi di rappresentazione*, Bari, Edipuglia, 1994; R. Evans, *The projective cast: architecture and its three geometries*, Cambridge Mass., Mit Press, 1995.

[18] Tra i precedenti di Monge si possono ricordare Piero della Francesca e Guarino Guarini.

[19] Tramontini collega il metodo Mongiano al sistema cartesiano e si occupa della proiezione, del punto, delle linee e delle superfici.

[20] La seconda parte del testo è divisa in due libri, di cui il primo è dedicato alla prospettiva *parallela* e *concorrente*, con l'integrazione del disegno delle ombre. Il secondo libro è dedicato alla rappresentazione delle volte. La prospettiva parallela si trova nella parte II, libro I, cap. II, pp. 9-32.

[21] Tra questi si ricordano J. Jopling, *The practice of Isometrical Perspective*, London, M. Salmon, 1833; T. Bradley, *Practical Geometry, Linear Perspective and Projection, including isometrical perspective projections of the sphere, and the projection of shadows, with description of the principal instruments used in geometrical drawing*, London, Baldwin & Cradock, 1834; T. Sopwith, *A treatise on isometrical Drawing, as applicable to geological and mining plans*, London, 1834, seconda ediz.: London, John Weale, 1838; O. G. Gregory, *Mathematics for pratical men being a common-place book* ..., London, Baldwin, Cradock and Joy, 1825.

[22] Giovanni Codazza (1816-1873) si laurea in ingegneria a Pavia, dove poi insegna Geometria Descrittiva e Scienza delle Costruzioni. Dal 1863 è all'Istituto Tecnico di Milano (poi Politecnico) ad insegnare Fisica Tecnologica e dal 1868 è a Torino in qualità di docente di Fisica Industriale e di direttore del Regio Museo Industriale di Torino. Pubblica numerosi testi sulla Fisica e la Geometria Descrittiva.

[23] W. Grier, *Isometrical perspective*, in *The mechanics pocket dictionary*, Glasgow & Edinburgh, Blackie and Son, 1838, pp. 435-443.

[24] G. Codazza, *Sopra un metodo di prospettiva pel disegno di macchine. Nota di geometria descrittiva*, Como, C. A. Ostinelli, 1842. Alcuni contenuti sono accennati da Loria 1921, p. 412.

[25] Quintino Sella (1827-1884) studia ingegneria a Torino per specializzarsi in mineralogia, che insegna insieme alla geometria applicata. Si interessa di archeologia e di alpinismo e diviene uno dei più importanti statisti dell'Italia unita, di cui è ministro delle finanze (1862).

[26] Q. Sella, *Sui principi geometrici del disegno e specialmente dell'axonometrico. Lavoro dettato da Quintino Sella per le sue lezioni di Geometria applicata alle arti date in maggio-giugno 1856 al Regio*

Istituto Tecnico di Torino. Estratto dal Giornale dell'Ingegnere, Architetto e Agronomo, anno IX, Milano, Domenico Salvi e Comp., 1861

[27] M. CURTZE, *Über die geometrischen. Principien des Zeichnens, insbesondere uber die Axonometrie*, in Arch. Math Phys, 43, 1856, pp. 245-289; cfr. BERTAN 1989.

[28] La lettera è pubblicata nel "Der civilingenieur", III, 1857. Cfr. LORIA 1921.

[29] L. J. Weisbach (1806-1871), *Die monodimetrische und axonometrische Projectionsmethode* (in L. VOLZ UND KARMARSCH, Polytechnische Mittheilungen, 1, Tübingen, 1844); cfr. Loria 1921, p. 414.

[30] K.T. MEYER-M.H. MEYER, *Lehrbuch der axonometrischen Projetkionslehre*, Leipzig, 1863. Cfr. LORIA 1921, p. 415.

[31] Karl Pohlke (1810-1876), *Darstellende Geometrie*, Berlin, 1860, parte I. "*Un quadrangolo O'X'Y'Z' può essere sempre considerato come proiezione parallela di tre segmenti OX, OY, OZ uguali tra loro ed uscenti dallo stesso punto e ortogonali tra loro*".

Federico Foce

Saint-Venant prima del 'problema di Saint-Venant'. Studi sulla resistenza dei materiali (1837-1853)

Introduzione

Per storici e teorici della meccanica la figura di Adhémar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant offre molteplici spunti di interesse per l'opera da lui professata come ingegnere, scienziato e filosofo della natura. Storico egli stesso, come accade ai migliori teorici, in tempi recenti Saint-Venant è stato oggetto di numerosi studi favoriti anche dall'accessibilità al *Fond Saint-Venant* dopo la donazione fattane dagli eredi all'École Polytechnique nel 1990[1].

In questo quadro di studi, la presente nota offre un regesto ragionato dei lavori di Saint-Venant precedenti la pubblicazione delle due grandi memorie sulla torsione e la flessione dei prismi (1856), nelle quali è trattato ciò che, nel 1862, Clebsch indicò per primo come *de Saint-Venantsche Problem*[2].

I circa quindici anni che vanno dalla stesura del *Cours lithographié* delle *Leçons de mécanique appliquée*, preparate nell'anno accademico 1837-1838 per gli allievi ingegneri dell'École des Ponts et Chaussées, alla presentazione in estratto dei risultati delle due citate memorie sui "Comptes rendus" del 1853 attestano una straordinaria fase di sviluppo della resistenza dei materiali alla quale Saint-Venant ha contribuito in maniera decisiva. A perfezionamento del testo delle *Leçons*, infatti, egli pubblica molte brevi note ed alcuni lavori estesi apparsi sugli stessi "Comptes rendus", sul "Bulletin de la Société Philomatique", su "L'Institut", sul "Journal de Mathématiques pures et appliquées", sul " Journal de l'École Polytechnique", dove le teorie elementari ed incomplete sino ad allora formulate sulla trave vengono riviste e corrette alla luce della teoria generale dell'ela-sticità.

Per non smarrirsi nel puzzle di tale spezzettata produzione, della quale manca ancora un quadro organico[3], diamo a seguire un suo elenco cronologico e proponiamo una sua classificazione per temi, quelli che Saint-Venant tratterà a più riprese correggendo risultati altrui e ritoccando risultati propri.

Il grande avvio con il Cours lithographié *(1837-1838*)

Il vero punto di partenza del percorso in esame è rappresentato dal *Cours* tenuto all'École des Ponts et Chaussées. Redatto ad hoc nella circostanza di sostituire Coriolis nell'insegnamento di meccanica applicata, esso rivela un'eccezionale capacità espositiva della materia, ciò che attribuisce carattere di grande modernità a quest'opera rimasta sino ad oggi poco studiata[4].

Comparato ai contemporanei testi con simili intenti didattici, il *Cours* si distingue per taglio, contenuti e finalità.

Esso si colloca metodologicamente, oltre che per ragioni cronologiche, fra due opere emblematiche degli approcci perseguibili nell'esposizione delle teorie scientifiche e delle loro applicazioni tecniche: intendiamo, da un lato, il *Résumé des leçons… sur l'application de la mécanique* di Navier, edito per la prima volta nel 1826 ad uso degli allievi dell'École des Ponts et Chaussées, nel quale il grande ingegnere francese opta a favore di una presentazione induttiva degli argomenti a partire dai casi elementari di sollecitazione della trave, di certo più intuitivi ma inadeguati a consentire le dovute generalizzazioni; dall'altro, le *Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides* di Lamé, edite nel 1852 per il corso di fisica matematica tenuto alla Faculté des Sciences di Parigi, nelle quali la trattazione deduttiva muove dalle relazioni generali della teoria 'matematica' dei corpi elastici e si sofferma appena sullo spettro delle ricadute applicative, in ciò perdendo di vista problemi di notevole portata ingegneristica.

La linea metodologica seguita da Saint-Venant nel testo delle *Leçons* del 1837-1838 accoglie in pieno la via deduttiva come indispensabile per dar fondamento ai singoli casi speciali e poterli sempre inquadrare 'dall'alto', ma non rinuncia mai all'analisi delle conseguenze particolari della teoria ogni qual volta essa può offrire utili applicazioni a problemi tecnici o dar giustificazione razionale di scelte sino ad allora basate sui risultati della sola esperienza. In questo senso, le *Observations préliminaires* sono una lucida dichiarazione della posizione assunta da Saint-Venant a favore dell'ingresso della "Mécanique mathématique dans l'exercice de l'art de l'Ingénieur".

Ma veniamo alla classificazione per temi. Si diceva del carattere di modernità nella concezione delle *Leçons*. Esso proviene, anzitutto, da una partizione interna del *Cours* equivalente a ciò che negli odierni trattati di scienza delle costruzioni distingue la presentazione preventiva della meccanica dei solidi da quella, conseguente, della meccanica delle strutture, spesso esposte di proposito in volumi separati.

L'ideale volume I, quello sulla meccanica dei solidi, riguarda la teoria dei corpi elastici ovvero, come dice Saint-Venant, le *Lois générales de la résistance des solides*. In questo ambito sono trattati i seguenti temi salienti, ai quali diamo una nostra numerazione per poterne richiamare più facilmente gli sviluppi nei lavori successivi al *Cours*.

Definizione di tensione in termini di *mécanique moléculaire*. Già Cauchy, Poisson, Lamé e Clapeyron avevano dato una prima definizione molecolare di tensione, ma Saint-Venant ne offre un più corretto enunciato, ribadito in 1845[1] ed accolto dallo stesso Cauchy, per il quale la tensione in un qualunque punto interno *O* di un corpo, attraverso una qualunque piccola faccia piana *AB* condotta per tale punto, è "*la résultante de toutes les actions attractives ou repulsives qu'exercent les molécules m, m', m" situées d'un côté de cette face*

sur les molécules n, n', n" situées de l'autre côté, et dont les directions traversent cette face".

Precisando che le direzioni delle azioni molecolari devono attraversare la superficie, tale definizione evita inesattezze nel conteggio delle azioni stesse qualora si considerino diverse giaciture per il punto *O*.

Equazioni di legame elastico lineare. Tali equazioni discendono direttamente dalla definizione molecolare di tensione quando la si tratti matematicamente in corrispondenza alla variazione della distanza relativa fra le molecole dovuta all'azione di forze esterne.

Come già riconosciuto dai fondatori della teoria molecolare, Saint-Venant ritrova che per i corpi isotropi tali equazioni contengono una sola costante elastica ed afferma, per estensione, che nel caso generale di anisotropia le costanti devono essere in numero di trentasei, comparendo in ciascuna delle sei componenti di tensione a moltiplicatore delle sei derivate degli spostamenti.

In merito a tale aspetto Saint-Venant, a differenza di Cauchy, non deduce tutte le conseguenze della teoria molecolare, per la quale si dimostra che le costanti si riducono a quindici per la validità di certe loro eguaglianze dette, poi, 'relazioni di Cauchy'.

Su tale punto, però, lo stesso Saint-Venant tornerà più volte in seguito quando si aprirà la controversia fra teoria rari-costante e multi-costante, dimostrandosi il più tenace paladino della prima sulla base di profonde ragioni non confutabili in termini dei risultati della sola esperienza.

Definizione delle componenti di deformazione. Contestuale alla deduzione delle equazioni di legame nelle quali compaiono, combinate, certe derivate prime degli spostamenti, è la definizione delle dilatazioni lineari e degli scorrimenti angolari o *glissements*, termine introdotto per la prima volta nell'analisi della deformazione. In particolare, Saint-Venant ne dà una lucida interpretazione geometrica e dimostra che uno scorrimento g parallelo ad una certa giacitura consiste di una dilatazione $g/2$ e di una contrazione $-g/2$ secondo due direzioni formanti angoli di $\pm 45°$ con quella dello scorrimento g.

Equazioni di equilibrio indefinite e al contorno, anche in termini di spostamento, e *problema della loro integrazione*. Saint-Venant riconosce la difficoltà di tale problema ed auspica che i geometri pervengano a metodi approssimati utili a dare risultati applicabili alle questioni della pratica. In tal senso, egli stesso sarà il primo ad offrirne soluzione con l'ideazione del *metodo misto* o *semi-inverso* applicato ai prismi.

Riconoscimento del principio di sovrapposizione dei piccoli effetti, dedotto direttamente dall'ipotesi delle azioni molecolari funzioni lineari della variazione della distanza e non dalla linearità di formule ancora da trovare.

L'ideale volume II del *Cours*, quello della meccanica delle strutture, ha come

oggetto la trave elastica. In questo ambito sono trattati i seguenti temi:
equazioni di legame elastico lineare isotropo per la trave. Individuati i parametri che caratterizzano la deformazione della trave, cioè la dilatazione δ_c della linea d'asse e il suo scorrimento g_c rispetto alla sezione e, per la generica fibra longitudinale distante *v* dall'asse neutro baricentrico e *r* dal baricentro *C*, la dilatazione δ_v e il suo scorrimento g_r dovuto ad una rotazione relativa delle sezioni intorno all'asse, Saint-Venant definisce le tensioni interne sull'areola $d\omega$ (rispettivamente $Ed\omega\delta_c$, $Gd\omega g_c$, $Ed\omega\delta_v$, $Gd\omega g_r$ in caso di isotropia) e le loro risultanti in termini di forza, normale $E\omega\delta_c$ e di taglio $G\omega g_c$, e di momento, flettente $E\mu_t\delta_v/v$ e torcente $E\mu_l g_r/r$, dove μ_t e μ_l sono i momenti d'inerzia trasversale e polare. In questo primo stadio, il momento flettente non è scomposto secondo gli assi principali, ciò che non permette di trattare correttamente la flessione deviata; inoltre, nel taglio (anch'esso non scomposto lungo gli assi principali) lo scorrimento è preso costante lungo l'altezza della sezione, ciò che non è mai vero, e nel momento torcente è assunto lineare con la distanza dal baricentro, ciò che vale solo se la sezione rimane piana;
verifica di resistenza col criterio della dilatazione massima. Convinto che tale criterio sia più conservativo di quello della tensione massima, Saint-Venant ne dà per la prima volta deduzione generale considerando l'influenza degli scorrimenti e ne fornisce le formule per vari casi di sollecitazione;
calcolo degli spostamenti elastici della linea d'asse. Saint-Venant è conscio che, a rigori, il calcolo degli spostamenti elastici dovuti ai quattro tipi di sollecitazione su definiti richiede, da un lato, di tener conto che la deformazione influenza le modalità con cui operavano le azioni esterne prima del suo realizzarsi modificandone le componenti in termini di forze e momenti, così che tali componenti sono funzioni degli spostamenti totali delle quattro specie suddette; dall'altro che, per tale ragione, le equazioni differenziali che esprimono tali spostamenti andrebbero integrate simultaneamente, ciò per cui fornisce delle indicazioni operative. In prima approssimazione, tuttavia, egli considera che, se non è sempre lecito trascurare l'effetto della deformazione sui valori delle azioni operanti su una sezione della trave, è ammissibile trattarne separatamente gli effetti nello spirito del principio di sovrapposizione, e in tale logica fornisce le equazioni differenziali degli spostamenti dovuti alla sola dilatazione, al solo scorrimento, alla sola flessione e alla sola torsione. Infine, ammettendo che la deformazione sia tale da poter confondere la configurazione finale con quella iniziale, ottiene delle equazioni per gli spostamenti che si integrano facilmente in quanto si riducono alle quadrature;
metodo generale per la risoluzione di travature staticamente indeterminate. Per la prima volta Saint-Venant delinea lucidamente una versione *ante litteram* del metodo delle forze, anche se non dedotto attraverso il principio dei lavori

virtuali, nel senso che fornisce il modo di imporre le equazioni di congruenza esterna ed interna tenendo potenzialmente conto di tutti gli effetti deformativi. Varie applicazioni sono svolte per travi su più appoggi, anelli chiusi, archi incernierati tenendo conto di flessione e compressione, sistemi piani formati da tre o più aste concorrenti in un unico punto caricato;
problema del carico critico. Questo punto non aggiunge niente di sostanzialmente nuovo rispetto alle trattazioni precedenti sul tema e non sarà qui considerato.

Il manifesto programmatico del 30 Ottobre 1843

I temi prima elencati sono ripresi e sviluppati a partire dalla memoria letta all'Académie des Sciences di Parigi il 30 Ottobre 1843 (1843[1]), a manifesto di un formidabile programma di ricerca concepito nei circa sei anni di silenzio successivi al *Cours* ed esposto a varie tappe nell'arco di quasi un decennio.

Per la storia della resistenza dei materiali si tratta di una fase di eccezionale progresso sulla quale manca ancora una disamina critica approfondita, anche per la difficoltà di estrapolare, dai sintetici estratti pubblicati, il completo processo deduttivo dei risultati.

Di tale progresso Saint-Venant è ben consapevole, come emerge dalla denuncia dei limiti della teoria della trave allora vigente, e cioè: messa in conto di due sole equazioni di equilibrio interno, contro le sei necessarie nello spazio; mancata introduzione degli scorrimenti angolari; accettazione dell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane e conseguente erronea ammissione che le fibre longitudinali si comportano come se fossero indipendenti l'una dall'altra; insufficienza del metodo risolutivo per le travature staticamente indeterminate; inesistente trattazione del caso composto di torsione e flessione; studio incompleto delle travi a doppia curvatura.

Di fronte a questo quadro poco soddisfacente, ecco i punti del programma di Saint-Venant: nell'analisi della deformazione della trave "je fais entrer dans le calcul les effets de glissement latéral dus à ces composantes transversales dont l'omission a été l'objet principal d'une sorte d'accusation portée par M.Vicat contre toute la théorie de la résistance des solides"; per il caso generale di flessione deviata "je montre comment, à l'aide d'une seconde équation de moments transversaux, on résout très-simplement ce cas général signalé par M. Persy, où l'équilibre posé comme à l'ordinaire ne saurait exister, et où la flexion de la pièce se fait nécessairement dans une autre direction que celle où est sollicitée à flechir"; quando si presentano sollecitazioni composte "j'étends les calculs de résistance aux cas de flexion et torsion simultanées qui doivent s'offrir souvent si l'on considère qu'une pièce tordue ne l'est presque jamais par ce qu'on appelle un couple"; con riferimento ai limiti di validità dell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane "je tiens compte de ce que les sections planes deviennent gauches, de ce qu'elles s'inclinent un peu sur la fibre

centrale, et de ce que les fibres exercent les unes sur les autres une action qui n'est pas tout à fait à négliger"; in merito al calcolo degli spostamenti elastici "je donne des équations différentielles nouvelles pour les petits déplacements des points des pièces courbes à double courbure, et les intégrales, d'une forme très-simple, que j'ai tirées de ces trois équations simultanées du troisième ordre à coefficients non constantes"; per lo studio di travature staticamente indeterminate "je donne … enfin une méthode générale de détermination des réactions et actions mutuelles qui ne peuvent être déduites des forces données par les équations ordinaires de la statique" (1843 [1], pp. 943-944).

Vediamo dunque in breve le tappe di questo percorso, procedendo per temi:

(*Equazioni di legame elastico*): anzitutto, in 1843[1] la descrizione delle caratteristiche di deformazione e sollecitazione è finalmente fatta rispetto ai due assi principali d'inerzia *u* e *v* delle sezioni, oltre che all'asse della trave stessa, ciò che porta alle sei equazioni di legame elastico lineare isotropo,

$$P_l = E\omega\partial'_0 \quad P_u = G\omega g'_0 \quad P_v = G\omega g''_0$$
$$M_u = E\mu b' \quad M_v = E\mu' a' \quad M_l = G\frac{2\mu 2\mu'}{\mu+\mu'}\theta$$

Qui le forze di taglio P_u e P_v sono ancora proporzionali agli scorrimenti g'_0 e g''_0 delle fibra media nel senso degli assi, ciò che verrà definitivamente corretto nell'estratto 1854 [1] delle due memorie estese 1856 [1,2]. Inoltre, per il momento torcente M_l è accolta la formula data nel 1829 da Cauchy[5] per sezione rettangolare, "en attendant une solution générale tout à fait exempte d'hypothèses" (1843 [3], p. 1181). In effetti, Saint-Venant nota che la l'analisi di Cauchy si basa sull'ipotesi gratuita che le tensioni siano esprimibili in serie convergenti delle potenze intere delle coordinate trasversali e sulla soppressione, ingiustificata, di termini dei quali non si sa il rapporto con quelli conservati. In 1843 [3] egli estende la formula di Cauchy alla sezione losanga suggerendo di adottarla "pour presque toutes les sections" e di prendere per valida la formula $\xi = \gamma yz$ per lo spostamento longitudinale funzione dell'ingobbimento (*gauchissement*) γ della sezione, fenomeno non riconosciuto prima di Cauchy. In 1847 [1,2] egli ravvisa un altro "élément nouveau" da introdurre nello studio della torsione, notando che, "en tenant compte de quelques termes de plus des séries données par M. Cauchy", si spiega che le sezioni a spigoli vivi come il rettangolo devono piegarsi, nel senso della torsione, verso i quattro angoli in modo da rimanere esattamente perpendicolari agli spigoli del prisma divenuti elicoidali. La trattazione finale della torsione sarà però data col metodo misto solo nell'estratto 1853 [1] della memoria 1856 [1], con l'altro risultato "tout nouveau" che i punti più sollecitati di un prisma soggetto a torsione sono quelli del contorno più vicini all'asse e non quelli più lontani come riteneva la vecchia teoria e anche quella dello stesso Cauchy il quale, nel 1854, si dichiarerà a favore della soluzione di Saint-Venant.

(*Verifica di resistenza*): in base alle equazioni di legame, in 1843 [1] è data

nuova forma al criterio della massima dilatazione e sono svolte applicazioni comparate con "l'ancienne théorie" per travi rettilinee inflesse, per alberi di trasmissione soggetti a flessione e torsione, per molle elicoidali tese o compresse;

(*Calcolo degli spostamenti*): in 1843 [1] è data una nuova e più generale espressione delle equazioni differenziali per il calcolo degli spostamenti di travi a semplice e doppia curvatura. Questo tema, fra i più sviluppati rispetto al *Cours*, è legato ai paralleli studi di geometria differenziale svolti in 1844 [12] e 1845 [1] sulle linee curve non piane, dove Saint-Venant fa anche chiarezza concettuale e terminologica sulla definizione di prima curvatura $1/\rho$, spesso impropriamente detta flessione, e di seconda curvatura $1/\tau$, talora chiamata torsione, e per la quale suggerisce il termine *cambrure* da affiancare a quello di *courbure* ormai in uso per la prima curvatura. Tali precisazioni, volte a distinguere i concetti della meccanica da quelli della geometria, si legano allo studio delle travi a doppia curvatura, col quale Saint-Venant compie un importante passo avanti rispetto a quanto dato da Lagrange e Poisson. Lagrange[6] aveva ottenuto delle formule incomplete supponendo implicitamente che le forze si esercitino solo nei piani oscuratori alla fibra media della trave inflessa, cioè che esse abbiano momenti solo intorno alle normali a tali piani. Nel 1814 Binet[7] aveva notato l'omissione del momento attorno alla tangente all'asse della trave, cioè del momento torcente; nel 1816 Poisson[8] aveva considerato tale momento torcente inserendolo, moltiplicato per il coseno di un angolo che la tangente all'asse fa con le tre coordinate, in ciascuna delle tre equazioni di Lagrange. Benché date come generali, le formule di Poisson sono in realtà corrette solo se la trave inflessa era inizialmente rettilinea e se la sua sezione ha ugual momento d'inerzia rispetto ad ogni asse baricentrico, poiché altrimenti, a deformazione avvenuta, le forze hanno necessariamente un terzo momento che si esercita intorno alla retta perpendicolare sia alla tangente all'asse, sia alla normale al suo piano oscuratore, cioè intorno al raggio di curvatura dell'asse della trave inflessa e torta. Poisson omette la considerazione di questo terzo momento e, di conseguenza, arriva al teorema che il momento torcente è costante lungo tutta la trave, ciò che è vero solo per trave inizialmente rettilinea e con sezione isotropa, mentre nel caso generale si dimostra che la derivata del momento torcente è uguale al rapporto fra il suddetto terzo momento e il raggio di curvatura, teorema riconosciuto da Wantzel leggendo la nota 1844 [10] e che deve sostituire quello di Poisson. Questo terzo momento va considerato quando si stabiliscono le equazioni di equilibrio alla rotazione per travi elastiche inizialmente a doppia curvatura o che lo diventano sotto le forze esterne quando gli spostamenti non sono piccolissimi (1844 [9]): se infatti l'equilibrio dei momenti è preso intorno alla tangente alla linea d'asse in un suo punto e intorno ai due assi principali della sezione nello stesso

punto, si capisce che, formando i raggi di curvatura degli angoli con gli assi principali che sono diversi prima e dopo la deformazione, questi stessi raggi devono aver avuto uno spostamento angolare sul piano delle sezioni. Questo spostamento angolare ha influenza sulla flessione della trave quanto ne ha il cambiamento della prima curvatura, il solo considerato da Lagrange, e sulla torsione quanto ne ha il cambiamento della seconda curvatura, introdotto da Binet. Ne risulta che una trave curva può avere una flessione o una torsione senza che cambi la forma del suo asse, poiché è sufficiente che le sue sezioni ruotino rispetto ai piani oscuratori ovvero che i raggi di curvatura non passino più per gli stessi punti delle sezioni prima e dopo la deformazione. Non si può evitare la considerazione di questo spostamento angolare per determinare la forma finale della fibra media se non quando è possibile evitare la considerazione delle curvature: è ciò che, fortunatamente, vale nel caso più usuale di spostamenti piccolissimi, in cui lo stato finale differisce poco da quello iniziale, sempre che questi spostamenti non abbiano influenza sensibile sulla grandezza dei bracci di leva delle forze agenti. Sotto tale ipotesi, Saint-Venant ottiene tre formule semplici che forniscono, per quadrature, i piccoli spostamenti della fibra media di forma qualunque (1843[1,2], 1844[6, 9,10]). Varie applicazioni di tali formule sono date in 1843[2] e 1844[10] per travi piane rettilinee, curvilinee e per l'anello circolare, sotto l'azione di forze nel loro piano e fuori dal piano, e per molle elicoidali sollecitate nel senso della lunghezza. Da esse Saint-Venant trova, fra l'altro, quando si ha flessione deviata, mai ravvisata nella "ancienne théorie".

(*Metodo generale per la solutione di sistemi staticamente indeterminati*): alcune applicazioni in 1843 [2] sul calcolo degli spostamenti riguardano sistemi internamente iperstatici come l'anello chiuso, e richiedono il preventivo calcolo delle reazioni (interne) incognite che Saint-Venant determina imponendo opportune condizione di congruenza in accordo al suo metodo. In 1843 [4] si legge che il metodo è stato applicato anche al calcolo della ripartizione del carico sui contraffissi di un ponte *en charpente*.

Elenco delle pubblicazioni (1837-1856)

Per i lavori letti in sedute pubbliche sono indicati giorno e mese di lettura. Le sigle stanno per: CR-Comptes rendus; SP-Société Philomatique; JMpa-Journal de Mathématiques pures et appliquées; JEP-Journal de l'Ecole Polytechnique;

1837

Leçons de mécanique appliquée faites par intérim par M. de Saint-Venant, Ingénieur des ponts et chaussées, 1837 à 1838.

1843

[1] (30 Ottobre) *Sur le calcul de la résistance et de la flexion des pièces solides à simple ou à double courbure, en prenant simultanément en considération les divers efforts auxquels elles peuvent être soumises dans tous les*

sens, "CR", T. 17, 1843, pp. 942-954.

[2] (6 Novembre) *Suite au Mémoire lu le 30 octobre 1843*, "CR", T. 17, 1843, pp. 1020-1031

[3] (20 Novembre) *Mémoire sur la torsion des prismes à base rectangle et à base losange et sur une petite correction numérique à faire subir, en général, aux moments de torsion*, "CR", T. 17, 1843, pp. 1180-1190.

[4] (4 Dicembre) *Mémoire sur le calcul de la résistance d'un pont en charpente, e sur la détermination, ou moyen de l'analyse des efforts supportés dans les constructions existantes, des grandeurs des nombres constants qui entrent dans les formules de résistance des matériaux* (con P.Michelot), "CR", T.17, 1843,pp.1275-77.

[5] (30 Dicembre) *Sur la définition de la pression dans les corps fluides ou solides en repos ou en mouvement*, "SP", pp. 1843, 134-138.

1844

[1] (2 Gennaio) *Mémoire sur la question de savoir s'il existe des masses continues, et sur la nature probable des dernières particules des corps*, Paris, Carilian-Gœury et Dalmont, 1844.

[2] (10 Gennaio) *Sur la définition de la pression dans les corps fluides ou solides en repos ou en mouvement*, "L'Institut", n.524, 1844, pp. 12-13.

[3] (26 Marzo) *Mémoire sur l'équilibre des corps solides, dans les limites de leur élasticité, et sur les conditions de leur résistance quand les déplacements éprouvés par leur points ne sont pas très-petits*, "SP", 26 Mars 1844.

[4] (10 Aprile) *Mémoire sur les pressions qui se développent à l'intérieur des corps solides lorsque les déplacements de leur points, sans altérer l'élasticité, ne peuvent cependant pas être considérés comme très-petits*, "L'Institut", n. 537, 1844, pp. 26-28.

[5] *Intégration d'une équation différentielle qui se présente dans la théorie de la flexion des verges élastiques*,"JMpa", T.9, 1844, pp.191-192.

[6] *Note sur les flexions considérables des verges élastiques*,"JMpa", T.9, 1844, pp.275-284.

[7] *Note sur les relations entre le neuf cosinus des angles de deux systèmes de trois droites rectangulaires*, "JMpa", T. 9, 1844, pp. 270-274.

[8] *Addition à la note sur les relations entre les neuf cosinus des angles de deux systèmes de trois droits rectangulaires. Démonstration géométrique et directe des relations binômes*, "JMpa", T. 9, 1844, pp. 310-312.

[9] (1 Luglio) *Note sur l'état d'équilibre d'une verge élastique à double courbure, lorsque les déplacements éprouvés par ses points, par suite de l'action des forces qui la sollicitent, ne sont pas très-petits*, "CR", T. 19, 1844, pp. 36-44.

[10] (15 luglio) *Deuxième Note sur l'état d'équilibre d'une verge élastique à double courbure, lorsque les déplacements éprouvés par ses points ne sont pas très-petits*, "CR", T. 19, 1844, pp.181-187.

[11] *Mémoires sur la résistance des solides, suivis d'une note sur la flexion des pièces à double courbure*, Bachelier,

Carilian-Goeury et Dalmont, Paris 1844.

[12](16 Settembre) *Mémoire sur les lignes courbes non planes*, "CR", T.19, 1844, pp. 547-555.

1845

[1] *Mémoire sur les lignes courbes non planes*, "JEP", 30° cahier, T. 18, 1845, pp. 1-76.

[2] (7 Luglio) *Note sur la pression dans l'intérieur des corps ou à leurs surfaces de séparation*, "CR", T. 21, 1845, pp. 24-26.

1847

[1] (22 Febbraio) *Mémoire sur l'équilibre des corps solides, dans les limites de leur élasticité, et sur les conditions de leur résistance quand les déplacements éprouvés par leur points ne sont pas très-petits*, "CR", T. 24, 1847, pp. 260-263.

[2] (22 Marzo). *Mémoires sur la torsion des prismes et sur la forme affectée par leurs sections transversales primitivement planes*, "CR", T. 24, 1847, pp. 485-488.

[3] (10 Maggio) *Suite au Mémoire sur la torsion des prismes*, "CR", T. 24, 1847, pp. 847-849.

1848

[1] *Diverses considérations sur l'élasticité des corps*, "SP", T. 22, 1848, pp. 440-442, 1848.

1849

[1] (15 Gennaio) *Mémoire sur les vibrations tournantes des verges élastiques*, "CR", T. 28, 1849, pp. 69-72.

1853

[1] (13 Giugno) *Nouveau mémoire sur la torsion des prismes*, "CR", T. 36, 1853, pp. 1028-1031.

1854

[1] (20 Novembre) *Mémoire sur la flexion des prismes élastiques, sur les glissements qui l'accompagnent lorsqu'elle ne s'opère pas uniformément ou en arc de cercle, et sur la forme courbe affectée alors par leurs sections transversales primitivement planes*, "CR", T. 39, 1854, pp. 1027-1031.

[2] *Communication à la Société Philomatique, (Mémoire sur la Flexion des Prismes)*, "SP", T. 22, 1854, pp. 220-221.

1855

[1] *Divers résultats sur la torsion*, "SP", T. 23, 1855, pp. 248-250.

[2] (30 Luglio) *Mémoire sur la flexion des prismes élastiques, sur les glissements transversaux et longitudinaux qui l'accompagnent lorsqu'elle ne s'opère pas uniformément ou en arc de cercle, et sur la forme courbe affectée alors par leurs sections transversales primitivement planes*, "CR", T. 41, 1855, pp. 143-145.

[3] (20 Ottobre) *Diverses considérations sur l'élasticité des corps, sur les actions entre leurs molécules, sur leurs mouvements vibratoires atomiques et sur leur dilatation par la chaleur*, "L'Institut", T. 23, pp. 440-442.

1856

[1] *Mémoire sur la Torsion des Prismes, avec des considérations sur leur flexion, ainsi que sur l'équilibre intérieur des solides élastiques en général, et des formules pratiques pour le calcul de leur résistance à divers efforts s'exerçant simultanément*, "Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences de l'Institut Im-

périal de France", T. 14, 1856, pp. 233-560.

[2] *Mémoire sur la flexion des prismes, sur les glissements transversaux et longitudinaux qui l'accompagnent lorsqu'elle ne s'opère pas uniformément ou en arc de cercle, et sur la forme courbe affectée alors par leurs sections transversales primitivement planes*, "JMpa",T.1, 1856, pp. 89-189.

[3] *Sur la résistance des solides*, "SP", T. 24, 1856, pp. 457-459.

[1] Fra questi studi ricordiamo in ordine cronologico quelli promossi da Edoardo Benvenuto ed allievi della Facoltà di Architettura di Genova: A.Becchi, E. Benvenuto, *Sui principi di filosofia naturale che orientarono la ricerca di Saint-Venant*, in *Omaggio a Giulio Ceradini*, Dip. di Ingegneria Strutturale, Università "La Sapienza" di Roma, Roma 1988, pp. 125-138; F.Foce, *La teoria molecolare dell'elasticità dalla fondazione ottocentesca ai nuovi sviluppi del XX secolo*, Tesi di dottorato, Firenze 1993; A. Becchi, *I criteri di plasticità: cento anni di dibattito (1864-1964)*, Tesi di dottorato, Firenze 1994; C. Melucci, *Scienza, spiritualità, visione politica in A.-J.-C. Barré de Saint-Venant. Contributi teorici e applicativi nella dinamica dei fluidi e nella scienza del miglioramento del territorio*, Tesi di laurea, Genova 1996; E.Benvenuto, *Natural philosophy, rational mechanics and practical engineering in the work and life of Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant*, "European Journal of Mechanics", A/Solids, vol. 16, Special issue, 1997, pp. 45-63; E. Benvenuto, *Adhémar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant: the Man, the Scientist, the Engineer*, Atti dei convegni lincei, 140. Giornata lincea *Il problema di de Saint-Venant: aspetti teorici e applicativi* (Roma, 6 marzo 1997), Acc. Naz. dei Lincei, Roma, 1998, pp. 7-34. Si segnalano inoltre i seguenti più recenti lavori: J. Casey, A. Kaplan, *Adhemar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant: 23 August 1797-6 January 1886*, "Mathematics and Mechanics of Solids", 1997, 2, pp. 371-378; O. Darrigol, *God, waterwheels, and molecules: Saint-Venant's anticipation of energy conservation*, "Historical Studies in the Physical and Biological Sciences", Vol. 31, 2, 2001, pp. 285-353; O. Darrigol, *Between hydrodynamics and elasticity theory: The first five births of the Navier-Stokes equation*, "Archive for history of exact sciences", vol. 56, 2002, pp. 95-150; K. Chatzis, *Les conceptions de Saint-Venant en matière de théorie de la connaissance*, "Bulletin de la Société archéologique, scientifique et littéraire du Vendômois", 2004, pp. 70-78. Anche in *L'art de l'ingénieur. De Perronet à Caquot*, n° hors série des "Annales des Ponts et Chaussées", Presses de l'École des Ponts et Chaussées, Paris 2004, pp. 93-115.

[2] A. Clebsch, *Theorie der Elasticität fester Körper*, Leipzig, Teubner, 1862, p.74.

[3] Saint-Venant stesso sentì il bisogno di raccogliere alcuni di questi lavori in una pubblicazione unica (1844[11]). Oggi parte di essi è scaricabile dal portale Internet *Bibliotheca Mechanico-Architectonica* (www.bma.arch.unige.it) curato da A.Becchi, F.Foce e S. Huerta.

[4] Il *Cours* non fu mai stampato, ebbe ristretta circolazione ed i suoi contenuti vennero in parte rivisti e ampliati dallo stesso Saint-Venant nei successivi lavori pubblicati. Di certo Karl Pearson ne visionò una copia inviatagli da Saint-Venant durante il completamento della *History* ed una sua disamina si trova in I. Todhunter, K. Pearson, *A History of the Theory of Elasticity and of the Strength of Materials*, Cambridge 1886, pp. 833-841. Spesso citato attraverso questa fonte indiretta, il *Cours* è stato oggetto di un recente studio diretto a cura di D. Aita, F. Foce, *Saint-Venant e l'*Art de l'ingénieur. *Un primo studio critico delle* Leçons de mécanique appliquée *(1837-1838)*, in Buccaro et al. (a cura di), *Atti del I Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria* (Napoli, 8-9 marzo 2006), Napoli 2006, vol. 1, pp. 291-302. Su di esso è in completamento un saggio critico, con ristampa anastatica, a cura dello scrivente.

[5] A.-L- CAUCHY, *Sur la torsion et les vibrations tournantes des verges rectangulaires*, "Exercices de Mathématiques", vol.4, 1829, pp. 47-64.

[6] L. LAGRANGE, *Méchanique analytique*, Paris, Desaint, 1788, section V, § III, n. 48 e 50.

[7] J. BINET, *Sur l'expression analytique de l'élasticité et de la roideur des courbes à double courbure*, "Journal de l'Ecole Polytechnique", t. X, 19° Cahier, 1815, p.418.

[8] S.-D. POISSON, *Sur les lignes élastiques à double courbure*, "Correspondance de l'Ecole Polytechnique", t.III, n° III, 1816, pp. 355-360.

Claudia Aveta

Materiali costruttivi nell'architettura napoletana di fine Ottocento tra tradizione e nuove conoscenze tecniche

Nel XIX secolo fondamentale per lo sviluppo architettonico e urbanistico di Napoli sono state l'istituzione -su iniziativa di Murat, nel 1808- del Corpo degli ingegneri di ponti e strade e, nel 1811, la fondazione della Scuola di applicazione di ponti e strade. Dopo l'Unità, il Corpo suddetto e quelli esistenti nel resto d'Italia furono riorganizzati sul modello istituzionale sabaudo, fino a confluire nell'unico Corpo reale del Genio civile, con sedi provinciali e distrettuali[1]. In tale periodo storico si verificò una inevitabile crisi per una città in fase di transizione ed alla ricerca di un adeguato dimensionamento delle proprie funzioni nel più ampio contesto della politica nazionale; tuttavia, nonostante i duri contraccolpi subiti per la perdita del ruolo di capitale e l'avvio di un inarrestabile processo di decadenza, durerà ancora a lungo l'incidenza della città nel quadro politico e culturale italiano. Gli anni intorno alla metà del secolo furono contrassegnati da una continuità d'intenti nei piani di sviluppo urbano, riscontrabile tanto nelle proposte e nelle realizzazioni effettuate sotto il regno di Ferdinando II, quanto nei decreti sull'edilizia emanati da Francesco II e da Garibaldi, rispettivamente il 25 febbraio ed il 18 ottobre 1860. Inoltre, la struttura amministrativa e burocratica rimase immutata anche dopo l'Unità: infatti, il Consiglio Edilizio[2], istituito con decreto del 1839 da Ferdinando II, quale organo specificamente preposto alla direzione ed al controllo dell'attività architettonica ed urbanistica, sarà trasformato, a partire dal 1861, in Consiglio comunale, e specialmente per il settore urbanistico, ne faranno parte i più noti professionisti dell'epoca. Il suo operato non fu, tuttavia, privo di difficoltà, che ne limitarono sensibilmente le iniziative, tanto che un diffuso disordine ed una carente condizione igienica rimarranno elementi costanti del contesto napoletano.

Negli anni tra l'Unità d'Italia ed il 1900 saranno riproposti temi d'interesse generale per la trasformazione della struttura urbana: la creazione di un quartiere operaio ad oriente, in funzione dell'ampliamento del porto e degli insediamenti industriali; la costruzione di quartieri residenziali ad occidente e lungo le colline di Posillipo e del Vomero; il rapido collegamento tra il centro antico e le nuove aree di espansione mediante gallerie scavate nelle colline e funicolari[3]; più comunicazioni agevoli tra le zone occidentali ed orientali da ottenere con la sistemazione del lungomare[4]; radicali interventi[5] nel centro antico mediante massicci sventramenti e creazione di assi viari che avrebbero distrutto ogni preesistenza storico-ambientale. Altri temi ricorrenti erano l'assetto dell'area anti-

stante il Museo nazionale, l'apertura di via Duomo e di una nuova strada tra la stazione centrale ed il centro cittadino, la bonifica dei fondaci, la sistemazione di piazza Municipio ed, infine, tutta una serie di infrastrutture adeguate per una grande città[6]. A tale fermento di proposte e iniziative corrispondeva l'attività dei tecnici impegnati sia nella progettazione di nuove opere pubbliche, sia negli interventi sull'edilizia esistente[7].

La gravissima epidemia di colera del 1884 diede l'opportunità al settore edilizio di rafforzarsi nel ruolo preponderante che aveva assunto nell'economia cittadina; il piano comunale, redatto dall'ingegnere Giambarba, fu rivolto alla bonifica edilizia, alla realizzazione di servizi collettivi e al riordinamento della rete stradale. L'intervento, iniziato solo nel 1889 e durato fin oltre la prima guerra mondiale, venne attuato con l'apertura del corso Umberto I fra la stazione centrale ed il centro e, quindi, con i nuovi quartieri occidentali; tra le architetture degne di rilievo si segnala il palazzo della Borsa progettato dagli ingegneri Guerra e Ferrara e completato nel 1895, "*ispirato a quell'eclettismo che informa molti edifici parigini e viennesi del tempo*"[8]. Tra piazza Municipio e il teatro San Carlo venne bonificata un'area molto popolare gravitante intorno alla chiesa di Santa Brigida con la creazione della Galleria Umberto I progettata dall'ing. Paolo Boubée, tra le principali costruzioni del secondo Ottocento, anche come esempio di moderna architettura del ferro. Furono costruiti con strutture metalliche su schemi strutturali in muratura rilevanti edifici pubblici nei quali prevalgono comunque connotazioni eclettiche e neobarocche come la galleria Principe di Napoli (1883), la galleria Umberto I (1892), nonché ambienti particolari come il salone della Borsa (1895).



Fig. 1 – Progetto per la galleria Umberto I, da G. Alisio, Lamont Young…, cit.

Con i materiali risultanti dalle demolizioni delle aree urbane "bonificate" vennero effettuate le colmate[9] a mare che diedero l'avvio a ulteriori speculazioni e costruzioni. I palazzi realizzati in forme eclettiche lungo le nuove strade furono destinati a uffici e ad abitazioni borghesi. Si cercò di promuovere l'industrializzazione della città con importanti insediamenti produttivi a oriente e a occidente, in zone periferiche che ne rimasero segnate per tutto il Novecento, fino alle dismissioni nei decenni trascorsi: nel 1907-08 fu insediato a Bagnoli l'impianto siderurgico Ilva, mentre altre rilevanti impianti furono insediati nella zona orientale; al suddetto stabilimento nel 1911 fu annesso la "Società delle Ferriere italiane" primo impianto siderurgico della Campania, sorto a Torre Annun-

ziata nel 1887 e denominato "Ferriera del Vesuvio". Il periodo in questione è stato indagato approfonditamente da illustri storici e restauratori tra i quali G. Alisio, A. Buccaro, A. Venditti, R. De Fusco, R. Di Stefano ed altri ai cui saggi si rinvia per ogni approfondimento.

In tale contesto urbano in trasformazione, si sviluppa l'attività dei tecnici e delle imprese edilizie. Non meraviglia, in tal senso, che particolarmente ricco e significativo risulti il repertorio dei manuali editi in ambito napoletano a cavallo dell'Unità che trae, dalla tradizione costruttiva locale e dal gamma delle risorse materiali disponibili sul territorio, i contenuti di base per i testi messi a disposizione di discenti e professionisti. Infatti, la temperie culturale illuminista, diffusasi a Napoli durante l'occupazione francese, aveva reso maturi i tempi affinché le opere dei trattatisti non si limitassero soltanto a reiterare i canoni dell'architettura classica, ma indagassero sulle proprietà chimiche e fisiche dei materiali, sulle conoscenze empiriche impresse nelle tecniche tradizionali, sugli esiti delle diverse lavorazioni. Tra il XVIII ed il XIX secolo, nelle tipografie partenopee vengono stampate le opere del La Pazzaja, del Gioffredo, del Carletti, del Rosati, del De Cesare, del Ragucci e di altri ancora che si impegnarono a codificare e a trasmettere i principi dell'edificazione secondo la regola d'arte, elaborati alla luce della lunga tradizione costruttiva napoletana. E ciò ovviamente per chiare motivazioni divulgative della classe professionale tecnica. Tali testi registrano le evoluzioni alla luce delle acquisizioni scientifiche nel campo della caratterizzazione fisico-chimica dei materiali e delle teorie sperimentali della scienza delle costruzioni che in quegli anni cominciavano a diffondersi. I volumi in questione testimoniano l'importanza dell'esperienza acquisita osservando ciò che accade quotidianamente nella costruzione di un edificio e rivelano una conoscenza approfondita dei nuovi studi sperimentali condotti anche all'estero, attingendo ai risultati delle "prove di carico" e delle prime "analisi chimiche" sui materiali. È chiaro che si tratta di tutti quei materiali che la tradizione costruttiva aveva sperimentato empiricamente nell'edilizia, e, cioè, prevalentemente materiali locali.

Va ancora aggiunto che, nella prima metà del XIX secolo, in ambito napoletano erano stati pubblicati molteplici studi e saggi sugli aspetti statici dell'architettura: si citano, tra questi, quelli di G.A. De Fazio, N. D'Apuzzo, F.P. Tucci. Si legano in qualche modo a tali studi quelli che proseguono nella seconda metà del XIX secolo, come i contributi di E. Folinea che insegnava alla Reale Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Napoli. All'interpretazione dei quadri lesionativi negli antichi fabbricati e, quindi, alle cause dei 'disturbi statici' è dedicato il suo saggio, nel quale si descrivono anche gli interventi di restauro più diffusamente adottati[10]. Lo stesso Folinea è autore di un saggio inerente il restauro della cupola della chiesa dello Spirito Santo a Napoli[11] : è interessante

notare che qui si ritrova applicata una precisa metodologia per la diagnosi di un dissesto manifestatosi nel 1881.

Ancora, nel 1855 viene pubblicato il trattato di F. De Cesare[12] nel quale si sviluppa in modo completo il quadro delle conoscenze sulla costruzione delle volte. Sempre il De Cesare, nel 1857, è autore di una memoria *Sulla origine delle lesioni della chiesa di S. Carlo Borromeo in Napoli e suo progetto di ricostruzione*: qui egli affronta il problema degli squilibri statici che, fin dall'inizio del secolo, si erano manifestati nel tempio, citando gli esperimenti di Rondelet, Gauthey, Boistard, ed esponendo la sua diagnosi del dissesto. Nel 1874, inoltre, F. Jaoul, napoletano, architetto municipale, pubblica un *Vocabolario* per fornire un indirizzo ai professionisti sul lessico tecnico in uso a Napoli associando ai vocaboli locali i corrispondenti nella lingua italiana. E ciò anche per le imprese ed i tecnici sia provenienti da altre regioni che da altr nazioni[13] . È utile anche ricordare che gli sviluppi applicativi, a livello locale e nazionale, sono compiuti per l'opera di divulgazione scientifica dell'architettura del ferro svolta dai manuali tra i quali quelli del Curioni (1865-84), del Crugnola (1877), del Boubée (1880), del Sacchi (1881)[14].

Orbene, tra la fine del XIX secolo e i primi anni del Novecento, è acclarato che l'impiego delle tecniche antiche nel campo edilizio tende gradualmente a scomparire, lasciando il posto a innovazioni nel campo della tecnica delle costruzioni caratterizzate dall'uso sempre più diffuso dell'acciaio e del cemento armato (usato sia in Europa che negli Stati Uniti). In Italia il processo Bessemer viene introdotto nel 1856; ma fino alla fine dell'Ottocento la siderurgia italiana restava condizionata dalle industrie straniere. La "Società italiana dei cementi e delle calci idrauliche", fondata nel 1864, ha dato inizio alla produzione del cemento Portland nel 1877. Soprattutto fattori di tipo economico spingono all'impiego dei nuovi materiali e all'adozione di nuovi schemi strutturali, ed, ancora, a industrializzare il processo edilizio. Ne consegue uno scadimento della qualità della manodopera artigianale sempre meno impegnata a cimentarsi con materiali e tecniche di tipo tradizionale[15] .

A questo punto, tenuto conto del quadro di riferimento suesposto, per meglio definire le trasformazioni del processo edilizio a Napoli, e, dunque, l'adeguamento o meno alle spinte innovative delineate risulta utile analizzare alcuni capitolati di appalto e tariffe prezzi che, utilizzati nella fase progettuale ed esecutiva, forniscono un quadro applicativo delle tecniche impiegate nella edilizia corrente.

Nel periodo in questione nelle altre nazioni europee e nel nord Italia si riverberano nel cantiere edilizio gli effetti dell'evoluzione dell'industria edilizia legata a nuovi brevetti che riguardano specificamente l'acciaio ed i cementi. La situazione a Napoli assume connotazioni diverse: sembra doversi rilevare un'acquisizione tardiva di tali tecnologie, così come emerge dall'analisi criti-

ca di documenti che costituiscono parte integrante dei contratti di appalto o tariffe dei prezzi unitari. Come è noto, nel secolo scorso, per evitare ogni contestazione, nel corso dei lavori edilizi programmati ed attuati in merito a quanto pattuito nel contratto di appalto, sia dal punto di vista tecnico che economico, è scaturita l'esigenza di disciplinare, in modo chiaro, sia i complessi rapporti tra committente, imprenditore, direttore dei lavori, progettista, sia le modalità di esecuzione delle singole categorie di lavori, le caratteristiche dei materiali da impiegare, la misurazione e la valutazione dei lavori, ecc.. Si tratta di due tipi di documenti: uno di carattere più ampio, detto "Capitolato generale", e l'altro più specificamente tecnico, ovvero il "Capitolato speciale". È da precisare che, a livello nazionale, il capitolato generale dell'amministrazione dei lavori pubblici fu approvato solo a fine secolo con d.m. del 28 maggio 1895 modificato con i decreti ministeriali 8 novembre 1900, 9 giugno 1916 e 4 maggio 1921 e rimasti in vigore fino al 1 settembre 1962.

Prima che fossero normati tali documenti, si ritrovano nella seconda metà del XIX secolo sia Capitolati di varie amministrazioni sia Tariffe prezzi, complete di precisazioni tecniche, dalla cui analisi è possibile desumere la sussistenza, in ambito napoletano, di un'antica tradizione edilizia ed anche l'evoluzione che questa presenta. Tradizione che oggi risulta di particolare significato in relazione alla evoluzione delle Teorie del restauro, con particolare riferimento alla Carta di Venezia (1964) ed alla Carta italiana del restauro (1972) fino alle definizioni più recenti del dibattito disciplinare.

Un punto di riferimento per tale tipo di analisi è un'interessante tariffa ritrovata nell'archivio storico del Comune e pubblicata alcuni decenni or sono da R. Di Stefano[16]: essa risale agli anni '50 del XIX secolo. Tra i "lavori da muratore" vengono distinti i costi del "muramento di pietra tufo rozzo" per le fondazioni ed altre opere entro terra, da quelli del "muramento di pietra tufo ad un fronte detto anche "ripa-calca", del "muramento laterizio", del "muramento con un corso, o strato di pietre, e 3 filari di mattoni" ovvero della muratura listata. Viene stimato pure il "muramento a getto con ferrugine e malta idraulica", laddove vengono utilizzati due prodotti di origine vulcanica provenienti dal Somma-Vesuvio, ovvero la ferrugine e la pozzolana di fuoco; ed ancora il "muramento per le fondazioni con pietrame del Vesuvio" o "scardoni". Analoga valutazione dei costi riguarda i cosiddetti "magisteri": si tratta di quelle operazioni nelle quali si richiedono una particolare capacità ed esperienza delle maestranze e, soprattutto, un tempo di esecuzione più lungo, in quanto si tratta di lavori da eseguirsi con gradualità e prudenza, quali quelli di: scucitura e cucitura dei muramenti in pietra; costruzione di archi e volte nelle murature sotterranee; incassatura a zeppa ed a vivo con assicelle e biette di legname; "morse" tagliate nella muratura di tufo e murate con la pietra stessa. Tra le altre opere necessarie per la costruzione di un edificio si se-

gnalano: le mura di tramezzo o intelaiate, di pianelle in costa ad un sol foglio colla tagliatura degli incastri; le volte eseguite con pianelle in costa a due fogli; gli arcotravi di legname castagno. Tra gli interventi accessori e di finitura si fa riferimento a: soglie di piperno o lava di Vesuvio, davanzali e gradini di piperno; intonaco corrente (ovvero lisciato) o fratazzato; intonachino; stucco liscio, con polvere di marmo e calce; intonaco di lapillo battuto con "mazza-ronga o mazzuola" e lisciato; terrazzini di lapillo battuto a cielo (lastrici a cielo); battuti intersuolo sopra volte.

Vengono citate anche opere di manutenzione quali: la rinzaffatura detta "arricciata" sulle vecchie murature per collegarle con le nuove; il risarcimento dei terrazzi con lapillo battuto e con incastri tagliati a coda di rondine; i rimarginamenti delle lesioni dei terrazzi con pece liquefatta su liste di tela. Per quanto riguarda i manti di copertura sono previsti: l'incalcinamento di osme e palombelle; il "nettamento" da erbe e calcinacci; il muramento dei comignoli. Per i pavimenti, poi, si segnalano il masso per il letto degli ammattonati, gli ammattonati di quadrelli di creta cotta detti riggiole. Particolare attenzione e dettagliate descrizioni vengono, poi, riferite ai lavori "da scalpellino", artigiano oggi del tutto scomparso in ambito napoletano, soprattutto in relazione alla lavorazione dei "basoli", ovvero la lava del Vesuvio, definita "pietrarsa", impiegata per pavimentazioni e cordonature, ed a quella di soglie e davanzali di piperno. Nella tariffa in esame e nelle allegate norme d'arte si rispecchia chiaramente il cantiere edilizio napoletano, nel quale si ritrovano diffusamente impiegati prodotti presenti nel sottosuolo della città, di eccellente qualità: dunque, materiali economici e di grande affidabilità. Tali risorse naturali condizioneranno, nel periodo in esame, l'edilizia napoletana, nel senso che diversamente dalle città del centro-nord, ove tali prodotti naturali non erano disponibili, Napoli registrerà ritardi e, in un certo senso, riluttanza ad abbandonare tecniche e materiali edilizi sperimentati fin dall'antichità, e cioè fin dall'epoca romana, per sostituirli prima con l'acciaio e, poi, con il cemento armato.

La terminologia tecnica adottata, espressione di una plurisecolare tradizione, trova un preciso e dettagliato riferimento nel volume "*Principi di architettura*" di L. Ragucci, pubblicato a Napoli nel 1843, di grande utilità perché tali lavorazioni e le relative modalità sono tutt'oggi di grande interesse per le applicazioni nel campo del restauro. A tale volume è allegato un dizionario dei vocaboli tecnici comunemente in uso presso le maestranze napoletane. È utile segnalare che la minuziosa illustrazione delle varie lavorazioni del cantiere tradizionale con impiego di materiali prevalentemente naturali costituisce una ricchezza di informazioni per il moderno cantiere di restauro: non certo per riproporne una acritica applicazione, ma per essere oggetto di valutazioni critiche coerenti con le più recenti acquisizioni della cultura del restauro. E ciò diversamente da quanto inducono a pen-

sare i molteplici manuali del restauro e del consolidamento pubblicati negli ultimi decenni.

Altri elementi di interesse per indagare sull'evoluzione delle tecniche edilizie a Napoli sono i Capitolati. A fronte dei vari elementi costruttivi delle fabbriche edilizie si prenderanno in esame le indicazioni che riguardano le principali strutture portanti e le più significative finiture. Analizzando, in particolare, il Capitolato per i lavori del Genio Militare nel territorio della direzione di Napoli (ivi, 1888) si ritrovano in relazione ai mattoni laterizi le ben note località di produzione, ovvero Formia, Ischia, S. Giovanni a Teduccio, Salerno; si indicano, oltre ai mattoni pieni, quelli forati a due, quattro, sei buchi. Per quanto riguarda la calce in pietra viene raccomandata quella proveniente a Napoli dalle fornaci di Castellammare, Vico Equense, Pozzuoli e se ne prescrive l'estinzione, ossia lo spegnimento, almeno per due mesi. Si fa ancora riferimento al cemento idraulico a rapida presa, ovvero al cemento Portland di Casale, fabbricato dalla società omonima di Casale Monferrato ed, ancora, ai cementi di Bergamo a lenta e rapida presa.

Quando, però, si tratta delle malte per la loro composizione vengono indicati materiali tradizionali, ovvero calce in pasta e "rena" a testimonianza di un uso ancora limitato del nuovo legante.

Gli altri materiali citati sono quelli ben noti nel cantiere napoletano, quali il pietrame detto "scardoni" proveniente dalla cave del Vesuvio, la polvere d'Ischia, la polvere di marmo, il lapillo bianco, la pozzolana bianca e la pozzolana di fuoco, la rena di origine vulcanica o proveniente da fiumi e torrenti ed ancora la polvere e le "schegge" dei tufi "taglima" da impiegarsi nella formazione di battuti; ed ancora la ferrugine e il lapillo nero. Il principale elemento costruttivo delle murature è rappresentato dai conci di tufo, di dimensione 0,20x0.20x0,35 e sono citati ancora gli "spaccatoni" lunghi da 0,60 a m. 1,20 impiegati, com'è noto, nella costruzione di cornicioni aggettanti. Per quanto concerne i solai il riferimento è ancora a travi lignee di fusti scortecciati o anche riquadrate con la sega e con l'ascia, su cui viene poggiata l'orditura secondaria di "panconcelli e chiancole". Circa i lastrici battuti, si ripropone la tradizionale messa in opera composta di due strati sovrapposti di malte di lapillo bianco e di lapillo nero, compressi contemporaneamente. Oltre a questa tecnica di tipo tradizionale, vengono introdotti i battuti di cemento a lenta presa di Bergamo definito "grosso" (5-6 cm) e "sottile" (3-4 cm) che prevedono in proporzione 1/3 di cemento e 2/3 di pozzolana nera. Per quanto riguarda i manti di copertura si evidenzia l'uso delle tegole piane embrici e curve o alla marsigliese con sigillatura delle congiunzioni o superfici di contatto, le cosiddette "osme" o "palombelle".

Anche per le opere di manutenzione si fa ancora riferimento a tecniche tradizionali, con prudenti innovazioni: ad esempio, in tema di risarcimento di lesioni, per i battuti si prescrive l'impiego di malta di lapillo (inferiore a 3cm) o con asfalto (naturale o artificiale maggiore

di 3cm); con pece e tela o con cemento (per lesioni larghe da 1 a 2 cm) con precise indicazioni sulle modalità esecutive, mescolando il cemento con pozzolana nera.

L'impiego del legno è presente anche per la realizzazione di palificate. I pali consigliati dovevano essere muniti di cuspide e puntazze di ferro e di ghiera metallica incassata nella testa (lunghezza: i corti dai 4 ai 6, i lunghi dai 6 agli 8 cm), piantati nel terreno con un battipalo di 300 Kg cadente da un'altezza di 3 m.

Va ancora segnalata una interessante tariffa dei prezzi curata dall'ing. L. Rendina nel 1890[17]. In questa vengono riproposte le analisi dei prezzi di tutte le lavorazioni di tipo tradizionale; manca qualunque riferimento all'impiego di cemento dimostrandosi, conseguentemente, un uso ancora contenuto e sperimentale. Per gli estradossi delle volte, ad esempio, viene indicato che essi debbano essere riempiti utilizzando le pietre pomici di pollina con malta di pozzolana e arena vulcanica o anche con "bombole". Anche per le finiture vengono illustrate esclusivamente le tradizionali modalità esecutive per intonaci, stucchi, tinteggiatura, soglie, lavori in marmo, lavori da falegname, ecc..

Un ulteriore documento del periodo storico in esame è il Capitolato Speciale per la costruzione di case civili applicato dalla Società pel Risanamento di Napoli approvato nel 1891: poiché tale Società ha avuto un ruolo di grande rilievo nello sviluppo urbano, è evidente l'importanza di simile riferimento. Lo schema strutturale delle case civili della Società è costituito dal piano scantinato coperto da volte in muratura, dal pianterreno, dall'ammezzato e da alcuni livelli superiori con solai di travi di ferro e voltine di tufo, nonché da copertura a tetto. Le strutture verticali e le fondazioni erano realizzate in muri continui.

Circa i materiali costruttivi, le pietre di tufo dovevano "essere in grana omogenea, facile ad essere lavorata col martello da muratore, e priva di pomici, lapilli ed altri corpi estranei": se ne prevedevano, altresì, alcune caratteristiche fisiche e meccaniche: peso secco non inferiore a 1300 kg/mc e resistenza a compressione non minore di 43 kg/cmq. Anche per i mattoni i c.d. "barbaglioni", da utilizzarsi in tutte le parti del fabbricato soggette a notevoli carichi (pilastri, archi di scarico, cordoli alla sommità dei muri di ciascun piano), era prescritta una resistenza pari almeno a 80 kg/cmq.

Analoghe indicazioni riguardavano l'uso degli altri materiali di finitura, quali le malte idrauliche (calce e pozzolana del Vesuvio), le malte comuni (calce, pozzolana di Napoli e sabbia o pozzolana del Vesuvio), gli intonaci (calce e sabbia), gli stucchi (calce e polvere di marmo).

Per quanto riguarda il cemento esso viene segnalato, ma il suo uso doveva essere approvato dalla Società. Si fa ancora riferimento alla ferrugine da impiegare con malta idraulica nella confezione di calcestruzzi. Le volte in muratura di tufo, dovevano avere uno spessore di 25 cm in corrispondenza degli scantinati e di 35 cm negli androni, con rinfianchi realizzati con impasto di calce e lapillo. Per tutti gli archi di luce su-

periore a m 1,90 erano previste catene passanti di mm 25 x 50 con relativi capichiave. Venivano anche prescritte le dimensioni dei muri perimetrali esterni, interni, nei cortili e partimentali, dal piano delle fondazioni al tetto, con le relative riseghe. Ancora, le scale dovevano essere costruite con volte in muratura o con voltine di mattoni vuoti a sei buchi e gesso rafforzate da armature in ferro, con gradini in marmo bianco di Carrara di cm 3: dunque, per le finiture risultava più economico ricorrere a simili marmi, abbandonandosi gradualmente il materiale locale lavorato dagli scalpellini per quello proveniente da lontano, ma prodotto industrialmente.

Per i solai viene vietato l'uso del legno, a favore delle travi di acciaio, normandosi le altezze in relazione alle luci nonché prevedendo catene di collegamento tra i solai ai vari piani: è la testimonianza di una modifica ormai acquisita, che sancisce l'abbandono delle più vulnerabili e più onerose travi lignee a favore di un materiale prodotto industrialmente; l'impiego di quest'ultimo è prescritto anche per gli sporti dei balconi. L'uso del legno è riservato alla costruzione dei tetti, per le incavallature in abete su cui poggiare i manti in tegole marsigliesi. Per la pavimentazione di androni e cortili l'utilizzo prescritto è la pietrarsa, lavorata a puntillo Prescrizioni pressoc-ché analoghe sono contenute nel successivo Capitolato della stessa Società approvato nel 1895[18].

Sembra confermarsi, in conclusione, che a Napoli, alla fine dell'Ottocento sussiste l'applicazione nel settore edilizio di materiali e tecniche di tipo tradizionale nonostante il diffondersi in Europa ed in vaste aree della nostra nazione di tecnologie innovative. L'impiego di queste avverrà gradualmente, prima in importanti opere pubbliche, poi via via nell'edilizia corrente. Tale lenta sostituzione trova testimonianza nel corso dei lavori di restauro, allorquando si ritrovano utilizzati insieme i nuovi materiali con quelli tradizionali. Tipico esempio è costituito da solai con orditura principale in acciaio e orditura secondaria in panconcelli o tavolati lignei.

Hanno certamente inciso in tale ritardo fattori economici e sociali; tra questi, oltre l'uso bimillenario di materiali presenti nel sottosuolo, molto affidabili, anche il tessuto strutturale delle imprese edilizie, frammentario e prevalentemente costituito da poche unità lavorative. Salvo i casi delle grandi operazioni urbanistiche ed edilizie -nelle quali sono state coinvolte imprese estere- tale aspetto condizionerà non poco il cantiere edilizio anche nel secolo successivo.

[1] A. Buccaro, *Da «architetto vulgo ingeniero» a «scienziato artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, in AA.VV., *Scienziati-Artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, a cura di A. Buccaro e F. De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003; AA.VV., *Civiltà dell'Ottocento. Architettura e Urbanistica*, a cura di G. Alisio, Napoli, Electa Napoli, 1997.

[2] Architetti Stefano Gasse, Luigi Malesci, Antonio Niccolini, Gaetano Genovese, Errico Alvino.

[3] Le funicolari di Chiaia e di Montesanto sono entrate in attività fra il 1889 ed il 1891.

[4] Tra la fine del 1860 ed il 1883 viene, altresì, sistemata la zona del litorale di Chiaia dal Chiatamone a Mergellina (lavori dati in concessione ad una società belga rappresentata dai fratelli Du Mesnil): venne ampliata la fascia costiera verso il mare, realizzata via Caracciolo, ampliata la villa comunale nonché costruiti una serie di edifici nel tratto terminale della strada dal lato di Mergellina e nelle trasversali alla Riviera di Chiaia.

[5] Si ricorda la realizzazione di Corso Maria Teresa (Corso Vittorio Emanuele) iniziato nel 1854 che svolgeva e svolge una considerevole funzione urbanistica: collegamento viario tra gli estremi dell'abitato cittadino e raccordo di questi con i punti più centrali della città (via Roma) nonché elemento da cui prende l'avvio l'urbanizzazione della collina.

[6] G. Alisio, *Napoli e il Risanamento. Recupero di una struttura urbana*, Napoli, Banco di Napoli, 1980; G. Russo, *Napoli come città*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1966; G. Alisio, *Lamont Young. Utopia e realtà nell'urbanistica napoletana dell'Ottocento*, Roma, Officina Edizioni, 1978; A. Buccaro, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1985; R. Di Stefano, *Storia, architettura, urbanistica*, in «Storia di Napoli», vol. IX, Napoli, Arti Tipografiche Di Mauro, 1972, pp. 645-743; R. De Fusco, *Architettura e Urbanistica dalla seconda metà dell'Ottocento ad oggi*, in «Storia di Napoli», vol. X, Napoli, Arti Tipografiche Di Mauro, 1971, pp. 275-341; R. Di Stefano, *Edilizia ed urbanistica napoletana dell'Ottocento*, in «Napoli Nobilissima», vol. XI, fasc. I-III, Napoli, Arte Tipografica, gennaio-giugno 1972.

[7] La ristrutturazione del complesso dei Girolamini fu uno di questi casi e anticipò, con il criterio dell'esproprio per pubblica utilità, il principio ispiratore del risanamento attuato dopo l'epidemia colerica del 1884.

[8] R. De Fusco, *Architettura e Urbanistica…*, cit., p. 303. Le facciate a tre ordini sono caratterizzate da serliane accompagnate da paraste bugnate, timpani arcuati, cariatidi di stucco, stemmi e medaglioni, elementi tipici del repertorio umbertino, gusto al quale si ispirano le principali opere del Risanamento; in tale edificio, inoltre, sono stati realizzati i primi solai in cemento armato secondo il brevetto Hennebique.

[9] Ancora al periodo del Risanamento, sebbene realizzato intorno al 1930, risale il progetto della colmata della spiaggia di S. Lucia con la costruzione dell'omonimo quartiere.

[10] E. Folinea, *Sulle origini delle lesioni nei fabbricati e metodi di restauro*, Napoli, 1855.

[11] E. Folinea, *Pel restauro della cupola della chiesa dello Spirito Santo. Memoria esplicativa del progetto d'arte*, Napoli, R. Stab. Tipografico del Cav. Francesco Giannini, 1882.

[12] F. De Cesare, *La scienza dell'architettura applicata alla costruzione, alla distribuzione, alla decorazione degli edifici civili*, II ed., Napoli, 1855-1856.

[13] F. Jaoul, *Vocabolario di architettura e di arti affini*, Napoli, 1874.

[14] A. Aveta, *Materiali e tecniche tradizionali nel napoletano. Note per il restauro architettonico*, Napoli, Arte Tipografica, 1987.

[15] A. Aveta, *Tecniche tradizionali o moderne nel restauro architettonico: alcune riflessioni*, in AA.VV., *Restauro dalla teoria alla prassi*, a cura di S. Casiello, Napoli, Electa Napoli, 2000, pp. 42-53.

[16] R. Di Stefano, *Edilizia. Elementi costruttivi e norme tecniche*, Napoli, Arte Tipografica, 1967. Si tratta di un documento ritrovato nell'Archivio storico del Comune di Napoli – Sala Bartolomeo Capasso (scansia V – opere pubbliche, Consiglio Edilizio, strutture varie 1840-1860).

[17] Si veda: *Analisi e Tariffa dei prezzi per le costruzioni civili,* pubblicata a cura dell'ing. Luigi Rendina nel 1890.

[18] G. Giordano, *I capitolati di appalto della Società pel Risanamento di Napoli*, in AA.VV., *Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive napoletane*, ivi, Cuen, 1993, pp. 74-80.

Pierpaolo D'Agostino

Stazioni ferroviarie: disegno e tecnologie tra XIX e XX secolo

Forse l'infrastruttura ferroviaria è stata la prima via di comunicazione che abbia, con la sua diffusione capillare, messo in relazione interi stati e territori prima isolati.

Lo sviluppo industriale che investe l'Europa dapprima e il continente americano poi, a partire dalla seconda metà del XVIII secolo, facilita il nascere ed il crescere del mezzo su ferro come via privilegiata del trasporto merci. Non deve passare tuttavia molto tempo prima che ci si renda conto delle potenzialità che le strade ferrate offrono alla movimentazione di utenza civile, fino ad allora vincolata alla trazione animale per gli spostamenti sulla terra ferma.

Lo sviluppo delle ferrovie avviene gradualmente, ma inesorabile e inarrestabile è la loro crescita cui si assiste in tutti gli stati nazionali europei. Va ad incrementarsi lo svolgersi di quei fasci di binari che ridisegnano, caso mai verificatosi con così diffusa portata nella storia della civiltà umana, il territorio naturale: le campagne vengono tracciate da direttrici; l'orografia si modifica alzandosi in certi punti in rilevato e abbassandosi in altri laddove vengono solcate trincee; si traforano colline e monti che, attraversate dal tracciato della strada ferrata, deve piegarsi al suo. Variano le abitudini delle comunità, che dalla pace della natura vengono assalite da sibili e fischi inusuali alle genti del secolo dei Lumi[1] . La fitta trama di ferro ramifica, attraversando paesi di provincia e più significativi centri urbani. Ed insieme alla rete ferroviaria, si assiste al sorgere di strutture, edifici funzionali ad accogliere i flussi di merci e utenza del mezzo di trasporto: nascono le stazioni ferroviarie.

Dopo una prima fase nella quale le stazioni ferroviarie vedono la luce e ad un secondo momento durante il quale si tenta di dare una razionalizzazione stilistica, coprendo, secondo una classificazione consolidata e proposta da Carrol Meeks nella prima metà del '900, il periodo che va dal primo trentennio alla metà del diciannovesimo secolo, si giunge alla fase che rappresenta l'acme delle realizzazioni più significative, il periodo che va dagli anni '60 ai '90 dell'Ottocento. Ed è la fase in cui si afferma un certo primato dell'Ingegneria strutturale, al fine di generare spazi vasti e di dare vita a raffinati virtuosismi compositivi.

Ponendo particolare attenzione al disegno delle facciate e degli ambienti destinati al pubblico, in un'impostazione estetica che genera talvolta forte stridore tra la magnificenza decorativa di questi locali e la più austera galleria dei treni, in una giustapposizione di concretezza materica e diafania delle nuove tecnologie applicate. Agli albori dell'utilizzo del vetro in architettura, alla sue

applicazioni s'accompagna la leggerezza visiva delle strutture in ghisa, che tuttavia non riescono a sfuggire al vaglio dello stile accademico, concepite e disegnate a guisa di elementi appartenenti a repertori stilistici lontani nel tempo quanto nella concezione: non di rado ad esempio, si trovano in stazioni della seconda metà dell'Ottocento slanciate colonne in ferro tornite a foggia di esili colonne corinzie, chiudendosi in sommità con stilizzate foglie di acanto.

In questo contesto, tre delle principali gares parigine - la vecchia Gare du Nord (1842-1846), quella de l'Est (1847-1852) e la seconda Gare Saint-Lazare (1852) - divengono punti di riferimento per le future progettazioni, paradigma nella loro evoluzione, primi episodi architettonici che intravedono nelle stazioni le «cattedrali della nuova umanità». Inizio di un processo evolutivo non senza difetti, laddove poi si giungerà ad estremizzare il principio di lode alla macchina in favore di architetture disegnate come maestose porte sulla città, con il risultato di mascherare la tecnica, dimenticando l'origine di embarcadères di questi edifici dalla funzione ben precisa: essere luogo di passaggio per coloro che intraprendono un viaggio.

Nel periodo di maggior sviluppo della progettazione ferrovia si assiste ad una dicotomia: da un lato lato, l'impianto architettonico *beaux-art* del fabbricato viaggiatori e dall'altro la tecnologia estrema della galleria dei treni. Ciò si traduceva ad una cura del particolare decorativo che l'architetto di estrazione accademica teneva nel disegno delle facciate mentre si demandava quasi interamente la progettazione dell'area delle

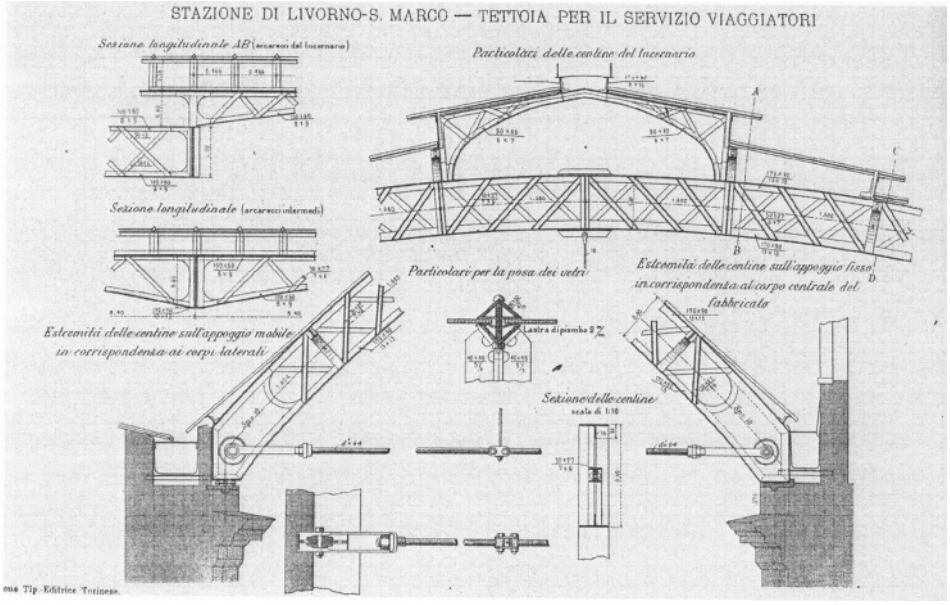


Fig. 1 - Copertura della stazione ferroviaria di Livorno S. Marco, dettagli, tratto da "Ingegneria Ferroviaria", n°12, 2004

banchine all'ingegnere. L'avanzamento tecnologico, dovuto allo slancio positivistico della seconda metà dell'Ottocento, fruttuoso per la produzione di innovazioni di carattere tecnologico, fornisce all'ingegnere nuovi strumenti e materiali per sperimentare concezioni strutturali fino a quel momento impensabili per l'ardire delle soluzioni adottate. Soluzioni che, per altro, sono una mediazione, talvolta riuscita, in altri casi meno, tra il desiderio di superamento dei limiti tecnici e l'adeguamento all'estetica del fabbricato viaggiatori, ferma restando la contrapposizione tra la massività delle sale di connessione con il ambiente urbano e l'apparente freddezza dell'esile sviluppo delle strutture, giustapposizione di elementi ripetitivi prefabbricati, della galleria dei treni.

Dunque, da un lato, il fabbricato viaggiatori; altra faccia della stessa medaglia, lo spazio coperto della galleria dei treni. La quale, pur legandosi nello sviluppo planimetrico al complesso degli ambienti della stazione, nel disegno in elevazione rimane sostanzialmente entità strutturale distinta ed autonoma.

E nella propria autonomia viene concessa la sperimentazione di membrature e schemi statici nuovi; d'altra parte, è complesso stabilire se le nuove scoperte tecnologiche stimolino alla soluzione di problemi tecnici o se viceversa essi seguano l'avanzamento scientifico e teorico che si riscontra nell'ambito delle discipline ingegneristiche. Anche se si ritrovano, nell'ambito della progettazione delle coperture ferroviarie, esempi ottocenteschi di strutture lignee, le vere protagoniste della scena sono due tra le più rilevanti innovazioni scaturite dalla rivoluzione industriale: il vetro e il ferro, che ferme restando le proprietà intrinseche considerati a sé stanti, trovano applicazioni entusiasmanti nell'ambito della progettazione ingegneristica e architettonica nell'accoppiamento che se ne può ricavare.

Salvo la parentesi felice delle costruzioni gotiche[2], l'introduzione in architettura dell'accoppiamento ferro-vetro permette il quasi totale smaterializzarsi delle strutture portanti. Pur restando valida tale possibilità, tuttavia in linea di massima lo svuotamento della tessitura muraria, nel caso delle stazioni ferroviarie avviene unicamente per la chiusura in copertura, in quanto, come precedentemente accennato, l'edificio che è costruito attorno alla galleria dei treni resta dominio del disegno architettonico piuttosto che del progetto strutturale.

All'ingegnere, dunque, viene posto il quesito di come coprire la galleria. I problemi cui egli si trova a far fronte sono di natura formale, funzionale e, caso ben più complesso nella soluzione, di carattere strutturale.

In primo luogo, infatti, è evidente che il disegno della copertura deve essere tale da garantire il ricovero adeguato contro gli agenti atmosferici del flusso di merci e viaggiatori che sotto di essa transitano. Inoltre, in ragione della sicurezza nell'area delle banchine, era necessario che la copertura reggesse al suo stesso peso. E il problema si pone decisamente visto che si parla in questo contesto di strutture ardite, atte a copri-

re spazi talvolta larghi decine di metri.

Gli schemi strutturali impiegati per le coperture ferroviarie variano in funzione di diverse considerazioni. A questo proposito, certamente bisogna annoverare l'influenza che la scelta della sezione, tra l'altro legata al disegno architettonico dell'insieme edilizio, avesse sulla statica del modello adoperato. Inoltre, l'accoppiamento acciaio-vetro necessariamente conduce all'utilizzo di elementi prefabbricati metallici assemblati in loco[3], al tipo di stazione ferroviaria in cui la copertura svolge la sua funzione.

Una prima distinzione in relazione al tipo di sezione è veicolata dal tipo di stazione. La rete ferroviaria di dipana sul territorio generando una trama nella quale si intersecano archi e si vengono a posizionare nodi. Che ci si trovi su di un nodo della rete, da cui si dipartono eventualmente altri archi verso differenti direzioni, o che ci si trovi lungo una direttrice ferroviaria, la conformazione della stazione cambia: si tratta della cosiddetta stazione di testa, ove si ha un terminale della rete, in genere identificata come porta della città[4], in contrapposizione alla variante più usuale, specie negli impianti delle prime generazioni, di stazione di transito, ove il fabbricato viaggiatori si trova a margine della galleria dei treni. Mentre nel caso della stazione di testa, la galleria dei treni risulta ortogonale allo sviluppo della facciata principale del fabbricato viaggiatori, per cui non è raro che la sezione della copertura della galleria dei treni sia disegnata in modo tale da continuare il disegno in facciata del fabbricato viaggiatori, viceversa, poiché nella stazione di transito il prospetto principale si sviluppa tangenzialmente all'asse delle banchine, ciò lascia più libertà al progettista di imporre la sezione che più pare congeniale a coprire l'area di transito dei treni.

Per quanto concerne il disegno in sezione della copertura, come accennato ci si trova costantemente nel caso di travature reticolari di elementi prefabbricati in ferro. Le sezioni maggiormente utilizzate sono riconducibili a due grandi famiglie: le travature reticolari ad intradosso orizzontale e le centine a sviluppo curvilineo.

Cronologicamente, coperture reticolari in carpenteria metallica sono utilizzate per tutto il XIX secolo in ragione della loro semplicità esecutiva, a cui si deve una diffusione notevole specie nelle applicazioni più precoci e nelle coperture degli ambienti secondari delle realizzazioni più mature. Una variante particolarmente utilizzata per le coperture a falde inclinate in struttura mista acciaio legno od interamente a carpenteria metallica risulta essere la capriata *Polonceau*: una incavallatura formata da due puntoni in legno o ferro atti a contenere gli sforzi di compressione e flessione ingenerati dal peso proprio della struttura e collegati alle estremità inferiori da una catena, un corrente in ferro fucinato che si faceva carico della trazione dovuta all'azione spingente della capriata.

L'adozione delle coperture voltate nelle coperture ferroviarie pare dovuta essenzialmente a considerazioni di carattere estetico prima che statico-fun-

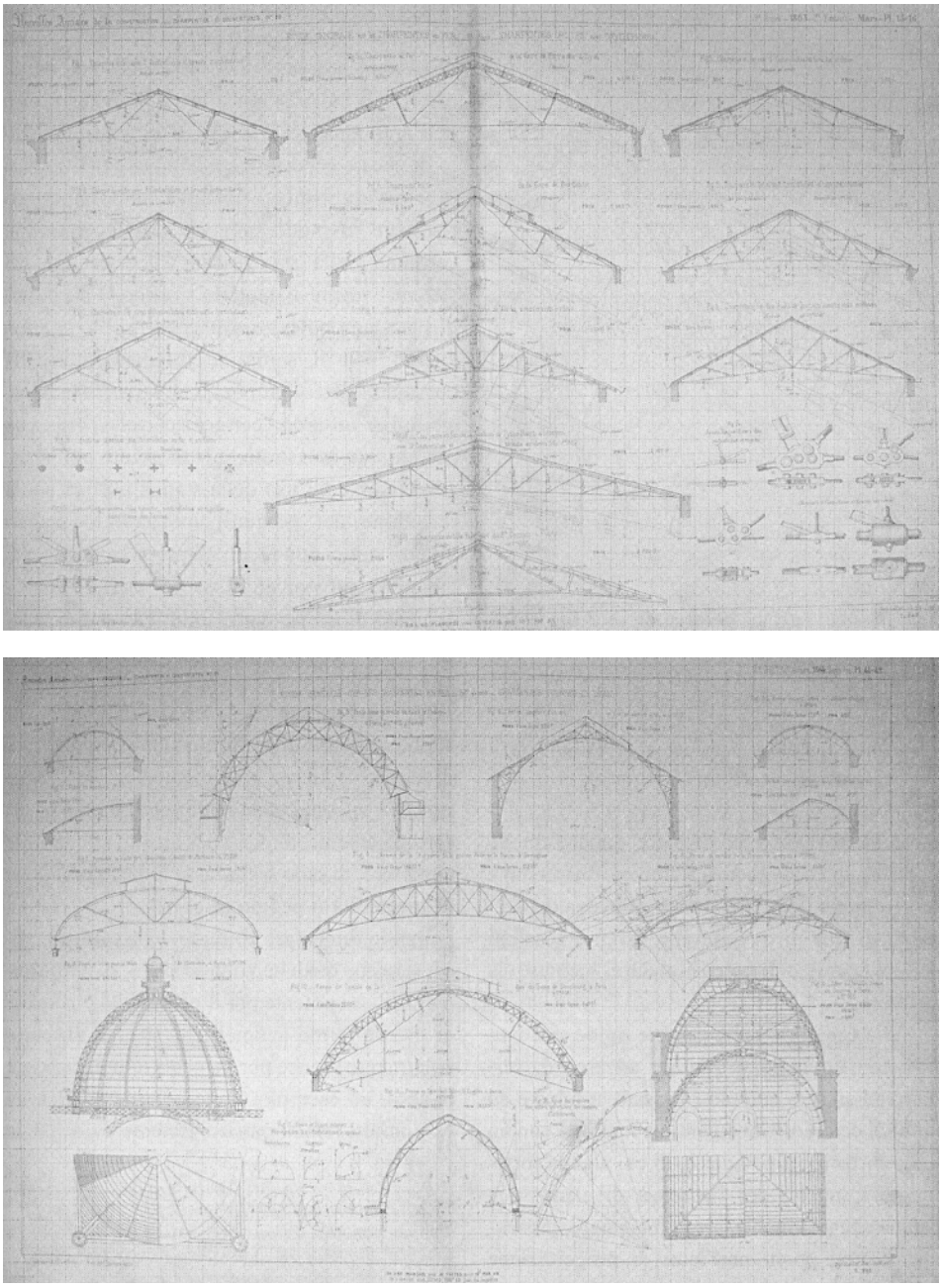
zionale. Infatti, mentre il susseguirsi delle capriate in ferro lungo l'asse della galleria dei treni all'intradosso, dava impressione che ci si trovasse di fronte ad una superficie piana e per questo poco dinamica nello sviluppo spaziale, l'effetto offerto dalle centine reticolari in ferro risultava viceversa avvincente per l'effetto voltato che s'otteneva nel ripetersi del modulo curvilineo. Ma il vezzo creò non pochi problemi agli strutturisti dell'800. Se infatti anche per una struttura semplice quale la tettoia a falde inclinate reticolari, si dovette attendere per una soluzione razionale del dimensionamento delle membrature la formulazione del metodo di Ritter, messo a punto dall'ingegnere tedesco nella seconda metà del XIX secolo[5], il fecondo campo di applicazioni offerte dalle centine voltate non è scevro di problematiche connesse da un lato ai differenti schemi statici utilizzabili a tal guisa, dall'altro alla discrepanza tra le prime applicazioni nell'edilizia ferroviaria di simili strutture e la definizione teorica delle soluzioni offerte dalla scienza e dalla tecnica delle costruzioni di metà Ottocento.

Un problema sostanziale posto dalle centine voltate, variamente risolto, è il come intervenire contro le spinte laterali agli appoggi. In relazione al sistema statico adoperato, ovvero se si avesse una struttura rigida od ad arco snodato[6]. Si discute di strutture fortemente spingenti, cui si poteva approcciare unicamente associando la soluzione grafica del progetto a prove di carico dal vero, applicate per altro in realizzazioni di maggior pregio ed importanza[7]. Tuttavia, si poteva ovviare alle spinte laterali fondamentalmente in due modi. Da un lato, le si potevano contenere agendo sulla struttura di cui le centine andavano a poggiare e quindi aumentando la massa muraria in modo da contenere la risultate degli sforzi ma incidendo in tal modo sul disegno di prospetto dell'alzato. D'altro canto, poteva farsi carico della spinta laterale l'eventuale inserimento di una catena vincolata agli estremi.

L'entusiasmo con cui il secolo XIX accoglie la ferrovia, e con essa le strutture a sé connesse, subisce una battuta d'arresto agli inizi del nuovo secolo e alle soglie del primo conflitto mondiale. In particolare, pare interessante porre attenzione al destino delle stazioni ferroviarie progettate anteriormente agli anni Dieci del XX secolo secondo le tipologie sinora analizzate.

All'interno del quadro infrastrutturale nella quale si inserisce, dopo i clamori della *Belle Époque*, la stazione ferroviaria perde il ruolo di ambito campo di progettazione e sperimentazione formale e strutturale. E le ragioni da indagare sono diverse, tanto di natura socio-culturale quanto, più interessanti ai fini della presente trattazione, di carattere tecnico.

L'Ottocento è dunque il secolo dell'affermazione dell'acciaio nelle produzioni architettoniche e ingegneristiche; tuttavia, è in questo secolo che si provvede ad una raffinazione delle tecniche di trattamento del calcestruzzo, conglomerato di inerte e cemento da sempre utilizzato in maniera poco efficace almeno fino alla metà del secolo XIX,



Figg. 2,3 – Esempi di coperture in carpenteria metallica, cfr. Nouvelles Annales de la Construction, *1863-1864*

quando vengono brevettati i primi sistemi di calcestruzzo rinforzato da barre in acciaio. Se per quanto concerne le applicazioni nella progettazione dell'acciaio può farsi risalire il suo utilizzo già dalla prima metà dell'800, anche osservando che i primi brevetti che riguardassero il conglomerato cementizio armato sono pressoché coevi all'utilizzazione dell'acciaio[8], bisogna attendere non poco prima che si possano avere soddisfacenti garanzie circa la sua fattibile applicazione nell'ingegneria infrastrutturale e civile. Tuttavia, una volta affermatosi, le costruzioni in calcestruzzo di cemento armato si diffusero con notevole velocità, fino ad arrivare in talune applicazioni a soppiantare quasi del tutto l'uso dell'acciaio.

Una digressione, la precedente, che ci permette di giustificare come mai ci sia stata, a cavallo dei due secoli, una inversione di tendenza nella costruzione di stazioni ferroviarie. È in questo periodo che giungono i problemi legati alle costruzioni metalliche di prima generazione. Tra questi, quelli connessi alla manutenzione delle coperture in ferro[9] e alla obsolescenza di alcune opere favorirono di certo l'applicazione del cemento armato per le non cospicue realizzazioni *ex novo* ed alla sostituzione delle costruzioni originarie. Infatti, specie nelle stazioni meno recenti, l'aumento della domanda era tale che esse divenivano sottodimensionate e, richiedendosi ampliamenti, vennero a preferirsi soluzioni tecnicamente più convenienti.

Inoltre, al declino delle stazioni ottocentesche, con particolare riferimento a quelle che presentavano caratteri tipologici in precedenza trattati, coperti da capriate o centine metalliche di luce ragguardevole, ha parimenti partecipato l'elettrificazione delle linee a partire dagli primo decennio del Novecento, grazie al perfezionamento del sistema italiano a corrente trifase con filo aereo[10]: si perde dunque la necessità di alte coperture atte all'allontanamento dei fumi di scarico delle locomotive, ma di contro è necessario dotare le banchine dei sostegni dei cavi elettrici. Ed in simili condizioni si preferiva spesso demolire piuttosto che adeguare, senza salvaguardare la qualità intrinseca ma non ravvisabile dei manufatti di copertura in carpenteria metallica.

Si arriva quindi piuttosto celermente alla quinta delle fasi della classificazione del Meeks, la quale attraversa i colflitti mondiali e si inoltra nella ricostruzione post-bellica. Se sino a questo momento la tendenza nella progettazione delle stazioni era avvenuta nel rispetto del paradigma francese delle gares, è in Italia che nasce un movimento che, sulla scia di un rinnovato slancio e ottimismo per la macchina, quanto essa possa produrre per la società, avrà ripercussioni nella quasi totalità dei campi del sapere, scientifico quanto umanistico: il futurismo il quale, divulgando il suo credo scientifico e socio-culturale in un arco temporale di circa un quindicennio, affronterà il tema di una nuova architettura sia nel manifesto elaborato da Antonio Sant'Elia nel 1914 che nel *Manifesto Futurista dell'architettura aerea* del 1935, il quale porta la firma, tra gli altri,

di Angiolo Mazzoni, ingegnere che per conto delle Ferrovie dello Stato e del Ministero delle Comunicazioni siglerà tra gli esempi più rilevanti dell'edilizia ferroviaria dei primi decenni del Novecento e rispondenti appieno ai dettami dell'impostazione futurista.

Sulla scorta delle esperienze del costruttivismo russo, il Mazzoni elabora un linguaggio nuovo, mutuato anche dalle teorizzazioni relative alla tecnologia del calcestruzzo armato.

La sua filosofia progettuale intende rendere funzionale gli spazi, sfruttando la gabbia strutturale per disegnare linee dinamiche, secondo una maniera innovativa e sconosciuta ai contemporanei repertori stilistici.

Forse si può affermare che l'esperienza italiana degli anni appena posteriori al secondo dopoguerra rappresentano il canto del cigno dell'edilizia ferroviaria di qualità[11]. La quale solo in questo primo decennio del XXI secolo ha ritrovato, salvo rari episodi singolari, nuovo slancio. E solo oggi i progettisti ritrovano nuovo spunto anche per il disegno delle coperture ferroviarie, grazie a nuovi linguaggi architettonici e innovazioni tecnologiche, in analogia con quanto è avvenuto poco più di un secolo prima, nei fasti delle ferrovie e delle stazioni.



Fig. 4 – A. Mazzoni, stazione di Messina, veduta delle banchine dopo l'inaugurazione, tratta da Architettura Ferroviaria in Italia – Novecento, *a cura di E. Godoli e A. I. Lima, Flaccovio, 2004*

[1] E varia la percezione che del territorio sino ad ora si aveva: si misura lo spazio non più solo in lunghezza, ma anche nel tempo impiegato a percorrerlo; il punto di vista del passeggero accoglie un territorio che scorre fuggevole alla vista, sfumato, per niente accomodante ma esaltante la natura viva del ferro in movimento, cfr. R. CESERANI, *Treni di Carta*, ed. Marietti , Genova, 1993.

[2] Facciamo riferimento alle grandi cattedrali ove, venuta a mancare la massività dei paramenti murari, lasciata la portanza a strutture snelle quali i possenti pilastri fasciati, i cromatismi delle ampie vetrate inserite nei vuoti generatisi tra i fasci portanti in muratura garantivano, come mai sino ad allora verificatosi nella storia dell'architettura, un afflusso notevole di luce naturale.

[3] L'assemblaggio delle membrature delle centine metalliche avveniva esclusivamente mediante chiodatura, ossia ricorrendo a rivetti messi in opera a caldo in fori passanti le membrature con funzione di giunzione, per sfruttare la contrazione del metallo per raffreddamento, il che andava a garantire il serraggio delle parti disgiunte contigue delle membrature della centina.

[4] Almeno a considerare le prime grandi stazioni dei centri urbani più rilevanti, le quali, senza entrare nello specifico, venivano ad essere localizzate in zone periferiche dell'ambito urbano da servire e rappresentavano il primo elemento architettonico del luogo di sosta alla fine del viaggio.

[5] L'opera che contiene i principi di cui sopra sono riportati nella pubblicazione del RITTER, *Elementare Theorie und Berechnung eiserner Dach-und Brücken-Constructionen*, Hannover, Rümpler, 1873, cit. in F. LESI, R. SCARSELLI, *Le tettoie delle stazioni ferroviarie*, in "Ingegneria Ferroviaria", cit.

[6] Tale distinzione fu introdotta da S. Fadda trattando la progettazione delle coperture ferroviarie nel contributo del 1890, cfr. S. FADDA, *Tettoie*, in *Costruzione ed esercizio delle Strade Ferrate*, UTET. In esso, l'Autore annovera come strutture rigide quelle incastrate agli estremi, quali le sezioni ad arco, ad arco ribassato e a falce.

[7] La soluzione dell'equilibrio dei sistemi elastici si deve ad Alberto Castigliano e giunge solamente nel 1879, quando la gran parte delle più importanti edifici ferroviari furono portati a compimento. D'altra parte, anche le soluzioni grafiche offerte dal Cullmann potevano fallire poiché non applicabili a strutture incastrate agli estremi o qualora il modello statico non fosse fedele alla realtà esecutiva.

[8] Si fa iniziare l'era del calcestruzzo armato quando nel 1867 Joseph Monier brevettò il primo sistema di orditura metallica annegata nel conglomerato cementizio, al quale fecero seguito numerosi brevetti, europei e statunitensi in particolare, che specificavano diverse applicazioni. Tuttavia, la vera svolta che favorirà la diffusione del cemento armato nelle costruzioni saranno le pubblicazioni tra il 1892 e il 1908 dei brevetti del francese François Hennebique, tra i quali particolare importanza riveste quello in cui si introduce ilgiunto monolitico alla intersezione tra pilastri e ordini ortogonali di travi, cfr. F. L. RANSOME, *Reinforced concrete buildings; a treatise on the history, patents, design and erection of the principal parts entering into a modern reinforced concrete building*, 1912.

[9] Gli elementi strutturali, onde evitare il fenomeno dell'ossidazione, richiedevano che si provvedesse all'applicazione sulle membrature di vernici protettive, bituminose od a base di ossidi metallici, le quali, peraltro, tendevano a scrostarsi in conseguenza delle vibrazioni indotte dalla movimentazione dei treni; spesso era quindi necessario che si agisse alla manutenzione delle strutture, operazione non sempre agevole in quanto, si è visto, le dimensioni delle opere creavano non pochi problemi a chi dovesse operare in tal senso.

[10] Cfr. S. MAGGI, *Le ferrovie*, Bologna 2003.

[11] Cfr. M RAGON, *L'architecture des gares*, Editore Denöel, Vitry, 1984.

PAOLO FERRARI

I cicli tecnologici del trasporto terrestre delle merci

I cicli delle tecnologie

La diffusione delle tecnologie dei trasporti, come di ogni altra tecnologia, ha un andamento ciclico. Essa segue nel tempo una curva a S, nella quale ad un primo tratto, nel quale il tasso di diffusione è basso ed aumenta poco, segue un periodo di aumento rapido, e quindi un periodo in cui il tasso di crescita va progressivamente diminuendo, fino ad annullarsi. A quest'ultimo segue di solito il declino della tecnologia.

Questo andamento nel tempo della diffusione delle tecnologie può essere spiegato in questo modo. Una innovazione tecnologica introdotta in un contesto sociale si diffonde se essa è capace di dare risposta ad esigenze che si vanno manifestando nella società, e che riguardano sia l'organizzazione sociale ed economica, sia la psicologia delle persone. Se ciò avviene, tecnologia e società interagiscono progressivamente fra loro, nel senso che le modificazioni sociali si amplificano adattandosi alla nuova tecnologia, e questa si diffonde in misura crescente, modificandosi a sua volta per adeguarsi alle trasformazioni sociali che essa contribuisce a produrre[1].

In una prima fase le esigenze che la nuova tecnologia è in grado di soddisfare non sono chiaramente manifeste, ma ogni nuovo progetto agisce come dimostrazione nei confronti dei potenziali utilizzatori, sia produttori che consumatori, per cui il numero degli utilizzatori effettivi va aumentando con un tasso crescente, in particolare se i vari progetti si collegano fra loro in una rete, e se si presentano economie di scala. Quando la conoscenza della tecnologia è completamente diffusa, essa viene utilizzata in un primo tempo da coloro che ne ricavano i maggiori vantaggi, quindi ad un tasso via via decrescente da coloro che se avvantaggiano di meno, finché viene raggiunto un livello oltre il quale l'espansione della tecnologia è resa impossibile da vincoli fisici, o dal fatto che stanno sorgendo nella società bisogni che essa ha contribuito a far nascere, ma che non è più in grado di soddisfare, o da entrambi. A questo punto inizia il declino, il quale si accompagna alla diffusione di una tecnologia competitiva.

Cercherò di verificare la validità di questa spiegazione con riferimento alle tecnologie del trasporto terrestre delle merci le quali sono state attive in tre diverse epoche storiche e diversi contesti socio-economici: in Inghilterra e nel Galles nelle prime due fasi della rivoluzione industriale, e in Italia nella seconda metà del XX secolo. Nel fare questo esame occorre considerare che nel mondo dei trasporti ogni tecnologia è il risultato della sintesi fra le tecnologie delle infrastrutture e dei veicoli e le regole istituzionali a cui il sistema di trasporto è sog-

getto. Tenendo conto di questa precisazione studieremo i cicli tecnologici dei *turnpike trusts*, delle ferrovie e delle autostrade a pedaggio, che sono state le tecnologie dominanti nel trasporto delle merci nei tre contesti considerati, diverse fra loro non solo per la diversità dei veicoli e delle infrastrutture, ma anche per le regole istituzionali che le hanno governato.

Il ciclo dei turnpike trusts

La rivoluzione industriale nasce e si sviluppa originariamente in Inghilterra intorno alla metà del XVIII secolo, e si diffonde successivamente in altri Paesi europei e negli Stati Uniti d'America. Essa produce una profonda trasformazione non solo delle tecnologie, ma anche della organizzazione sociale ed economica e della cultura di questi Paesi. Il fatto che la rivoluzione industriale sia nata in Inghilterra è attribuito dagli storici ad un insieme di circostanze favorevoli: *a*) il nuovo assetto istituzionale del Paese realizzatosi dopo la guerra civile del XVII secolo, il quale assicurava ai cittadini libertà di espressione e di iniziativa notevolmente superiore a quella di altri Paesi; *b*) la rivoluzione verificatasi in agricoltura che aumentò la produttività del singolo lavoratore e migliorò il regime alimentare del popolo contribuendo ad una sensibile riduzione della mortalità infantile: queste due circostanze resero disponibile una massa considerevole di mano d'opera che aveva necessità di trovare occupazione in settori diversi dall'agricoltura; *c*) il diffondersi delle conoscenze scientifiche e la loro utilizzazione in numerose invenzioni che modificarono profondamente le tecnologie delle attività produttive. Il risultato di questo concorso di circostanze fu la nascita di un gran numero di piccolissime aziende, a livello artigianale, le *cottage factories*, le quali utilizzavano come forza motrice quella muscolare degli uomini e degli animali e quella dei corsi d'acqua, e solo in tempi successivi cominciarono a servirsi dell'energia fornita dalle macchine a vapore.

Lo sviluppo di questo insieme di piccole aziende, che ha caratterizzato tutta la prima fase della rivoluzione industriale, non si sarebbe potuto verificare senza un efficiente sistema di trasporto che collegasse le varie aziende fra di loro, con le fonti di approvvigionamento delle materie prime e con i mercati di vendita dei prodotti. Fino alla metà del XVIII secolo i trasporti interni in Inghilterra avvenivano lungo i canali e sulle strade, le quali però erano in pessime condizioni e spesso rappresentavano più un diritto di passaggio che una vera e propria infrastruttura. La manutenzione delle strade avveniva obbligando i proprietari terrieri a fornire macchinari, carri e cavalli, e imponendo il lavoro forzato ai cittadini non proprietari, i quali erano costretti a prestare la loro opera gratuitamente in lavori stradali per sei giorni consecutivi all'anno.

Gli inconvenienti di un tale sistema cominciarono ad apparire così dannosi allo sviluppo delle attività economiche che il Parlamento già verso la fine del XVII secolo cominciò ad autorizzare

alcuni magistrati ad imporre il pedaggio su alcune strade allo scopo di raccogliere i fondi necessari alla loro manutenzione. Successivamente estese tale autorizzazione ad organizzazioni formate dai locali proprietari terrieri e da mercanti, denominate *turnpike trusts*.

La diffusione di questo sistema istituzionale di gestione delle strade fu dapprima lento, per le difficoltà burocratiche e per la violenta opposizione degli abitanti dei territori attraversati dalle strade, i quali in precedenza avevano goduto del diritto gratuito di passaggio[2], ma cominciò a diventare molto popolare nei primi decenni del XVIII secolo.

La fig. 1[3] riporta il numero totale dei *trusts* e delle miglia di strade da essi controllate fra il 1700 e il 1840. Si osserva la classica forma a S del processo di diffusione, nel quale si possono distinguere tre fasi. La prima si verificò fra il 1700 e il 1750, e durante questo periodo furono creati *trusts* sulle principali strade che conducevano a Londra. La seconda fase comprende il ventennio 1750-1770, e divenne nota come *turnpike boom*, perché oltre 300 *trusts* furono creati su 10.000 miglia di strade, le quali in parte conducevano a Londra, in parte collegavano fra loro i centri importanti del Paese. La fase finale della diffusione riguardò quasi completamente i *trusts* sulle strade secondarie intorno alle maggiori città, come Londra, Manchester, Leeds e Birmingham[4].

Le strade dei *turnpike trusts* erano completamente diverse da quelle del passato, perché avevano maggiore larghezza, minori pendenze, ed erano costruite con tecnologie innovative, introdotte da ingegneri come John Metcalf, John McAdam e Thomas Telford. Contemporaneamente altre profonde tra-

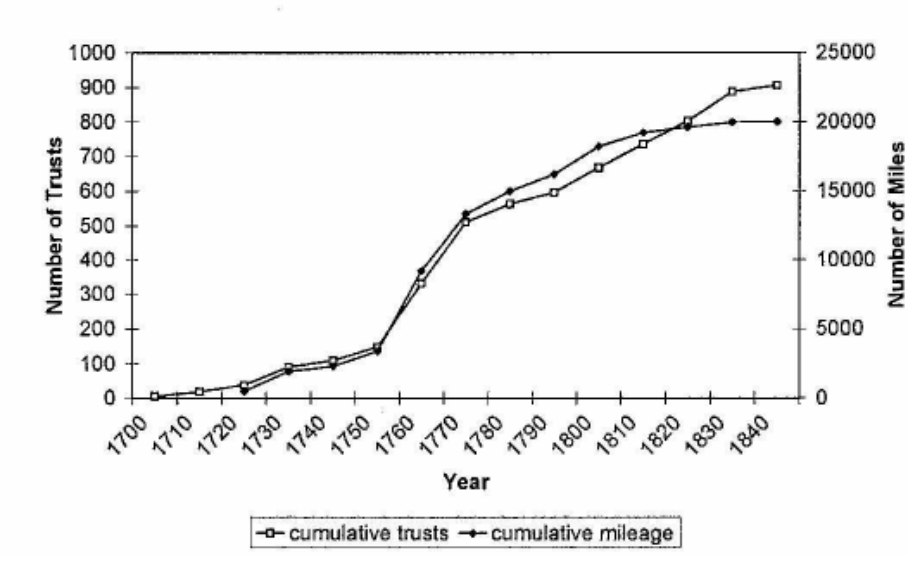


Fig.1 – Diffusione dei turnpike trusts In Inghilterra e nel Galles, 1700-1840

sformazioni interessarono il trasporto stradale: le più importanti furono i miglioramenti nella alimentazione dei cavalli e la nascita di nuove imprese di trasporto. La prima, insieme con il miglioramento delle caratteristiche costruttive delle strade, consentì di trasportare carichi più pesanti e di aumentare la velocità media, la quale fra il 1750 e il 1800 aumentò da 2,6 a 6,2 miglia per ora, raggiungendo intorno al 1829 le 8 miglia per ora[5]. L'aumento delle dimensioni delle imprese consentì una migliore organizzazione del trasporto stradale e una notevole riduzione delle tariffe, perché le grandi imprese riuscivano a procurarsi a prezzi molto minori il foraggio per gli animali da tiro, che costituiva la voce di gran lunga più importante dei costi del trasporto stradale[6].

Questo insieme di circostanze produsse una tecnologia di trasporto stradale completamente diversa da quella del passato, la quale diede luogo ad un considerevole aumento del traffico stradale: fra il 1715 e il 1800, nel periodo di maggiore espansione dei *turnpike trusts*, il numero dei servizi regolari di trasporto crebbe ad un tasso medio del 2,3% all'anno per le merci e del 3,1% per i passeggeri, alquanto maggiori dei tassi medi di crescita per molti settori dell'economia britannica[7].

Il sistema dei *turnpike trusts* raggiunse la sua massima espansione, come si osserva nella Fig. 1, intorno al 1850, quando anche le strade secondarie intorno alle grandi città entrarono a far parte del sistema. A quel punto una ulteriore espansione del sistema, che aveva inglobato le più importanti strade del Paese, costituenti il 17% dell'intera rete stradale dell'Inghilterra e del Galles, risultava difficile, mentre d'altra parte si stava verificando una profonda trasformazione nella organizzazione della produzione industriale.

Il sistema artigianale delle *cottage factories*, il cui sviluppo e la cui diffusione erano stati resi possibili dalla contemporanea trasformazione del trasporto stradale, andava cedendo il passo ad una organizzazione delle produzione industriale basata sulle grandi fabbriche. In esse si concentravano un gran numero di macchine alimentate dalla forza motrice del vapore e grandi masse di operari organizzati con criteri scientifici. Ha inizio con queste trasformazioni la seconda fase della rivoluzione industriale. Le grandi fabbriche avevano necessità di trasporto molto diverse da quelle delle *cottage factories*, in particolare di trasportare grandi masse di carbone e di altri minerali. Questa domanda di trasporto superava nettamente le possibilità del sistema di trasporto a trazione animale, mentre poteva essere soddisfatta senza problemi dalla ferrovia a vapore, la nuova tecnologia di trasporto che in quegli anni si andava affermando. Questo insieme di circostanze, cioè le difficoltà di una ulteriore espansione della rete stradale governata dai *turnpike trusts*, la profonda trasformazione nella organizzazione della produzione industriale e la nascita di una tecnologia alternativa, determinarono il declino del sistema di trasporto affidato ai *turnpike trusts*, il quale iniziò a partire

dal 1864. I volumi di traffico si ridussero considerevolmente, per cui non risultò più conveniente sostenere le spese per la riscossione dei pedaggi. Così i *turnpike trusts* progressivamente si ritirarono e le strade passarono sotto la gestione delle contee, le quali a poco a poco eliminarono il pedaggio, provvedendo alla manutenzione delle strade mediante l'imposizione fiscale. L'ultimo pedaggio fu riscosso il 1 novembre 1895 sulla Shrewsbury and Holyhead Road[8].

Il ciclo delle ferrovie in Inghilterra e nel Galles

La ferrovia è stato il sistema di trasporto che ha dominato nettamente la seconda fase della rivoluzione industriale, la quale comprende il periodo che va dalla metà del XIX secolo alla metà del XX secolo. In questa seconda fase, come si è visto, si ebbe una profonda trasformazione nella organizzazione della produzione industriale, basata sulle grandi fabbriche, la quale fu resa possibile principalmente dalla invenzione della macchina a vapore. Il rifornimento di carbone e di altri minerali di cui le fabbriche avevano bisogno fu assicurato dalla diffusione della ferrovia, che utilizzava la locomotiva a vapore, il cui primo esemplare adatto a svolgere un regolare servizio, costruito da George Stevenson, fu impiegata sulla linea Stokton-Darlington, inaugurata il 27 settembre 1825, la quale fu la prima ferrovia pubblica, impiegata però per il solo servizio merci. Era lunga 40 km ed aveva quattro rami di raccordo con le miniere. La prima linea ferroviaria per passeggeri e merci fu la Liverpool-Manchester, inaugurata il 15 settembre 1830, la quale era lunga 56 km, aveva una galleria di 2 km, una trincea lunga 3 km e profonda fino a 21 m, ed un viadotto a nove archi con 15 m di luce, alto circa 21 m.

Nel corso degli anni '30 del XIX secolo furono costruite in Inghilterra altre due linee, la Londra-Birmingham ed un'altra che collegava quest'ultima con la Liverpool-Manchestyer. Il successo di queste linee determinò un grande boom di costruzioni ferroviarie durante il decennio successivo, finché all'inizio degli anni '50 l'entusiasmo per gli investimenti nelle costruzioni ferroviarie si raffreddò bruscamente in seguito al fallimento di alcune compagnie ferroviarie. Le costruzioni di nuove linee ripresero verso la fine degli anni '50, dapprima con molto vigore, poi con un ritmo via via decrescente fino all'inizio della seconda guerra mondiale, quando la rete ferroviaria britannica raggiunse un livello di espansione quasi prossimo a quello definitivo che sarebbe stato raggiunto verso la metà del XX secolo.

Nei primi decenni del suo sviluppo il sistema ferroviario si andava espandendo con l'obbiettivo di collegare fra loro i maggiori centri urbani e le fonti di materie prime necessarie alle industrie. Successivamente al 1850 interessò in misura sempre maggiore i distretti rurali, come si può vedere nella Fig. 2. La configurazione della rete nel 1854 mostra un sistema che collegava le città più importanti, le aree ricche di miniere di carbone e di ferro, ed i centri della produzione industriale come Birmin-

gham e Manchester. La ripresa delle costruzioni ferroviarie durante gli anni '60 e la prima metà degli anni '70 produsse un notevole infittimento della rete ferroviaria: come si osserva nella Fig. 2, nel 1876 quasi tutte le aree rurali dell'Inghilterra e del Galles erano servite da linee ferroviarie. Inizialmente le imprese si erano dedicate alla costruzione delle ferrovie pensando che esse sarebbero state utilizzate prevalentemente per il trasporto delle merci, e furono sorprese nel constatare che invece venivano utilizzate in misura altrettanto importante dai passeggeri[9].

La diffusione delle ferrovie ha accompagnato, e in larga misura contribuito a realizzare, le profonde trasformazioni economiche e sociali verificatesi in Inghilterra e nel Galles nella seconda metà del XIX secolo[10]. A partire dal 1860 il trasporto ferroviario aprì nuove opportunità alle risorse minerarie di aree che erano rimaste sottosviluppate a causa degli alti costi del trasporto. Nelle regioni agricole le ferrovie rivitalizzarono l'agricoltura locale rendendo possibile la vendita dei prodotti in mercati lontani. A partire dal 1870, grazie all'aumento della velocità e alla diminuzione dei costi, il commercio dei prodotti agricoli deperibili si estese a nuovi mercati, venendo incontro alle esigenze delle grandi città.

L'allevamento del bestiame usufruì della facilità di approvvigionamento del foraggio. Inoltre le ferrovie consentirono lo sviluppo di valide alternative di lavoro per coloro che furono colpiti dalla grande crisi dell'agricoltura la quale, iniziata intorno al 1870 per il crollo del prezzo del grano, proseguì per molti decenni fino all'inizio del '900. Per esempio, molti fra coloro che erano stati respinti, a causa della crisi, dall'attività di coltivazione

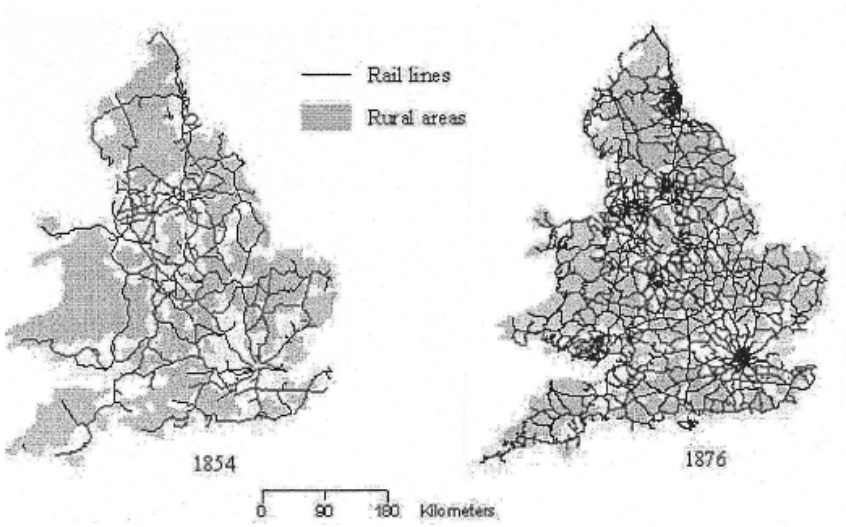


Fig. 2 – Linee ferroviarie in Inghilterra e nel Galles nel 1854 e nel 1876

del grano, trovarono occupazione nell'industria del latte che veniva incontro alla domanda di burro e di latte fresco delle grandi città. Molto tempo prima che i moderni sistemi di refrigerazione fossero inventati, le ferrovie resero possibile il rapido trasporto del latte dalle aziende dell'Inghilterra occidentale e del Galles verso Londra, ed anche dallo Yorkshire verso Leeds, Newcastle e Liverpool.

D'altra parte le ferrovie produssero anche altri effetti che contribuirono ad una notevole diminuzione della popolazione nelle aree rurali. Il miglioramento del servizio postale e la diffusione dei giornali, che le ferrovie fecero progredire notevolmente, resero gli abitanti delle aree rurali consci delle opportunità di lavoro, di più alti salari e di miglioramento sociale offerti dalle città. D'altra parte la crescente meccanizzazione in agricoltura e la crisi del grano che spinse molti agricoltori a trasformare in pascoli i campi prima coltivati a grano, ridusse notevolmente l'offerta di lavoro in agricoltura. Ebbe così origine un fenomeno di migrazione della popolazione dalle aree rurali verso le città, che raggiunse la massima intensità fra il 1870 e il 1890, per poi ridursi gradualmente fino ad annullarsi intorno alla fine del secolo. Nel 1911 la popolazione dei distretti rurali dell'Inghilterra e del Galles era diminuita di circa il 50% rispetto al 1850[11].

In alcuni distretti l'emigrazione fu molto elevata, in altri alquanto inferiore alla media, mentre in alcuni distretti del Lincolnshire, del Galles del Nord e lungo la costa del Sussex le immigrazioni superarono le emigrazioni. Questo fenomeno fu notevolmente favorito dalle ferrovie, poiché consentirono alle popolazioni che vivevano in aree rurali in cui esistevano risorse minerarie e industrie di vario tipo di mantenere i contatti con i mercati lontani. Infatti è stata provata l'esistenza di una correlazione negativa fra diminuzione della popolazione e dotazione ferroviaria, misurata come numero di stazioni e chilometri di linee per unità di superficie[12]. Così le ferrovie, che avevano contribuito in maniera determinante alla creazione di un metodo di produzione industriale basato sulle fabbriche concentrate nelle aree urbane, contribuirono anche a stabilizzare la popolazione dei distretti rurali ai livelli che le risorse naturali e le attività in essi possibili consentivano di mantenere.

La Fig. 3 mostra la diffusione delle ferrovie in Inghilterra e nel Galles fra il 1830 e il 1914[13], alla vigilia della prima guerra mondiale: essa segue la classica curva a S. Il tasso di crescita dopo il 1870 è andato progressivamente diminuendo. La diminuzione è stata molto netta nel corso del XX secolo, fino al 1950 quando la rete raggiunse la massima estensione.

A partire dal 1920 cominciò a diffondersi una tecnologia di trasporto alternativa, il trasporto stradale motorizzato. D'altra parte già da tempo l'elettricità aveva cominciato a sostituire il vapore nella alimentazione energetica delle fabbriche, producendo una forte contrazione nel trasporto del carbone che era stato durante tutta la metà dell'800 una delle voci principali del traffi-

co ferroviario. Alla industria pesante, rivolta principalmente alla produzione dell'acciaio, si andava sostituendo l'industria leggera. Queste circostanze determinarono il declino del trasporto ferroviario delle merci che, iniziato poco dopo il 1950, è proseguito massiccio per alcuni decenni del secolo scorso fino a registrare, agli inizi degli anni '90, la quasi totale scomparsa del trasporto merci in ferrovia. Agli inizi degli anni '50 il traffico ferroviario delle merci in Gran Bretagna era di 37 miliardi di tonn.km e copriva il 42% della domanda; nel 1994 questi numeri erano scesi a 13 miliardi e al 6% rispettivamente, mentre il traffico totale delle merci su tutti i modi di trasporto (strada, ferrovia, navigazione interna) era aumentato da 88 a 220,5 miliardi di tonn.km[14].

Dopo il 1955 si tentò di arrestare il declino del traffico ferroviario cercando di ridurre i tempi di consegna delle merci con la chiusura di 150 piccoli centri di smistamento e la realizzazione di 55 nuovi grandi centri automatizzati. Tuttavia il provvedimento non ebbe successo, perché la concorrenza del trasporto stradale diventava sempre più aggressiva, aiutata dalla costruzione di nuove strade e dalla disponibilità di sempre migliori veicoli. Si andò diffondendo la convinzione che il trasporto ferroviario delle merci fosse una tecnologia ormai superata, e si diede inizio al progressivo smantellamento della rete ferroviaria, non solo dei tronchi di raccordo con le zone rurali, ma anche di alcune linee principali. Questa operazione di smantellamento proseguì fino al 1975 e portò ad un grande ridimensionamento della rete ferroviaria britannica. Essa, che aveva nel 1950 una estensione di circa 21.000 miglia di linee e 6.000 stazioni, si ridusse nel 1975 a 12.000 miglia di linee e 2.000 stazioni, numeri che sono rimasti praticamente inalterati fino ad oggi. La Fig. 4 [15] dà un'idea abbastanza chiara del declino del sistema ferroviario britannico verificatosi dopo il 1950.

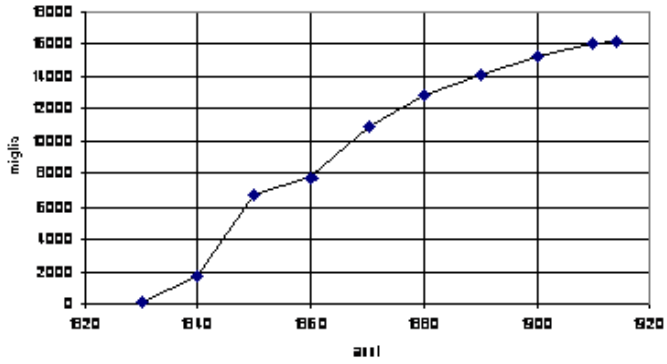


Fig. 3 – Diffusione delle ferrovie in Inghilterra e nel Galles, 1830-1914

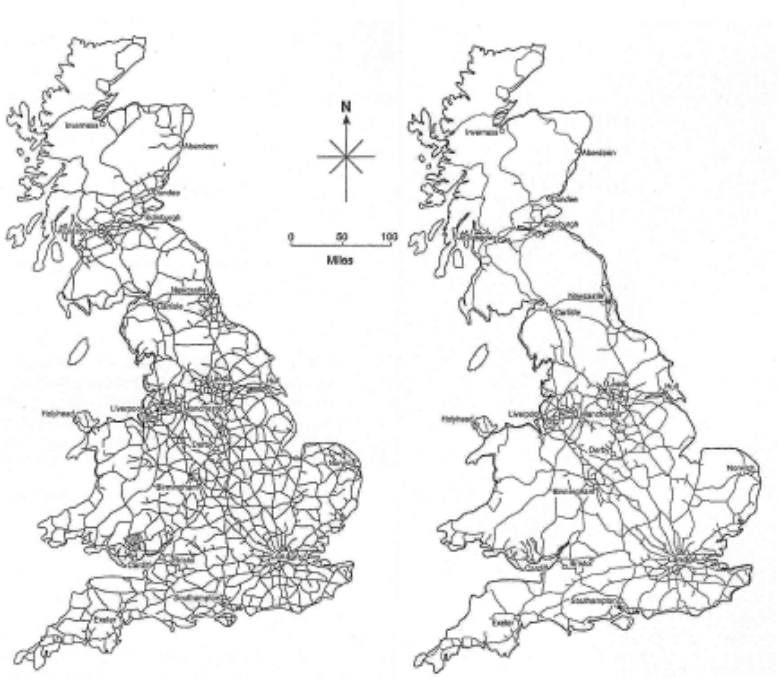


Fig. 4 – Rete ferroviaria della Gran Bretagna nel 1952 e nel 1985

Il ciclo delle autostrade in Italia

Le prime autostrade furono costruite in Italia dall'ing. M. Puricelli di Milano, il quale agli inizi degli anni '20 del secolo scorso elaborò e sottopose alla approvazione del Governo un piano per la realizzazione di un sistema di strade riservate ai veicoli a motore. A tal fine egli introdusse il sistema della costruzione e gestione in concessione: le autostrade venivano costruite e gestite da privati, i quali recuperavano il capitale investito e ricavavano un utile mediante l'imposizione di un pedaggio agli utenti, e alla fine di un arco temporale stabilito dalla concessione cedevano l'opera allo Stato. La prima ad essere costruita fu l'autostrada Milano-Varese, nel 1924. Nel decennio successivo furono realizzati altri sette tronchi autostradali, il più lungo dei quali fu quello fra Milano e Torino, di circa 130 km. A metà degli anni '30 la lunghezza totale delle autostrade in Italia era di circa 530 km, ma poi il ritmo delle costruzioni autostradali si arrestò per numerose ragioni, sia politiche che economiche.

La costruzione delle autostrade riprese con ritmo molto elevato nella seconda metà degli anni '50, in seguito all'approvazione da parte del Parlamento della Legge 21.05.1955 n. 463, nota come Legge Romita, la quale definì il piano autostradale e individuò le risorse finanziarie necessarie per la costruzione delle nuove autostrade, per ammo-

dernare quelle esistenti e per altri interventi sulla viabilità principale del Paese. Si prevedeva che la maggior parte delle autostrade sarebbero state costruite e gestite in regime di concessione, e quindi soggette a pedaggio, come in effetti è avvenuto.

Le prime autostrade ad essere costruite furono la Milano-Napoli e la Torino-Venezia. In effetti molti tronchi di quest'ultima erano già stati costruiti prima della guerra: essi furono ampliati a carreggiate separate e furono costruiti i tronchi mancanti. Queste due autostrade costituirono i due assi fondamentali del sistema di trasporto stradale del Paese, in direzione Nord-Sud e Est-Ovest. Nel periodo fra il 1956 e il 1980 numerose altre autostrade furono costruite, e la rete autostradale si andò infittendo notevolmente. Dopo il 1980 il ritmo delle costruzioni rallentò notevolmente, e più che della costruzione di nuove autostrade ci si preoccupò di allargare le carreggiate realizzate negli anni precedenti.

La rete autostradale del dopoguerra era stata concepita come strumento di modernizzazione del Paese, con un progetto strettamente legato alla diffusione dell'automobile. Accorciando le distanze, non solo geografiche ma anche di reddito e di mentalità lungo i grandi assi Nord-Sud ed Est-Ovest, avrebbe contribuito a compattare il sistema sociale, economico, culturale, consentendo spostamenti che avrebbero creato nuove occasioni di lavoro e di utilizzazione del tempo libero. Si prevedeva che il traffico merci sarebbe stato scarso, ed infatti così fu fino ai primi anni '60. Ad un certo momento però gli autotrasportatori cominciarono a rendersi conto dei vantaggi delle autostrade, ed il traffico merci cominciò ad aumentare progressivamente, raggiungendo valori tali da sconvolgere la funzione originariamente attribuita alle autostrade[16]. Si è così verificato sulle autostrade italiane un fenomeno simmetrico a quello osservato un secolo prima sulle ferrovie inglesi che, costruite per soddisfare essenzialmente la domanda di trasporto merci, sono state poi utilizzate da una domanda passeggeri altrettanto importante. E' questa una caratteristica comune a tutte le grandi innovazioni tecnologiche, le quali modellano la loro funzione in modo autonomo, senza seguire le intenzioni dei loro ideatori, ma adattandosi al livello di assorbimento della novità da parte delle diverse categorie di utenti.

Analogamente a quanto è avvenuto in Inghilterra con le ferrovie nella seconda metà del XIX secolo, la diffusione delle autostrade in Italia ha accompagnato, e in larga misura contribuito a realizzare, le profonde trasformazioni sociali ed economiche verificatesi nel Paese nella seconda metà del XX secolo. L'assetto territoriale e socio-economico dell'Italia degli anni '50 era tutto centrato sul triangolo Torino-Genova-Milano e sul riferimento politico e amministrativo a Roma. Le autostrade, riducendo drasticamente i tempi di viaggio fra le diverse zone del Paese, hanno aperto nuove opportunità alle vocazioni industriali di tante aree che in precedenza, a causa dell'isolamento dovuto agli

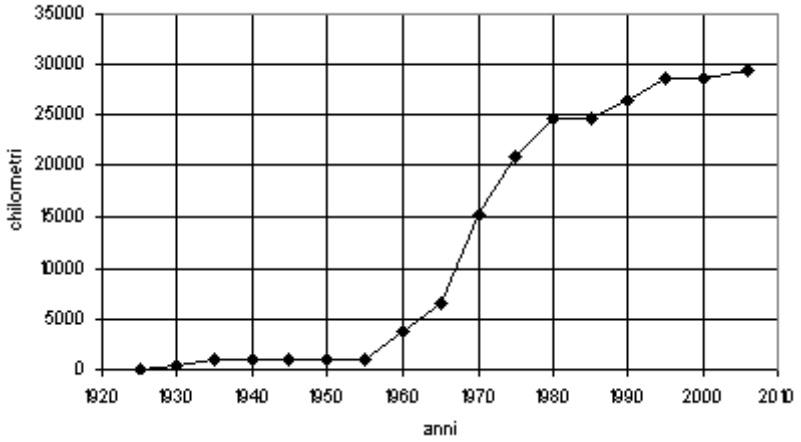


Fig. 5 – Diffusione delle autostrade in Italia, 1925-2006

alti costi del trasporto, erano state represse e costrette a sopravvivere ai livelli, quantitativamente e qualitativamente modesti, necessari a soddisfare i bisogni locali. Il risultato di questa profonda trasformazione è stato l'arrivo a protagonismo economico di zone che erano emarginate nell'assetto socio-economico dell'Italia nella prima metà del XX secolo: il Nord-Est, l'Emilia, la Toscana,le Marche, con l'effetto di una configurazione sempre più ad arcipelago del nostro sistema industriale[17] .

L'andamento della diffusione delle autostrade in Italia è rappresentato nella Fig. 5 nella quale, allo scopo di tener conto della diversa larghezza delle carreggiate nelle varie epoche, è riportato il numero di chilometri di corsie in esercizio fra il 1925 e il 2006. La diffusione segue la classica curva a S: il tasso di crescita, crescente nel periodo fra il 1956 e il 1970, è andato progressivamente diminuendo dopo il 1970 ed oggi sembra prossimo ad annullarsi, quasi ad indicare l'avvicinarsi della fine del ciclo tecnologico del trasporto autostradale. In effetti molte sono le circostanze che fanno ritenere estremamente improbabile una significativa, ulteriore espansione della rete autostradale.

La forte opposizione delle popolazioni alla costruzione di nuove autostrade nei loro territori, la crescente preoccupazione per l'impatto ambientale prodotto dal traffico stradale, la pericolosità che, nonostante i notevoli progressi, questo modo di trasporto ancora conserva, pongono un limite difficilmente superabile alla ulteriore espansione del sistema autostradale. Inoltre vanno sorgendo nuove esigenze di trasporto che le autostrade non potrebbero soddisfare. La globalizzazione della economia determina la dislocazione di molte attività produttive in luoghi molto lontani da quelli in cui avviene l'assemblaggio del prodotto finale, producendo una forte domanda di trasporto merci a distanze superiori a quelle per le quali risulta eco-

nomicamente conveniente il trasporto su gomma. Questo fatto, ed anche la constatazione del notevole impegno che si sta ponendo nella costruzione di grandi assi ferroviari che collegano fra loro i diversi Paesi europei, inducono a prevedere una ripresa del ruolo della ferrovia nel trasporto delle merci a lunga distanza. Probabilmente la tecnologia del trasporto merci del futuro sarà non più dominata da un solo modo di trasporto, ma sarà il risultato della integrazione fra più modi di trasporto, in cui la vera innovazione tecnologica potrebbe essere costituita da nodi di interscambio capaci di trasferire grandi quantità di merci in tempi brevi, con elevata affidabilità, e in maniera completamente automatizzata, da un modo di trasporto ad un altro.

[1] L. GALLINO, *Il decisore tecnologico*, in *Tecnologia e democrazia*, 2007, Einaudi, Torino.

[2] W. ALBERT, *Popular opposition to turnpike trusts in early eighteenth-century England*, The Journal of Transport History, Vol. IV, 1980, n. 1, p. 1-17.

[3] D. BOGART, *Turnpike trusts and the transportation revolution in18th century England*, in Exploration in Economic History, 2005, p. 5.

[4] Ivi, p. 4.

[5] Ivi, p. 6.

[6] D. GEROLD, *Productivity change in road transport before and after turnpiking, 1690-1840*. Economic History Review, 1996, pp. 491-515.

[7] D. BOGART, cit., p. 9.

[8] D.M. LEVINSON, *Road pricing in practice*, in K.J. BUTTON and E.T. VERHOEF (eds), Road pricing, traffic congestion and the environment, 2000, Edward Elgar, Cheltenham, U.K. p. 22.

[9] R.M. SCHWARTZ, *Railways and rural development in England and Wales, 1850-1914*, in C. SORREL (ed.) Frontères, contacts, échanges. Hommage à André Palluel, Chambery, 2000, Presse de l'Université de Savoy, p. 244-245.

[10] Ivi, p. 247.

[11] Ivi, p. 249.

[12] Ivi, p. 257-258.

[13] J. SIMMONS, *The railway in England and Wales, 1830-1914*, Leicester University Press, 1978, pp. 276-277.

[14] R. HAYWOOD, *Land development implications in the British Rail renaissance*, Journal of Transport Geography 7, 1999, pp. 263.

[15] Ivi, pp. 264-265.

[16] M. DEL VISCOVO, *L'Autostrada del Sole: un bilancio benefici-costi*, in Autostrade: una esperienza italiana,1983, IPS, Roma, p. 22.

[17] G. DE RITA e C. CALVARUSO, *Evoluzione sociale e sistema autostradale*, in Autostrade: una esperienza italiana,1983, IPS, Roma, pp. 2-3.

EDOARDO BENASSAI

*Evoluzione dei traffici e degli impianti portuali**

Introduzione

I porti commerciali o mercantili costituiscono il punto di incontro (nodo) obbligato tra vettori marittimi, terrestri e qualche volta fluviali.

La funzione di un porto commerciale, funzione intesa come insieme delle predisposizioni, o dei comportamenti, prodotti da un elemento o da un sistema di elementi interconnessi, è rappresentata pertanto dalla accoglienza alla nave che trasporta la merce ed all'avviamento della merce per (o da) l'hinterland.

Per servire la nave e la merce il porto deve poter esser dotato di un insieme adeguato di strutture e di sovrastrutture, definendosi normalmente struttura il complesso, spesso imponente di opere di difesa dal moto ondoso, di bacini, banchine e piazzali e sovrastrutture le attrezzature di carico/scarico merce, di movimentazione e messa a deposito della stessa, di avviamento ai collegamenti viari e ferroviari.

Rappresentando i traffici marittimi un fattore essenziale per lo sviluppo economico, e spesso per la stessa sopravvivenza, di un dato territorio, i porti, agli stessi traffici adibiti, devono necessariamente esser dotati di strutture e sovrastrutture adeguate al volume ed importanza dei traffici presenti e prevedibili e ciò per il migliore espletamento della loro funzione. Per la pianificazione dei porti è necessaria, quindi, un'analisi della movimentazione delle merci e dei passeggeri che per essi transitano e dei mercati con cui gli stessi traffici interagiscono.In quel che segue una prima parte è dedicata ai traffici ed allo sviluppo tecnologico delle navi, una seconda ha per oggetto l'evoluzione degli impianti portuali che ospitano tali traffici nel contesto del territorio circostante.

Il tutto a far capo dall'inizio del XIX secolo che all'incirca coincide con l'avvento della macchina a vapore, cioè dal momento in cui l'importanza dei traffici marittimi assume rilievo tale da condizionare prima l'economia europea e, successivamente, l'economia mondiale.

I traffici

L'avvento della propulsione a vapore, in particolare nei trasporti marittimi, meno costosi di quelli terrestri determinò notoriamente una forte riduzione dei costi e dei tempi di trasporto e detta riduzione fu accompagnata da un incremento di affidabilità dei servizi prestati dal vettore marittimo.

Si constatò che tali vantaggi aumentavano per i trasporti di prodotti a basso valore per unità di peso (alimentari, materie prime industriali e destinate a produrre energia) e si incrementavano con la portata ovvero con il tonnellaggio medio del naviglio (tonnellata di stazza netta t.s.n., pari al volume dello spazio chiuso caricabile).

Si determinò così un ampliamento dei mercati e delle localizzazioni produttive. Per meglio rendersi conto dei vantaggi offerti dal trasporto via mare occorre soffermarsi su alcuni punti peculiari del vettore marittimo: portata e costi per itinerario, specializzazione e velocità della nave.

Portata e costi della nave

Viene qui eseguita prendendo spunto dalla letteratura esistente (U. MARCHESE, *Economia dei Trasporti Marittimi*, Genova, Bozzi, Vol I-2001),una breve ricognizione degli oneri economici attinenti ad un prefissato itinerario della nave:

- costi giornalieri fissi[1] che si ottengono dal prodotto dell'onere giornaliero per il numero dei giorni in navigazione e nei porti;

- costi giornalieri del combustibile e degli altri materiali di consumo, in navigazione, che si ottengono dal prodotto dell'onere giornaliero per i giorni di navigazione;

- costi giornalieri del combustibile e degli altri consumi in porto, che si ottengono dal prodotto dell'onere giornaliero per i giorni passati in porto;

- diritti portuali e dalle altre spese portuali inerenti alla nave.

Tutti questi costi variano con il variare della portata ma, complessivamente, questo insieme di costi cresce in misura meno che proporzionale all'aumentare della portata della nave.

A parità di velocità e di numero dei giorni passati in porto, i costi per ogni tonnellata di carico trasportata tendono a diminuire con l'aumento della portata utile. Tuttavia, un'altra categoria di oneri fa sentire la sua influenza:

le spese per le operazioni di imbarco e sbarco dei carichi trasportati.

Fino a quando i costi, per tonnellata di carico, di cui ai primi quattro punti diminuiscono più di quanto non aumentino i costi per tonnellata di cui all'ultimo punto, il costo a viaggio per tonnellata di carico diminuisce.

La crescita della portata si arresta quando la diminuzione dei costi per tonnellata di cui ai primi quattro punti equivale all'aumento dei costi per tonnellata di cui all'ultimo punto. Ad un successivo aumento della portata si riscontra un aumento dei costi a viaggio per tonnellata. Se l'impianto portuale è specializzato non è più possibile mantenere l'assunto di un numero costante dei giorni passati in porto con l'aumentare della portata.

La nave rimane in porto i giorni necessari per le operazioni non inerenti al carico, più il numero dei giorni risultante dal rapporto fra la portata della nave e la capacità giornaliera dell'impianto portuale. Cosicché i giorni in porto aumentano con il crescere della portata della nave. Se la nave deve restare in porto un numero di giorni crescente con l'aumentare della portata , la durata del viaggio aumenta e cresce il costo totale. Fino a quando tale aumento è proporzionalmente inferiore all'incremento della portata, i costi totali a viaggio per tonnellata di carico diminuiscono.

Ma quando l'aumento in questione cresce proporzionalmente più che l'in-

cremento della portata, i costi totali per tonnellata di carico prendono a crescere[2].

Specializzazione e velocità della nave

Gli impianti portuali sono da sempre caratterizzati dalla limitatezza di spazi a terra per deposito della merce. Ne risultano condizioni di vantaggio per quei settori merceologici (liquidi e minerali) i cui depositi non hanno bisogno di estese superfici a terra. Per tali settori si ha così la convenienza di un aumento della portata delle navi che li trasportano.

In effetti i trasporti petroliferi si svolgono su percorrenze spesso molto lunghe e possono sfuggire ai limiti dei costi crescenti degli spazi portuali e così la portata delle navi cisterna è arrivata a superare il mezzo milione di tonn.. Anche le porta-minerali hanno raggiunto portate elevate (fino a 200.000 tonnellate), grazie agli insediamenti di depositi costieri.

Lo sviluppo della portata del naviglio è da ricollegare, oltre che, naturalmente, alla lunghezza (crescente) delle percorrenze, alla specializzazione del ciclo di trasporto, ai flussi di traffico, alla capacità di decentrare gli spazi per lo stoccaggio e all'industrializzazione costiera. Ogni singola partita viaggiante su un'unità da carico generale può fruire delle economie di scala della nave, ma risente dell'aumento dei costi di imbarco e sbarco per tonnellata di carico, dovuto all'aumento della portata della nave stessa e alle lunghe soste in porto. Lo stesso tipo di carico, operato con navi speciali, può perdere i vantaggi delle economie di scala della nave ma, a motivo della specializzazione della nave stessa e della presenza di attrezzature apposite a terra, beneficia della riduzione dei costi per tonnellata dovuta al minore costo di imbarco e sbarco, e all'effetto della più breve sosta in porto.

Il volume di traffico in corrispondenza del quale la nave speciale diventa economicamente efficiente non è, generalmente, elevato. Questo spiega il motivo per cui viaggiano con risultati economici soddisfacenti navi speciali di piccola e media portata. Questo è dimostrato, per esempio, dallo sviluppo delle cisterne per il transito di prodotti chimici, delle navi specializzate per il trasporto di autoveicoli (*bulk car carriers*), delle porta-legname (*lumber carriers*), ecc. La continua lievitazione degli oneri di esercizio della navigazione di linea rende proibitiva la differenza dei costi di trasporto fra queste partite piccole e quelle viaggianti, a carico completo, con navi speciali.

È per questo motivo che si è determinata un'esplosione dei trasporti unitizzati: il trasporto a containers, a pallette, a traghetto e il sistema porta-chiatte. Tutti questi sistemi altro non sono se non trasporti alla rinfusa di unità di carico standardizzate, in grado di salire e scendere da bordo con mezzi propri o di essere operate con attrezzature appositamente studiate, cioè specializzate, a terra e/o a bordo. Il ciclo automezzo-traghetto è di più facile assestamento, ma incontra limiti dimensionali rispetto alla nave; viene sovente praticato congiuntamente ad altri trasporti unitizzati

(*containers*, pallette). Il sistema portachiatte esige un volume di traffico particolarmente elevato ed investimenti molto ingenti.

La velocità di esercizio della nave svolge due ruoli distinti: il primo è assimilabile a quello di un fattore di produzione (una data capacità annua di trasporto si può conseguire con diverse combinazioni di portata e velocità), il secondo è quello di un elemento che qualifica e differenzia il servizio offerto. I tipi di nave più sofisticati tendono ad avere una maggiore velocità a parità di portata, anche se i costi connessi alla propulsione aumentano rapidamente al crescere della velocità di esercizio.

Tuttavia, quando si arriva alle navi che trasportano carichi dal valore unitario elevato, il mercato diventa sensibile alle differenze di velocità ed alla frequenza del servizio offerto. In tal caso, si cerca una sorta di combinazione ottimale dei fattori di portata, velocità e frequenza del servizio. La velocità ha certamente importanza nel mercato crocieristico.

Trasporti marittimi e sviluppo tecnologico

All'inizio del secolo XIX l'innovazione della navigazione a vapore, come si è detto, determinò la diminuzione dei costi e dei tempi di trasporto e l'affermazione di servizi di linea efficienti, da cui scaturirono l'ampliamento dei mercati e delle localizzazioni produttive.

I trasporti marittimi, per motivi di costo, presentarono un vantaggio crescente per i prodotti a basso valore per unità di peso, viaggianti in grandi partite unitarie (prodotti alimentari, materie prime industriali, materie energetiche); in altri termini un vantaggio che si incrementò con il tonnellaggio medio del naviglio. Col tempo si perfezionarono le macchine a cominciare dalla comparsa dell'elica al posto della ruota per la propulsione.

Nella seconda metà del secolo XIX le macchine alternative ad espansione diedero una soddisfacente soluzione al problema del consumo di carbone per la navigazione e dell'ingombro a bordo, ampliando altresì il raggio di autonomia della nave.

Tra la fine del secolo e l'inizio del 1900 arrivò la turbina e si realizzò nel mondo una consistente rete di stazioni di bunkeraggio (carbone).

In merito alla struttura della nave il ferro nel frattempo sostituì il legno e garantì un miglior rapporto tra portata e dislocamento a pieno carico, e un più lungo periodo di ammor-tamento, di quanto fosse consentito dal legno.

La seconda metà del secolo XIX si caratterizzò altresì per un ingente numero di innovazioni di carattere infrastrutturale destinato ad avere consistenti riflessi sui costi e i prezzi del trasporto. L'apertura del Canale di Suez (1869) restituì al Mediterraneo una posizione centrale nelle grandi correnti di traffico Oriente Occidente.

Verso la fine del secolo XIX venne aperto alla navigazione il Canale di Kiel (1895) che tagliò lo Jutland collegando direttamente il Mare del Nord ed il Baltico.

Lo sviluppo manifatturiero, nei Paesi in cui si realizzò, provocò un rilevante aumento del fabbisogno di materie prime ed energetiche e uno spostamento di popolazioni e forze di lavoro dalle campagne alle città. Il trasporto delle tradizionali spezie, droghe e coloniali, e dei prodotti pregiati, crebbe con l'aumento della popolazione e lo sviluppo industriale.

Inoltre si determinò un ingente trasporto di persone dovuto ai movimenti migratori dai Paesi più densamente popolati dell'Europa centrale e occidentale, verso alcune economie nuove d'oltremare. Adesso si aggiunse il trasporto di carichi parziali di materie prime, e di prodotti finiti dell'industria. Con la propulsione a vapore si stabilirono moderni servizi regolari di linea. Le prime Conferences marittime (anni settanta del secolo XIX) ebbero la finalità di evitare che la concorrenza si risolvesse in perdite per le imprese e procurasse conseguente instabilità del quadro dei servizi offerti. Tra le altre circostanze significative vanno menzionate l'avvio dei trasporti di petrolio, a partire dagli anni sessanta del secolo XIX, ed il diffondersi del trasporto di merci deperibili su navi dotate di apparati per la refrigerazione.

Negli anni venti del '900, si ebbe un periodo di espansione per i traffici via mare, ma la grande crisi del 1929-1933 e le politiche autarchiche, influenzarono fortemente i trasporti marittimi internazionali. La seconda guerra mondiale ebbe pesanti conseguenze sugli scambi via mare e, al termine, si presentano problemi di ricostruzione e di equilibrio dei pagamenti con l'estero assai rilevanti. L'esperienza degli anni trenta e la consapevolezza di non dover ritornare ai nazionalismi economici di quel periodo, tuttavia, imposero un orientamento verso il libero scambio che produrrà effetti positivi di grande significato. Il conflitto portò con sé il fatto innovativo della standardizzazione e parziale prefabbricazione della produzione nell'industria cantieristica nordamericana, dal quale derivano alcuni tipi di nave, come le Liberty per i carichi secchi e le T2 per i petroli, che avranno largo impiego nei traffici del tempo di pace e consentiranno agli Stati Uniti di aiutare la ricostruzione delle flotte danneggiate dalla guerra.

L'avvento del diesel, nella propulsione navale, si accompagnò all'avvio di un altro importante processo: l'uso dei combustibili derivati dal petrolio, in luogo del carbone. Dopo la ricostruzione e l'assestamento post-bellico, l'incremento delle popolazioni e dei redditi, la liberalizzazione degli scambi, la politica di sostegno ai paesi in via di sviluppo, la più celere e agile circolazione delle persone e delle idee accompagnano il traffico marittimo in una lunga ondata di progresso.

Fra il 1950 ed il 1974 (periodo della grande crescita), il tonnellaggio mercantile aumentò del 5.6%. Si ebbe un miglioramento qualitativo della flotta mondiale, aumenti della velocità, caratteristiche costruttive in grado di accelerare la movimentazione dei carichi ed una maggiore meccanizzazione e specializzazione delle attrezzature nei porti. Il ciclo di trasporto dei petroli-petroliere,

depositi costieri, oleodotti–per la fluidità e l'agilità economico–operativa con cui si caratterizzò fornì un modello per le altre correnti di traffico.

Il modello venne presto adattato per il trasporto dei gas naturali liquefatti. La riduzione del carico in forma liquida, per il trasporto marittimo e la manipolazione portuale, venne praticata per altri prodotti, particolarmente (ma non esclusi-vamente) nel campo dell'industria chimica e petrolchimica: gas di petrolio liquefatti, zolfo, fosforo, ecc… In altri casi il prodotto fu fatto viaggiare in serbatoi e poi manipolato nei porti diluito in acqua, sulla scorta di una collaudata esperienza scandinava nei trasporti di polpa di legno (la tecnica della noodle ship) e della ricerca applicata all'industria in campo siderurgico (la tecnica dello *slurry*, minerali ridotti in fanghiglia).

I porti commerciali: evoluzione planimetrica

Con l'aumento dei traffici le strutture e gli impianti portuali si sono progressivamente estesi sul territorio adiacente, spesso con sacrificio dell'ambiente, sia litoraneo e sia dell'entroterra (grandi autostrade e ferrovie, viadotti, zone di deposito: *interporti*), sacrificio giustificato ove venga riconosciuta la condizionante importanza delle funzioni adempiute. L'estendersi dei porti commerciali di rilievo può essere messo in evidenza considerando la struttura del porto di Genova risultante negli anni 1890 dopo l'attuazione di un primo grande piano di ampliamento e di adeguamento. È interessante osservare come la disposizione portuale di fig. 1 (nella quale la forma arcuata corrisponde all'impianto portuale originario) privilegi soprattutto lo *sviluppo degli accosti*, distribuiti su un *notevole numero di sporgenti*, però di limitata lunghezza e larghezza, e con scarsissima considerazione dell'area dei *piazzali di riva*.

L'operatività di un siffatto complesso portuale, risultò subito limitata anche per la forma arcuata, del tutto inadatta ad un razionale *impianto ferroviario*, che si andava all'epoca rapidamente affermando come elemento di primaria importanza per l'espletamento di una delle funzioni essenziali dell'esercizio portuale: l'avviamento delle merci da/per l'interland. Del tutto insufficiente risultò anche l'area a disposizione per zone, coperte e scoperte, *di deposito merci*.

Il potenziamento delle strutture portuali, richiesto per sopperire allo sviluppo tecnologico e di dilatazione della richiesta di trasporto marittimo può essere messo in evidenza confrontando la situazione del porto di Genova degli anni 1890, già considerata nella fig. 1, con quella che si è andata sviluppando negli anni successivi sino all'anno 1950, (Fig. 2).Tale potenziamento si rende evidente anche per il Porto di Napoli confrontando l'impianto portuale di Fig. 4 con quello che si riscontra prima della seconda guerra mondiale nel quale fu dato spazio a sporgenti muniti di raccordo ferroviario e di magazzini di deposito.

Ancora più esigente, in termini di ampliamento e di adeguamento delle strutture portuali è risultato per i porti il *ciclo di evoluzione della grande crescita*

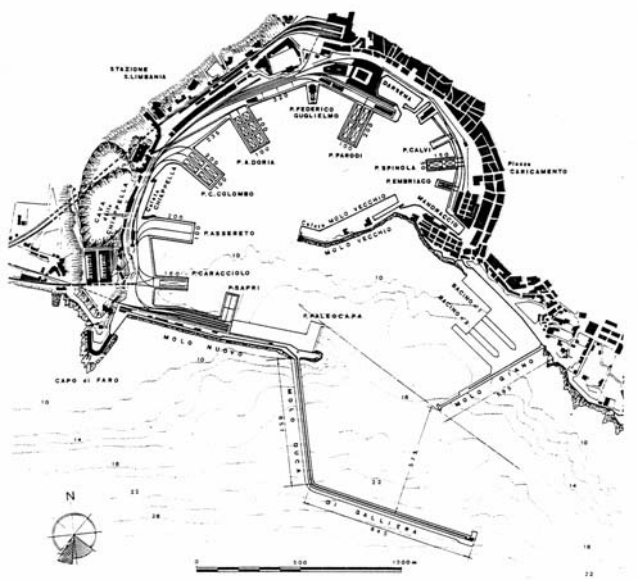


Fig. 1 – Porto di Genova nel 1890

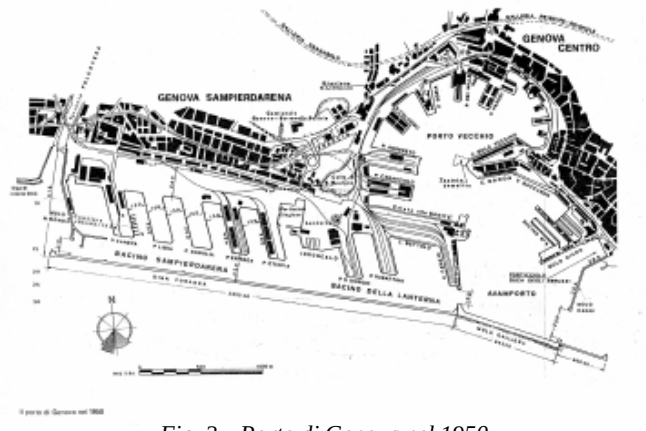


Fig. 2 – Porto di Genova nel 1950

esploso nel periodo postbellico, negli anni cinquanta, con una serie di fenomeni che hanno decisamente modificato i trasporti navali*: il gigantismo navale e la specializzazione navale, l'unitizzazione dei carichi, i traffici intermodali, e la conseguente specializzazione delle calate, o specializzazione portuale.*

Il *gigantismo navale* è da ascriversi a vari fattori interagenti, i principali dei quali sono:

- L'enorme aumento della richiesta di oli minerali e di carbone, da *trasportare* via mare *anche a grandissime distanze* dai paesi produttori ai paesi industrializzati.

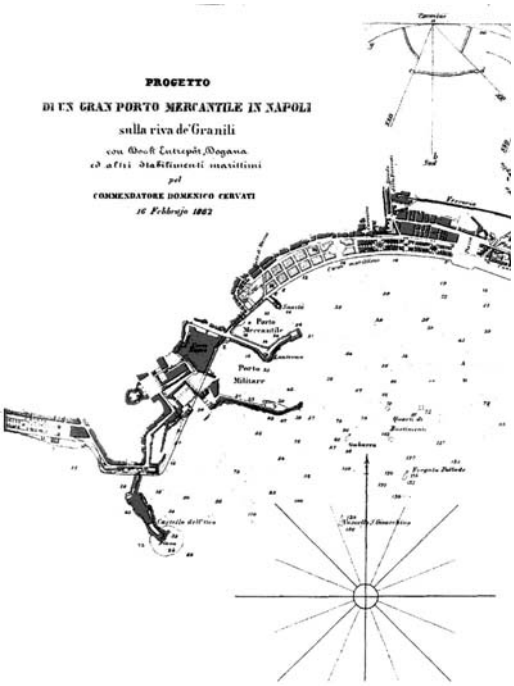


Fig. 3 – Porto di Napoli nel 1862

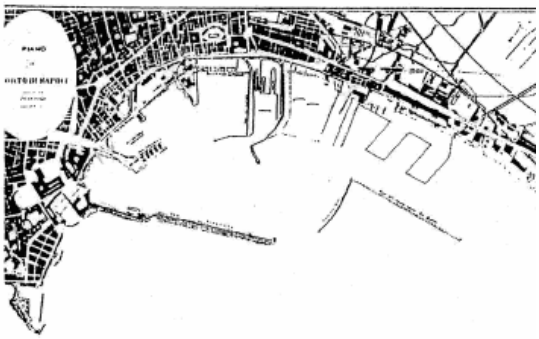


Fig. 4 – Porto di Napoli nel 1933

▪ La sensibile diminuzione del costo a tonn di merce trasportata su nave al crescere della portata della nave e quanto è più lungo il percorso marittimo.

Al crescere dei volumi di merce trasportati, dopo gli anni ’50, si andò pure accrescendo la richiesta del commercio e di navi non solamente più grandi ma pure con attrezzature e disposizioni di bordo che facilitassero il trasporto e la movimentazione delle merci. Per riassumere in breve: alle navi cargo praticamente indifferenziate dei decenni precedenti vennero a sostituirsi *navi mineraliere*, (Fig. 5 dimensioni principali di navi ore e bulk carrier), *navi carbonie-*

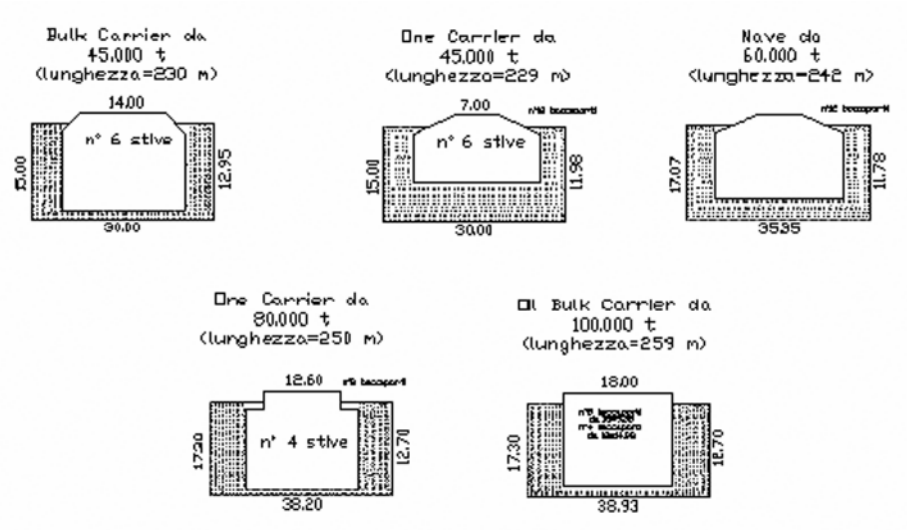


Fig. 5 – Dimensioni principali di navi ore e bulk carrier.

re, coral ship, e quindi le *navi combinate o miste*, navi che possono trasportare merci di vario tipo, solitamente rinfuse liquide in un viaggio e rinfuse secche a ritorno, nonché navi per trasporti speciali (bananiere, primizie, frigorifere, vinacciere, ecc.) *navi graniere, cementiere* fino alle navi *per trasporto di gas liquefatti* e navi *metaniere*. Col ricordare le navi ore carrier si è fatto implicitamente riferimento alla *specializzazione navale*, fenomeno al gigantismo strettamente correlato ed interagente. Poiché la funzione dell'impianto portuale è rappresentata dall'accoglienza alla nave, i porti dovettero adattarsi alle nuove esigenze dei traffici.

Strutture di accosto: funzioni ed esigenze

La calata costituisce un sistema portuale che ingloba tutte le strutture e gli impianti necessari per il ricevimento della nave e per il trasferimento della merce a (o da) ai vettori terrestri. Nella configurazione funzionale più completa la calata comprende una serie di sistemi parziali o subsistemi, di calata, ciascuno più omogeneo nei riguardi tecnologici ed operativi *però tutti tra loro strettamente coordinati ed interagenti* in un complesso funzionale, articolato, *ma fluido* di movimentazione della merce. I subsistemi di calata possono così distinguersi:

- *accosto delle navi;*
- *imbarco sbarco delle merci;*
- *trasferimento diretto delle merci a mezzo condotte* ovvero *al vettore, navale o terrestre,* di allontanamento dal porto (o viceversa);
- *trasferimento delle merci a deposito;*
- *deposito delle merci* (e relative operazioni);
- *ripresa da deposito;*

- *spedizione delle merci* (con vettori di diversi tipi, con condotte, con teleferiche - etc.) e relative infrastrutture dei collegamenti: viari, ferroviari e idroviari.
- *servizi complementari*.

Il trasferimento diretto delle merci al vettore terrestre, che riduce le operazioni di deposito e poi la loro ripresa (ovvero il ciclo inverso per merci provenienti da terra) e che sotto vari aspetti rappresenta l'intento della moderna portualità, non può facilmente venir generalizzato per tutti i tipi di merce. È da rilevare come la presenza di un deposito, offra in molti casi il vantaggio di poter far funzionare le attrezzature di carico/scarico e di messa portualità moderna la presenza di grandi piazzali di calata costituisca, in generale, un requisito essenziale per assicurare la funzionalità della struttura. È il caso, per esempio, delle calate per il traffico navi tipo Ro/ro, traffici ove, di principio, la merce è mobile e non bisognosa di deposito, ma che devono essere in grado di accogliere sia pure per breve tempo l'intiera linea di carico della nave. Come noto in tempi recenti a modificare radicalmente il trasporto delle merci varie e l'organizzazione ed esercizio delle relative calate è sopravvenuta il fenomeno *dell'unitizzazione dei carichi* e dei *traffici intermodali*.

Per ricordare in breve: si definisce unità di carico (unit load) un'unità di dimensioni standard, a cui viene ricondotto il carico assemblando piccoli colli; di conseguenza anche di varie dimensioni, o scomponendo un grande carico. *Il carico unitizzato* può esser manipolato meccanicamente riducendo la domanda di mano d'opera e rendendo sensibilmente più rapide le procedure, la movimentazione e in definitiva le soste delle navi. Si distingue *l'unità di carico* o se si vuole il modulo tipo di confezionamento (per esempio contenitore) dal carico unitario inteso come insieme di unità di carico diretto verso una stessa direzione (per esempio automezzo che sale su nave traghetto per proseguire).

Si parla di rottura di carico, quando il carico unitario (cioè l'insieme di più unità di carico raggruppate) viene scomposto nelle varie unità, o moduli, componenti.E' invalso l'uso di definire rotture di carico, pure la specifica operazione di apertura di un unità di carico per manipolare la merce che contiene (è il classico caso di deconfezionamento del contenitore). Il *ciclo di trasporto unitizzato* fa precipuamente riferimento all'assenza di rotture di carico tra la fase di confezionamento e quella di deconfezionamento nei passare da un vettore all'altro trasporto multimodale.

Il ciclo può comprendere una sola operazione di carico e poi altra di scarico del vettore, o ciclo semplice, ovvero risultare complessa comprendendo una pluralità di operazioni e, di solito, una pluralità di vettori. Un primo impiego dell'unitizzazione dei carichi si è avuto negli anni '50 con la diffusione, su modello americano, della tecnica della pallettizzazione per una più spedita manipolazione delle merci varie, dalla imbracatura in stiva a mezzo delle gru a gancio, portata $\leq$ 3 t, ad una più rapida

movimentazione sul piano di calata ed in deposito con impiego dei carrelli a forcale (fork lift truck).

Come noto il contenitore, o container è un unità di carico a forma di parallelepipedo atta a trasportare merce varia (ma pure rinfuse solide o liquide, se opportunamente contenute) su i più vari tipi di vettori terrestri e marittimi.

marittimi. I contenitori hanno tra l'altro caratteristiche di fondamentale importanza per la manipolazione su calate quali: misure di ingombro standardizzate e dispostivi di sollevamento e di bloccaggio parimenti normalizzate e pertanto possono essere sollevati e movimentati con attrezzature presenti in tutti i porti del mondo.

Il container rappresenta, forse, lo strumento più perfezionato fra quelli disponibili per il traffico dei carichi non alla rinfusa, ma richiede un volume di traffico sensibilmente maggiore di quello delle linee tradizionali, elevati investimenti per nave e per l'assetto del servizio, ed inoltre ampi spazi a terra.

Lo sforzo per assicurare il massimo possibile di sincronia tra afflusso e deflusso dei containers in porto, le partecipazioni acquisite dalle compagnie marittime nei trasporti terrestri, gli accordi presi con le ferrovie, i servizi di alimentazione fra porti di raccolta e porti di trasbordo danno un'idea eloquente dei problemi che devono essere risolti per questo tipo di trasporto.

Con riferimento alle caratteristiche funzionali si distinguono contenitori per usi generali e per usi speciali (significativi tra questi gli isotermici ed i frigorife-

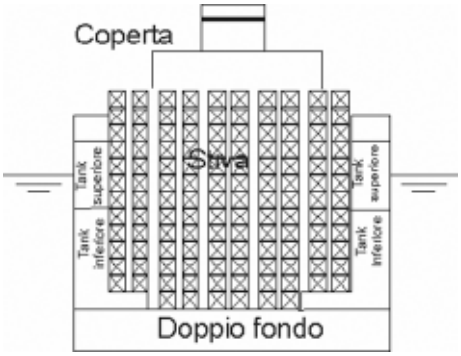


Figura 6 – Nave full container

ri, il cui impiego è tuttora in espansione), di questo si deve tenere conto nella disposizione a deposito.

Il traffico contenitori sin dai primi anni della sua introduzione (1958) indicò chiaramente che per sfruttarne appieno le caratteristiche innovative, fosse necessario l'impiego di navi specializzate appositamente attrezzate all'inizio navi a caricamento verticale, navi tipo lift-on/lift-off (navi cellulari dette pure navi full container, Fig. 6).

Subito dopo navi a movimentazione orizzontale (deduzione dalle già esistenti navi traghetto ferroviari), o navi Roll-on/roll-off, navi Ro/ro. In un rapidissimo incremento dei nuovi traffici specializzati, ben presto le prime navi porta container attraversavano l'Atlantico, rapido pure l'aumento delle loro dimensioni.

Le cosiddette navi della prima generazione (navi della portata di circa 750 TEU lunghezza minore di 180 m, pescaggio a carico sino a 9 m) si diffuse nella metà degli anni '60 (il primo accosto nel Mediterraneo avvenne a Genova neI 1968), la seconda genera-

zione (capacità sino a 1200/1500 TEU, lunghezza 240 m, pescaggio e carico 9/11 m) ebbe inizio nella seconda metà degli anni '60, la terza generazione (capacità che nelle navi maggiori raggiunge i 3000 TEU, lunghezza 250/290 m, pescaggio a pieno carico m 11/13), ha inizio con gli anni 70.

Passando dalla prima alla terza generazione la portata lorda delle navi si è elevata dalle 14.000 alle 40.000 DWT (DeadWeight Tonnage – Portata Lorda), e nel contempo la loro lunghezza si è accresciuta del 50%, la larghezza dai 25 ai 32 m (praticamente i limiti d'agibilità di transito al canale di Panama, navi cosiddette PANAMAX ed il pescaggio carico sino a m 13) mettendo in crisi larga parte delle esistenti strutture portuali per il traffico delle merci varie di vecchio impianto, e richiedendo adatte strutture di nuova concezione.

[*] La seconda parte della nota è riportata nel Tomo secondo, a pag. 1511.

[1] Il costo giornaliero fisso è costituito da ammortamenti ed interessi passivi sul capitale investito, spese di manutenzione e riparazione, assicurazioni, spese generali, equipaggio, tutti valutati in ragione d'anno e divisi per 365.

[2] È il caso delle navi speciali e degli impianti portuali specializzati per gruppi di merci.

Filippo Nieddu

Un manoscritto anonimo di esperienze idrauliche

Introduzione

Un quaderno manoscritto, di dimensioni cm 15,8 x 11,9 x 1,8, legato con una copertina semirigida in pergamena, che reca sul dorso il titolo: *Compendio della pratica per misurare le acque correnti* è conservato nei fondi archivistici del CEMED, il Centro Museo e Documentazione Storica del Politecnico di Torino.

Mancano notazioni evidenti che possano fare risalire in maniera esplicita al compilatore; tuttavia, da considerazioni desunte dal contenuto del quaderno, si può qui anticipare che l'autore può verosimilmente essere individuato in Prospero Richelmy, professore di Meccanica e Idraulica, nonché direttore della Scuola di applicazione per gli ingegneri di Torino.

La "misura delle acque correnti"

L'acqua è da sempre risorsa preziosa, sia per il suo utilizzo a fini igienico-sanitari, sia come fonte di energia; nacque perciò molto presto (sin dal XV secolo in maniera strutturata) la ricerca di metodi[1]. utili alla quantificazione della portata dei flussi d'acqua, affinché tecnici, amministratori ed utilizzatori potessero attribuire valore economico alle partizioni dei corsi d'acqua.

Le esigenze pratiche che portarono a questo fiorire di metodi si avvertirono sin dalla fine del Trecento, come chiarisce Escobar[2]: è l'Italia dei comuni ad estendere l'opera degli uomini d'ingegno dal mero controllo dell'acqua alla sua misurazione, ciò che richiede un approccio di tipo quasi-scientifico. E d'altra parte, lo stesso Engels chiarisce: *tutta l'idrostatica è uscita dal bisogno di regolare i torrenti in Italia nei secoli XVI e XVII.*[3]

La sperimentazione è sempre stata parte integrante dello studio dell'idrodinamica, dai primi trattati di dinamica dell'acqua, elaborati durante il Medioevo in Veneto e Lombardia, e basati in parte sull'esperienza diretta ed in parte sull'assimilazione di trattati derivanti dal mondo antico, sino alle elaboratissime trattazioni matematiche della scuola torinese di idraulica di metà Ottocento.

Fu Leonardo il primo a dotare di una certa sistematicità lo studio della "foronomia" (la scienza dell'efflusso dei liquidi attraverso orifizi posti nelle pareti di un serbatoio o di una canalizzazione) e della dinamica delle correnti. Le intuizioni del grande scienziato riguardarono soprattutto le luci a battente, ossia le aperture praticate sulle pareti laterali di recipienti, e l'influenza della resistenza al moto da parte delle pareti bagnate. Per quanto riguarda le prime, accurati e precisi disegni descrivono l'andamento delle correnti in uscita dai fori sulle pareti laterali di recipienti; riguardo al flusso dell'acqua in presenza di sponde,

nell'opera *Sul moto e la misura delle acque* egli diede prova di aver compreso con buona approssimazione la distribuzione delle velocità nella sezione retta di una corrente. Proprio in funzione delle osservazioni si arrivò già allora a determinare come il massimo della velocità della corrente sia localizzato in superficie, e il minimo in prossimità del fondo, a causa dell'attrito del flusso con le pareti. Indicativa è la massima che Leonardo pose a proposito di questi studi, "quando si tratta del flusso dell'acqua occorre prima fare ricorso all'esperienza e solo successivamente alla ragione"[4], e che si lega idealmente allo stesso titolo del quaderno.

Per quanto concerne gli studi di dinamica delle correnti, si devono agli studiosi appena citati la determinazione quantitativa dei coefficienti di contrazione della vena (pari a $1/\sqrt{2}$), di propor-zionalità tra velocità di efflusso e radice quadrata del carico (pari a $\sqrt{2g}$) e - con Newton - della portata di efflusso ($Q = \mu_b \sigma \sqrt{2gh}$).

Parallelamente, nel XVII secolo importanti apporti furono quelli dell'abate Castelli e di Edme Mariotte per quanto riguarda la teoria della continuità delle correnti permanenti, ma soprattutto quello di Domenico Guglielmini, che comprese la legge della distribuzione delle velocità superficiali in una luce di fondo verso un canale inclinato. Il secondo passo di Guglielmini fu quello di capire che, dopo un primo tratto, ha luogo un equilibrio fra l'accelerazione dovuta all'inclinazione del fondo e la decelerazione causata dalle pareti: ne risulta un moto uniforme, caratterizzato da velocità costante. In seguito a questi risultati egli tentò di arrivare alla determinazione quantitativa delle leggi di resistenza, che sarà il fondamentale problema dell'idraulica sperimentale dei cento anni a venire. Il suo risultato, pur affetto da basi errate, fu in prima approssimazione corretto, legando proporzionalmente la portata in un canale a sezione rettangolare alla profondità della corrente elevata a una potenza di 3/2.

Bernard Forest de Bélidor per primo applicò l'uso del calcolo integrale alla risoluzione di problemi di idraulica pratica, nella sua *Architecture hydraulique*, e tale fu l'importanza della sua opera che l'ultima edizione francese fu quella del 1830, 93 anni successiva alla prima. Per l'estensore del *Compendio* questa era l'opera più avanzata in materia.

Altra parola chiave presente nel titolo del *Compendio* è "misura": concetto fondamentale, come ha già chiarito la citazione di Escobar, legato alla regolamentazione dell'uso di un bene che ha da sempre avuto grande importanza economica e che sarà al centro della prima industrializzazione. A misura e a quantità corrispondono quantificazione monetaria, turnazione dei rifornimenti, di divisione della portata. Prospero Richelmy, che resse la cattedra di Meccanica applicata e Idraulica pratica della Scuola di Applicazione per ingegneri di Torino per vent'anni dalla sua costituzione avvenuta nel 1860, non tralascia di chiarire i diversi tipi di suddivisione della quantità di acqua a disposizione[5]:

La distribuzione della portata di un canale può farsi in varii modi. Può ciascun utente aver diritto ad una quota parte della portata, può taluno d'essi essere tassato per una quantità d'acqua fissa rimanendo ad esclusivo profitto o danno degli altri ogni aumento o diminuzione della portata. Dicesi la prima divisione proporzionale, la seconda concessione a bocca tassata. Le divisioni proporzionali si fanno in due modi, periodico e continuo. Periodico quando ogni utente gode tutta la portata del canale per un certo numero d'ore ogni tanti giorni; continuo quando ha continuamente una parte soltanto dell'intiera portata. Nella divisione periodica si stabilisce anzitutto la durata del torno, e quella della competenza di ciascun utente, cioè dicesi stabillire un orario. La durata totale del torno dicesi ruota; il tempo per cui un utente si serve della portata del canale, chiamasi la sua competenza oraria. La quantità d'acqua che riceve in tal tempo, diremo la sua competenza assoluta. Dicasi:
R la ruota;
Q la portata del canale;
H la competenza oraria di un utente;
C la sua competenza assoluta;
si avrà:
*C = Q * H / R.*

Infine, sempre nel titolo del *Compendio*, si parla di acque *correnti*. Attributo non secondario, poiché obbliga chiunque voglia addentrarsi nello studio della materia ad utilizzare fini strumenti teorici. Se infatti sin dall'Antichità si erano sviluppati metodi precisi ed efficacemente utilizzabili per misurare le quantità d'acqua immota, la "misura delle acque correnti" sarà uno dei motivi della stretta connessione tra matematica (specialmente analisi differenziale) e idrodinamica. La piena presa di coscienza della necessità di questa stretta unione avverrà soltanto nella seconda metà del XVIII secolo, ma già *in nuce* nell'opera di Frontino si può cogliere la necessità di considerare non solamente la forma del corso d'acqua, ma anche l'impeto con il quale essa scorre.

Lo stesso Escobar afferma in ogni modo come l'applicazione generalizzata delle formulazioni teoriche dovrà ancora attendere epoche successive:

Effettivamente considerazioni, anche se approssimative, sull'incidenza della "terza dimensione" dell'acqua corrente - la velocità - nel determinare variazioni nella portata di un alveo pur di dimensioni costanti, entrarono nella tradizione empirica per l'irrigazione in Lombardia e nel Veneto tra i secoli XV e XVI, prima di aver raggiunto una chiara formulazione teorica. Anche quando, circa due secoli più tardi con l'opera del Castelli, questo risultato teorico fu raggiunto in modo concettualmente pressoché compiuto, continuò a lungo a prevalere nella prassi l'applicazione di approssimazioni alla teoria accumulate in questa tradizione "parallela" a quella scientifica.[6]

Occorrerà un'evoluzione degli strumenti (legata, evidentemente, alla comparsa e all'utilizzo dei nuovi metodi matematici) perché avvenga l'appropriazione di quella "terza dimensione".

La "scuola piemontese"

Guardando alle maggiori figure che punteggiano la storia della idrodinamica piemontese, si evince sempre un forte legame con le "matematiche", anche se spesso sono sufficienti per la pratica nozioni "elementari" ancora lontane dalla "analisi sublime" di Luigi Lagrange e di Giorgio Bidone.

Le operazioni in questo compendio descritte sono per la maggior parte dimostrate dalli scrittori di questa materia à suo luogo cittati, nel resto dove non siano cose di per se evidenti, se ne rende ragione; si suppone però che chi dovrà praticarle sia per lo meno esercitato nell'aritmetica, e geometria pratica, e che non passi alle cose seguenti prima d'avere ben apposte le precedenti.[7]

Domenico Guglielmini, citato frequentemente nel *Compendio*, fu docente di matematica e idraulica fluviale a Bologna, ed autore di un "trattato fisico matematico della natura dei fiumi"[8]; Francesco Domenico Michelotti, il primo responsabile dello Stabilimento della Parella[9], fu professore di matematica presso l'Università di Torino; Giovanni Plana, importante figura della scuola di idraulica piemontese, mise anche a punto, in qualità di astronomo regio, una teoria completa del moto della Luna; infine, Giorgio Bidone, forse la figura di maggior spicco in questo ambito, si laureò in matematica e ingegneria nel 1803: la sua opera è così sintetizzata da Redondi:

Le indagini di Bidone dovevano infatti tenere conto di un complesso insieme di dati osservativi perché si aveva a che fare con un fenomeno reale e non con una sua idealizzazione. Così, dopo aver verificato per via sperimentale che la propagazione a monte del rigurgito si accompagnava a un aumento del livello dell'acqua, Bidone riscontrava la forma convessa della superficie liquida e otteneva per via puramente matematica le equazioni per descrivere l'estensione e l'altezza del rigurgito. Le equazioni ottenute in tal modo si dimostravano poi estendibili anche allo studio teorico della propagazione del rigurgito in casi particolari.[10]

Per gli scienziati torinesi i fondamenti della meccanica newtoniana si affinano alla scuola francese. Eccettuato il Plana, ammesso all'École Polytechnique già nel 1800 per aver frequentato un'*Ecole Centrale* creata dal Direttorio a Grenoble, a partire dal 1802 fu possibile anche per gli studenti piemontesi iscriversi al prestigioso istituto parigino. La colonia piemontese fu una delle più numerose, con 22 ammessi tra il 1804 ed il 1813 (a fronte di tre genovesi ed un allievo proveniente da Amsterdam).

Lo stabilimento della Parella

Le analisi compiute dalla scuola piemontese di idraulica non sarebbero state possibili senza la disponibilità di uno "stabilimento" dove svolgere le necessarie attività sperimentali. Nel 1765, sotto il regno di Carlo Emanuele III, è fondato lo "Stabilimento per le sperienze idrauliche" presso la cascina della Parella, situata ad ovest della città. Fran-

cesco Domenico Michelotti sovrintende alla costruzione della torre idraulica, e descrive il complesso puntando l'accento sulle caratteristiche innovative e uniche della struttura.[11]

Anche Jean-Nicolas-Pierre Hachette[12], quando si troverà a descrivere la Parella compirà un'opera di pura traduzione, appoggiandosi completamente alla relazione di Michelotti. Nello scritto di Hachette, tuttavia, si può individuare l'entusiasmo per un laboratorio di valore europeo, che lo stesso accademico avrebbe visto come modello per un analogo da situarsi nei pressi di Parigi, servito dalle acque del canale dell'Ourc, al fine di contribuire al progresso di una scienza, come l'idraulica, così importante per un paese di grande tradizione agricola come la Francia.

La funzione dello stabilimento della Parella cesserà solamente dal 1869, quando per opera dello stesso Prospero Richelmy si inizierà la costruzione di un nuovo stabilimento per gli esperimenti idraulici, questa volta situato presso la sede della Scuola di applicazione per ingegneri, al Castello del Valentino.

Il Compendio

Il *Compendio* si divide in due parti principali: una prima scritta ad inchiostro comprende sia il *Compendio* propriamente detto, sia alcuni metodi di calcolo seguiti da alcune applicazioni pratiche. Sebbene la seconda di queste due sezioni tratti di argomenti affrontati anche nella prima, la cesura tra le due è netta per la presenza al termine della prima di un indice degli argomenti affrontati.La seconda parte è scritta a matita, e sebbene non presenti spunti di rilievo dal punto di vista teorico, è essenziale per l'identificazione dell'autore del *Compendio*.

Oltre ad alcuni schemi di calcolo e ad altri paragrafi di importanza secondaria, sono presenti i resoconti di esercitazioni svolte nell'ambito del corso di Meccanica applicata alle macchine e Idraulica pratica.

Passati i due primi Capi nei quali l'autore, sulla base per lo più di riferimenti a Guglielmini, analizza prima i principi generali della "misura delle acque", quindi quelli della dinamica dei solidi soggetti alla forza di gravità, i capitoli seguenti (Capi 3÷6) riguardano più propriamente l'analisi del movimento e della quantizzazione dei volumi d'acqua che si trovano nei corsi naturali o nei canali. Il tutto è corredato dalla descrizione degli strumenti utili per la determinazione della velocità dell'acqua: due versioni di un archipendolo per la misurazione della velocità dell'acqua, ed il tubo di Pitôt.

Il *Compendio* prosegue con due capitoli pienamente inseriti nella struttura classica delle opere d'idraulica edite da un secolo e mezzo a quella parte. Il Capo Settimo, *Dell'accrescimento, o scemamento delle altezze cagionate dall'unione, o diramazione dei Fiumi*, tratta degli argomenti spiegati sino a quel segno, ma questa volta applicati al caso più complesso dovuto all'interferenza delle correnti di due corsi d'acqua. Il Capo Ottavo tratta invece *della distribuzione delle Acque*.

Secondo lo schema delle opere classiche dell'idraulica, l'autore avrebbe dovuto esporre i principi dell'architettura idraulica, tanto più che, avendo di fronte a sé, tra le altre, l'omonima opera di Bélidor, la prosecuzione sarebbe stata naturale. Un indice ben compilato segna invece la fine del *Compendio* propriamente detto. Si dimostra così l'interesse eminentemente teorico di chi scrive nei confronti della misura delle acque.

La seconda parte del quaderno

Le pagine vergate a inchiostro terminano a pag. [74], e già la numerazione si interrompe a quello numerato con la cifra 71. la pag. [75] è bianca e dal seguente si iniziano le pagine scritte col lapis. Esse costituiscono senza dubbio un'aggiunta, una sorta di "compendio" al *Compendio*, una serie di note e di appunti che il proprietario (autore?) del volumetto redasse certamente in un tempo successivo.

La "ricerca dei coefficienti del reometro" è il tema delle note con cui si avviano queste pagine ricche di formule, ma anche di calcoli e soprattutto delle tabelle in cui sono raccolte le misurazioni effettuate da studenti. Si tratta dei risultati di esperimenti effettuati a mezzo di un reometro (strumento per misurare la velocità dell'acqua) da studenti, che da controlli effettuati nei registri degli iscritti alla Scuola di applicazione per gl'ingegneri si rivelano essere tutti immatricolati nell'anno accademico 1863/64. Poiché a pag. [88] appare l'unica data presente nel quaderno ("21 Maggio 1864"), è facile intuire che colui che scrive le note è il docente o un assistente di un corso di Idraulica. Nel periodo in questione l'unico corso della Scuola di applicazione che trattasse materia di idraulica era il corso di Meccanica applicata alle macchine e Idraulica pratica, e tale corso fu tenuto dal professor Prospero Richelmy dalla fondazione della Scuola (avvenuta nel 1860) sino al 1880.

La calligrafia del redattore del *Compendio* è la medesima con cui è scritta la seconda parte, e un confronto con uno scritto autografo e firmato del Richelmy[13] non lascia ulteriori dubbi al fatto che l'autore e redattore del *Compendio* sia proprio il Direttore della Scuola.

Il professor Prospero Richelmy: alcuni cenni biografici

Prospero Richelmy nacque a Torino il 28 luglio 1813. Intraprese gli studi universitari dedicandosi alla matematica, e le sue capacità furono da subito notate da Plana, Giulio e Bidone. Conseguì giovanissimo (20 luglio 1833) il diploma in Ingegneria e Matematica. Il 5 luglio del 1838 divenne dottore aggregato alla facoltà di Scienze Fisiche e Matematiche; divenne professore sostituito di Idraulica nell'anno scolastico 1848-1849, e due anni dopo acquistò la qualifica di titolare, insieme a quella di direttore dell'edifizio idraulico della Parella. Tenne quella cattedra sino al 1860.

Con il Real Decreto del 3 novembre 1860 divenne infine professore di Meccanica Applicata e di Idraulica Pratica

presso la Scuola di Applicazione del Valentino, oltre che Direttore della stessa (sino al 1880). Nel 1869, appoggiando una proposta di Quintino Sella, fece costruire al Valentino un nuovo edificio sperimentale idraulico - la Torre Idraulica di Richelmy o Torre degli efflussi. Morì il 13 luglio del 1884.

[1] Tra le più importanti opere in questo senso si hanno: B. Castelli, *Della misura delle acque* correnti, Roma, 1629; G.B. Barattieri, *Architettura d'acque*, Piacenza 1656; D. Guglielmini, *Aquarum fluentium mensura*, Bononiae : ex Typographia Pisariana, 1690; C. Fontana, *Utilissimo trattato delle acque* correnti, Roma : Giovan Francesco Buagni, 1696; D. Guglielmini, *Aquarum fluentium mensura nova et inquisita*, Bologna : Eredi d'Antonio Pisarri, 1692; Id., *Epistolae duoe hydrostaticae*, Bologna : Eredi d'Antonio Pisarri, 1692; Id., *Della natura de' fiumi - Trattato fisico-matematico*, Bologna : Eredi d'Antonio Pisarri, 1697; P. Varignon, *Trattato del moto e della misura delle acque correnti*, Bologna : Dalla Volpe, Lelio, 1736; B. Zendrini, *Leggi e fenomeni, regolazioni ed usi delle acque correnti*, Venezia : Giambatista Pasquali, 1741; F. M. De Regi, *Uso della tavola parabolica nella misura delle acque correnti...*, Milano : Giuseppe Richino Malatesta, 1764; F. D. Michelotti, *Sperimenti idraulici principalmente diretti a confermare la teorica, e facilitare la pratica del misurare le acque correnti*, Torino : Stamperia Reale, 1765; G. A. Alberti, *Istruzioni pratiche per l'ingegnero civile...*, Venezia : Savioni, 1782; D. Cocoli, *Dissertazione sopra il quesito stabilire la vera teoria delle acque uscenti da' fori aperti ne' vasi, e mostrare in quai circostanze possa ella applicarsi alle acque*, Mantova : Pazzoni Alberto erede, 1783; B. Ferrari, *Delle corrosioni dei fiumi*, Milano : presso Giuseppe Galeazzi, 1792, e *Dissertazioni idrauliche*, Milano : presso Giuseppe Galeazzi, 1793; F. Mengotti, *Saggio sulle acque correnti*, Milano, 1810; A. Tadini, *Del movimento e della misura delle acque correnti: memoria idraulica*, Milano, 1816.

[2] "Idraulica come controllo delle acque significa, date le caratteristiche geografiche italiane innanzitutto, capacità di opporre alla "prepotenza" dei fiumi l'"astuzia" della previsione, ma anche una più precisa necessità di conoscere e controllare la disponibilità di questo elemento prezioso per l'economia e la vita sociale, secondo criteri quanto più possibile precisi e univoci […] Ai tecnici si chiedeva dunque non solo di porre rimedio ai danni delle inondazioni o delle acque stagnanti o troppo rapide per la navigazione, ma anche di elaborare concreti dispositivi per calcolare con la maggiore esattezza la portata dei corsi d'acqua e per "distinguere il tempo e la quantità dovuta alle ragioni di ciascheduno" secondo una distinzione di finalizzazioni diverse delle risorse idriche." S.Escobar, *Il controllo delle acque*, in *Storia d'Italia - Annali*, vol. 3, Torino : Einaudi, 1980, pp. 89-90.

[3] F. Engels, *50 lettere: gennaio 1893-luglio 1895*, Roma : Editori Riuniti, 1977 (lettera a Starkenburg – 25 gennaio 1894), cit. in S. Escobar, *Il controllo delle acque*, op. cit., p. 93.

[4] L. da Vinci, *Del moto e misura dell'acqua, Libri nove ordinati da F. Luigi Maria Arconati. Editi sul codice archetipo barberiniano a cura di E. Carusi ed A. Favaro* [Pubblicazioni dell'Istituto vinciano in Roma, diretto da Mario Cermenati; nuova serie: Testi Vinciani, I], Bologna : Zanichelli, 1923, p. 164.

[5] P. Richelmy, *Programmi, ossieno Sunti delle lezioni di meccanica applicata alle macchine e di idraulica pratica, dette nella Reale Scuola di applicazione di Torino*, Torino : Derossi e Dusso, 1863, p. 167 (Articolo Cinquantatreesimo). Cfr. anche S. Escobar, *Il controllo delle acque*, op. cit.

[6] S. ESCOBAR, *Il controllo delle acque*, op. cit., p. 101.

[7] Pag. [1] del *Compendio*.

[8] V. MARCHIS, *Storia delle macchine*, Roma-Bari : Laterza, 1994, p. 182.

[9] Si veda successivamente il paragrafo 3.3.

[10] P. REDONDI, *Cultura e scienza dall'illuminismo al positivismo*, in "Storia d'Italia - Annali - vol. 3", Torino : Einaudi, 1980, p. 773.

[11] F. D. MICHELOTTI, *Sperimenti idraulici principalmente diretti a confermare la teorica, e facilitare la pratica del misurare le acque correnti*, Torino : Stamperia Reale, 1765, pp. 1-4.

[12] J.-N.-P. Hachette (Mézières 1769 - Parigi 1834), nel 1794 fu assistente di Gaspard Monge all'Ecole Polytechnique di Parigi, e successivamente fu professore alla facoltà di scienze (cfr. A. CONTE, L. GIACARDI, op. cit., p. 292n).

[13] P. RICHELMY, *Prospero Richelmy, da Torino, per essere dichiarato ingegnere idraulico della Regia Università di Torino, l'anno 1833 addì 20 luglio - Tema proposto al Candidato per pubblico esame d'architettura idraulica*, Torino : Cassone, Marzorati, Vercellotti, 1833.

Roberto Carravetta

Sviluppo della valorizzazione irrigua nel Mezzogiorno

L'estensione dei terreni a coltura, l'entità della risorsa idrica disponibile, le tecniche e gli indirizzi produttivi sono a base dello sviluppo della economia agricola e, nella varietà degli ambienti del Mezzogiorno, l'equilibrato assetto raggiunto nel corso del ventesimo secolo è frutto di un collegiale impegno di competenze che si integrano, si supportano e in parallelo evolvono. Operano tecnici, economisti, sociologi, imprenditori e merita spazio in questa sede una rapida messa a fuoco dell'impegno napoletano, nella evoluzione dell'impianto collettivo.

Condizioni ambientali e sociali diverse, pluralità delle strutture di governo hanno nel passato decisamente penalizzato la produzione agricola nel Mezzogiorno, anche se particolare importanza hanno avuto interventi locali di bonifica.

Nel Regno di Napoli, guidata da Afan de Rivera, la Consulta dei Reali Domini affronta lo studio della bonifica delle terre paludose e sterili, del rimboschimento dei monti, dello sviluppo dell'agricoltura, della pastorizia e dell'industria e commercio: a conclusione, il Real Rescritto del maggio 1855 pone le basi della amministrazione generale della bonifica, immediato precedente della legislazione del Regno d'Italia. Nello Stato unitario, manifestazione di impegno è la istituzione nel 1872 della Scuola Superiore di agricoltura di Portici, unica nel Meridione, ma nelle opere e negli impianti l'evoluzione per decenni ristagna e, ancora nel 24, il problema irriguo è ben lungi dall'essere presente agli agricoltori di gran parte dell'Italia peninsulare.

Infatti, nel 1882, la legge Baccarini pone a base dalla classificazione delle bonifiche l'interesse economico e l'interesse igienico che il relativo risanamento potrà comportare. Nel 1911 è fatto obbligo di associare e coordinare alla bonifica idraulica la trasformazione colturale dei terreni prosciugati, quest'ultima a carico dei proprietari dei terreni bonificati. Finalmente, la legge per la Bonifica Integrale, promulgata nel 1923, integrata nel 1928 ed applicata dal 1929, tronca il riferimento alle grandi bonifiche padane, consuetudinario nella antecedente legislazione.

Voluta da Arrigo Serpieri, la legge travalica i tradizionali obiettivi di risanamento idraulico e di lotta contro la malaria, inquadrando globalmente in unico obiettivo finale un complesso di opere di trasformazione, in grado di mettere in valore le zone agricole più arretrate del paese, sotto i vari profili della superficie coltivata, degli addetti, della meccanizzazione, degli investimenti, della produzione. Il ruolo della valorizzazione irrigua resta così definito nella continuità di un indirizzo operativo che, immutato nel susseguirsi di assetti politici diversi, per oltre mezzo secolo sarà a guida della

politica agraria italiana. È reso vincolante in tutto il territorio l'impegno ad associare alla bonifica, al ripopolamento, alla messa a coltura dei terreni, l'acquisizione della risorsa idrica disponibile. Ne consegue la possibilità di operare in ambiente pienamente predisposto e portare ad ampiezza consortile la gestione di una risorsa per tradizione oasistica. Condotta da uomini di larghe vedute, l'intensificazione agricola impegna varie zone teatro della malaria più grave, dall'Agro Pontino, alla Valle del Sele, al Basso Volturno, alla Piana di Catania, al Tavoliere, al Campidano di Oristano.

Seppure con varia incisività, al graduale completarsi delle iniziative di bonifica, in particolare col ripopolamento delle campagne, prende avvio la realizzazione di opere irrigue.

Alla fine degli anni 30, per difficoltà economiche e politiche, l'azione di bonifica rallenta, quindi si arresta, avendo raggiunto notevoli risultati produttivi, unitamente a densi insediamenti colonici, su terreni trasformati soddisfacentemente per una superficie complessiva dai 220 ai 250 mila ettari e su terreni attrezzati con completo sistema irriguo per altri 100 mila ettari. Ad ampio spettro è la partecipazione della Scuola di Portici e più Docenti raggiungono posizioni di grande rilievo, al servizio diretto o indiretto della agricoltura. Specie nell'Agro Pontino, l'azione di studio ed indirizzo riguarda le macchine per la coltivazione dei terreni e la meccanizzazione delle principali colture, ma anche altri aspetti della Ingegneria agraria, in particolare relativi alle costruzioni rurali.

Nel dopoguerra, col supporto anche di un deciso impegno di riforma fondiaria, l'attività di bonifica e la acquisizione della risorsa idrica disponibile riprendono con continuità di indirizzo. A partire dal 1950, determinante è l'intervento della "Cassa per le opere straordinarie di pubblico interesse nel Mezzogiorno", operato nel favore di una economia in evoluzione, nell'interesse a coinvolgere potenzialità industriali ed imprenditoriali e, soprattutto, nella possibilità di impegnare la risorsa idrica oltre i confini regionali. Sotto la guida di Antonio Jamalio, l'Ufficio Irrigazione è raro esempio di efficienza.

Con disponibilità iniziale del 70% di una dote di 1280 miliardi, prende avvio una radicale trasformazione della agricoltura, motivando grandi aspettative di sviluppo economico, sociale, fondiario.

In particolare, prendono avvio sistemi collettivi che porteranno la gestione dell'agricoltura alla responsabilità dei Consorzi: il completamento delle opere di presa, la costruzione dei canali adduttori e di distribuzione, la prefabbricazione di canalette autoportanti fino alla lunghezza di 7 m, contraddistinguono la ripresa postbellica e proseguono fino al 60. A fine 70, in tutte le Regioni sono acquisite fonti di approvvigionamento adeguate alle esigenze di una irrigazione superficiale turnata, molte sono le reti di distribuzione in esercizio o in avanzata fase di completamento. Naturalmente, ampio è il coinvolgimento della Ricerca, responsabile è l'attenzione dell'Industria, in cosciente risposta all'impegno cui sono chiamate.

Sono sensibilizzati i Ministeri della Agricoltura, della Ricerca Scientifica, dell'Università, il Consiglio Nazionale delle Ricerche, la Cassa per il Mezzogiorno, che dal 52 attiva propri campi sperimentali. Con intervento anche di strutture collegiali, come il Gruppo di Studio sull'Irrigazione del C.N.R., sono approfondite specifiche tematiche, sono sviluppate sperimentazioni in laboratorio ed in campo, è dato sostanziale contributo ad un avanzamento generale nella qualificazione tecnica dell'ambiente rurale, (L. Cavazza, 1988).

In particolare, un impegno idraulico ad ampio spettro, che già a Milano ed a Napoli ha portato all'insegnamento dell'Idraulica sanitaria, a Napoli è stato a base del primo insegnamento di Geotecnica in Italia, negli anni 60 anima lo sviluppo della Idraulica agraria, dando un particolare avvio ad un interesse nuovo per l'acqua, responsabile di vita in un microcosmo tutto da scoprire.

A cura della Scuola di Portici, dal 1935 Facoltà dell'Università di Napoli, sono sviluppate osservazioni su l'esercizio irriguo, sullo sviluppo di vegetazione nei canali ed ai manufatti, su processi di moto vario in impianti con sollevamento.

In laboratorio sono sviluppati studi su campi di moto filtrante, con ricorso a vasche elettrolitiche e modelli alla Hele-Shaw di grandi dimensione, con impiego di liquidi di differente viscosità nello studio di intrusioni saline costiere.

Del pari, mano a mano, più Sedi sono impegnate a sviluppare tematiche di particolare interesse locale. A Catania, continuità di impegno assume lo studio sull'uso di acque salino sodiche, di acque reflue, sugli aspetti agronomici, sanitari, tecnologici; studi e sperimentazione riguardano sia la salvaguardia dall'insalinamento, sia le tecniche colturali miranti alla compatibilità con la produzione, (S. Indelicato ed al., 1982).

A Portici, è privilegiato lo studio dei processi di filtrazione, con particolare riferimento al moto in mezzo poroso non saturo, cioè nelle zone in cui la pressione p nella fase liquida è minore di zero.

Assunto il contenuto d'acqua è funzione del valore locale della pressione p, con riferimento a conducibilità idraulica del mezzo K(è), definite le condizioni al contorno del campo e quelle iniziali, lo studio del comportamento idraulico del sistema acqua-suolo poteva giovarsi delle notevolissime possibilità offerte dal calcolo numerico, all'epoca in grande sviluppo.

In figura 1, sono riportate le distribuzioni di umidità che hanno sviluppo in un suolo sabbioso, nelle fasi di inumidimento e di conseguente ridistribuzione di umidità, determinate da un apporto meteorico di intensità costante e della durata di due ore. Particolare impulso è inoltre dato alla ricerca dalla disponibilità di mezzi di indagine all'epoca innovativi ed il Laboratorio di Idrologia del Suolo, primo operativo in Italia, si attrezza per l'impiego di tecniche di misura non distruttive, anticipa di qualche decennio l'approfondimento di tematiche ora determinanti negli interventi di Ingegneria ambientale. Le nuove tecniche si basano sul principio che un fascio di rag-

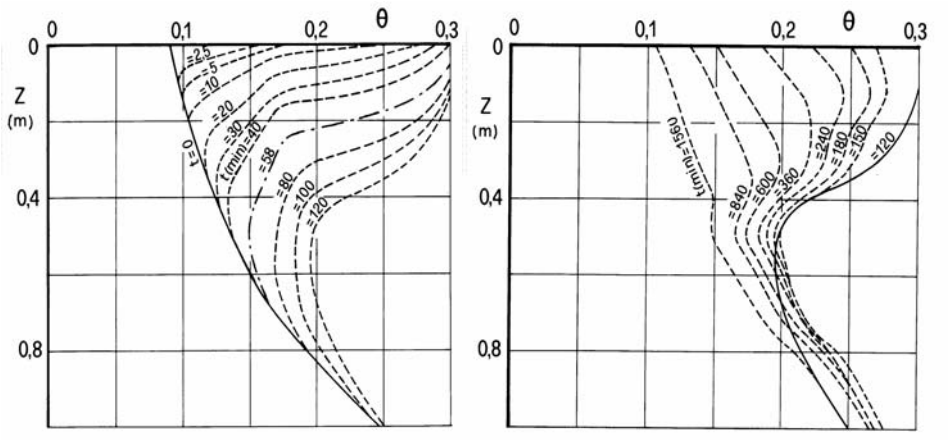


Fig. 1 – Valori θ(z) per un suolo sabbioso (a sinistra) in fase di infiltrazione, (a destra) in fase di ridistribuzione, (da Carravetta - Santini, 1977)

gi gamma, monoenergetici e collimati, nell'attraversare un mezzo poroso, subisce una attenuazione che può essere riferita al contenuto d'acqua del mezzo. Quindi, l'impiego di due sorgenti monoenergetiche di raggi gamma, Am 241 e Ce 137, consente misure simultanee di contenuto di acqua e densità apparente, in suoli a matrice solida rigonfiabile: in figura 2 sono i valori di è rilevati a quote diverse nel corso di un transitorio in campione sabbioso.

L'impianto di figura 3 è attrezzato per seguire il regime idrico nel mezzo poroso: in automatico sono iterate misure del peso del campione, del poten-

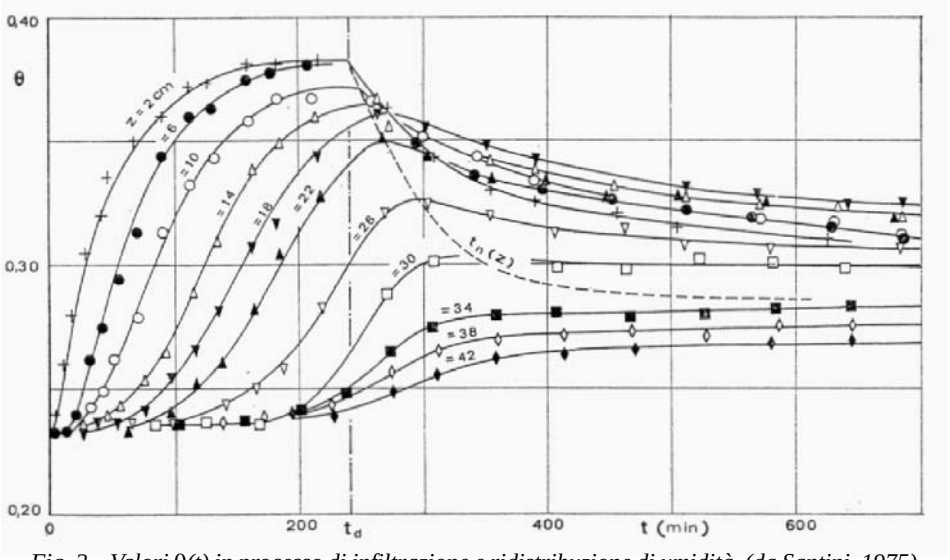


Fig. 2 – Valori θ(t) in processo di infiltrazione e ridistribuzione di umidità, (da Santini, 1975)

ziale della fase liquida, di densità e di contenuto d'acqua medie lungo il diametro. Attivato in Comprensori diversi ed in adeguato numero il prelievo dei campioni, acquisite le relative funzioni $\theta=\theta(p)$ e $K=K(\theta)$, prende avvio anche nel Mezzogiorno una efficace utilizzazione dei risultati forniti dalla teoria, nello studio e nella comprensione dei processi che si sviluppano nella zona non satura, (R. Carravetta, 1978).

Tornando all'esercizio irriguo, nella acquisita disponibilità della risorsa, ulteriori aspettative sono animate dalla possibilità di disporre di apporto irriguo ad adeguata pressione, nel momento scelto in autonoma valutazione di esigenze colturali, economia, equilibrio ed assetto di gestione aziendale.

In breve, all'inizio degli anni 70, una svolta decisiva verso gli impianti a pressione porta ad ottimizzare la valorizzazione irrigua del Mezzogiorno.

Su promozione Cassa, significativo è l'impegno del FORMEZ che a Portici attiva nel 1969 un corso di qualificazione tecnica, aperto ad Agronomi ed Ingegneri, da svolgere secondo programmi che, per la quasi totalità, saranno comuni ad Agronomi ed Ingegneri. Ad orientare e supportare gli ambienti interessati, ancora a Portici ha luogo un Convegno su "L'irrigazione a pioggia",

Ma pressante è l'esigenza di indirizzare l'Industria nazionale a produzioni prima impensabili, quantomeno per entità delle commesse da fronteggiare, in particolare nella fornitura di centinaia di migliaia di apparecchiature, da installare alla adduzione alla azienda.

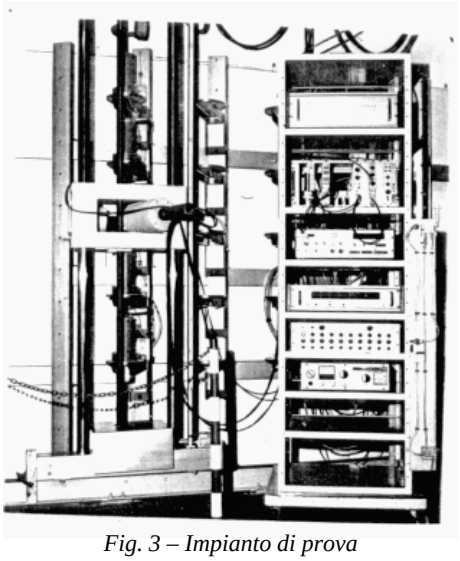


Fig. 3 – Impianto di prova per la caratterizzazione idraulica dei suoli

Allo scopo, dapprima una Commissione costituita dal Capo del Servizio Agrario della Cassa, dal Capo Ufficio Irrigazione e da tre Idraulici, di cui due napoletani, ha nel 1972 il compito di inquadrare le prestazioni da assicurare alle consegne all'utenza ed ai nodi di dominio di comizi o settori irrigui.

Quindi, all'Idraulica agraria della Università di Napoli è demandato un approfondimento delle prevedibili condizioni di impiego delle apparecchiature da installare e delle prestazioni che dovranno essere garantite, in relazione anche alle caratteristiche delle acque da addurre, ed ancora è affidata la esecuzione delle prove di accettazione sui prototipi delle apparecchiature che saranno offerte in gara ai Consorzi.

Si tratta di apparecchiature da installare su reti che possono convogliare acque cariche di materiale solido sottile e residui vegetali, di valvolismi che do-

vranno assicurare tenuta anche dopo migliaia di manovre.

Si tratta i valvolismi che dovranno assicurare sicurezza per le tubazioni che li alimentano, caratterizzati da leggi di manovra non suscettibili di variazione, con esclusione quindi di dispositivi con molla di richiamo. Definite per ciascuna prova qualità e carica dei materiali in sospensione e variabilità di carichi e portate, messe a punto le modalità di esecuzione, sono realizzate le apparecchiature di prova, sono fissate le tolleranze da poter accettare. In particolare, nella verifica della resistenza ad usura accelerata, la prova di tenuta conclusiva avrà cautelativamente luogo dopo 5.000 manovre complete di apertura e chiusura, da eseguire su prototipo installato lungo apposito impianto a circuito chiuso, termicamente controllato.

In sostanza, la possibilità di osservare il comportamento dell'apparecchiatura offerta, la disponibilità dei risultati coinvolgono committenza ed industria, sono per anni occasione di incontri, offrono spunto a critiche e suggerimenti.

Inizialmente l'Industria italiana riprende alcuni prodotti francesi, in breve sviluppa più rispondenti dispositivi, acquisisce interessanti brevetti, assume per le forniture irrigue funzione guida sul mercato internazionale. L'insieme saracinesca, limitatore di portata, contatore resta accorpato in unico "gruppo di consegna", che avrà diffusione in tutto il Mezzogiorno.

A sua volta, notevole è l'impegno dei Consorzi, chiamati a progettare in buona misura ex-novo impianti in pressione di vero rilievo, per estensione delle zone servite ed entità delle portate da addurre. Naturalmente, diretto è il riferimento alla vasta esperienza francese, acquisita nell'esercizio di reti progettate su base probabilistica, secondo il metodo Clement.

A fronteggiare la elasticità richiesta nella distribuzione "a domanda", le portate di proporzionamento della rete sono quindi da valutare con riferimento alla più probabile aspettativa dell'utenza ed in considerazione di plausibili ipotesi di difetto di qualità di funzionamento della rete, il tutto in un accettabile equilibrio nei riguardi delle onerosità di impianto e di gestione. A Latina, nella disponibilità delle acque di bonifica del sistema Sisto-Linea, il Consorzio di Bonifica Agro Pontino realizza più impianti autonomi, di limitato sviluppo, alimentati mediante sollevamento e con quota di dominio stabilizzata al pelo libero del torrino adiacente. Ma gli impianti da realizzare nel Mezzogiorno sono a valle di opere di presa ed adduzione esistenti, o comunque compiutamente definite, rispondenti alle esigenze di meno elastica irrigazione continua turnata.

Indispensabile è quindi la presenza di nuove capacità, per consentire l'elasticità richiesta alla consegna aziendale nel rispetto dei vincoli imposti alla presa.

Necessario è il ricorso ad invasi di capacità anche modesta, già recapito di fluenze esterne, che possano assolvere funzioni di regolazione settimanale od anche giornaliera delle portate distribuite, assicurando anche maggiore sicu-

rezza di servizio, regolarità e semplicità di esercizio. Allo scopo, l'orditura principale della rete raggiunge più vasche poste a dominio della distribuzione minore e l'esercizio è controllato ad appositi nodi di regolazione, attraverso un continuo ed articolato azionamento di valvolismi.

Gli indirizzi di intervento non mutano gli anni 80, allorché viene riconosciuta la opportunità di passare alla distribuzione in pressione anche nei Comprensori già altrimenti attrezzati nel dopoguerra e dell'impianto consortile in esercizio saranno utilizzate soltanto le opere di presa e di adduzione.

Per un rapido, schematico richiamo, è di seguito fatto cenno a tre impianti pugliesi, a servizio di zone contigue, in particolare comprendenti il Tavoliere, oggetto di bonifica nell'anteguerra. Caratteristiche generali sono: clima mediterraneo, terreni pianeggianti, suolo a contenuto medio alto di argilla, buona fertilità. I tre impianti, realizzati e gestiti dal Consorzio per la Bonifica della Capitanata, sono a servizio del Comprensorio irriguo del Fortore e danno luogo al più grande sistema unitario del Mezzogiorno, che nel 2006 ha consentito 105.000 ha irrigui, con consegna a circa 125.000 utenze.

La realizzazione del sistema impegna un ventennio, con avvio della costruzione del primo impianto, alla fine degli anni 60. Differenti per orditura della rete, impegno dei volumi di compenso, numero, localizzazione e caratteristiche dei nodi di regolazione, per indirizzo nella gestione ed impegno dei valvolismi ai nodi, per pericolosità di esercizio, i tre impianti sostanzialmente coprono la casistica delle reti irrigue in pressione.

Sono utilizzate le acque del Fortore invasate nel serbatoio Occhito, nella disponibilità di un volume utile di ritenuta di 247.543.000 mc, e dei modesti apporti dei torrenti Triolo e Celone.

Convogliate attraverso una galleria di circa 16 km, le acque di Occhito raggiungono il centro di distribuzione Finocchito, ove una vasca di capacità 30.000 mc è a diretto dominio delle zone Nord del Comprensorio ed alimenta l'Adduttore Tavoliere di circa 64 km che, a sua volta, alimenta l'impianto Sud Fortore.

Nei tre impianti, le tubazioni di maggiore diametro sono in cemento armato precompresso; le distributrici minori sono in fibrocemento.

Inizialmente, è prevista in progetto la distribuzione a pelo libero, in effetti limitata ad un modesto impianto del Nord Fortore, dimesso a metà degli anni 90. Passati alla distribuzione in pressione, un primo sifone segue la valle del Fortore ed alimenta 15 serbatoi di compenso, a servizio di un territorio di 8.000 ha.

Quindi il sifone Staina, di lunghezza 6 km e diametro 1.600 mm, raggiunge una vasca a dominio di 20 vasche minori, a servizio di 32.000 ha. Negli anni 90 viene costruito in parallelo un secondo sifone. Per entrambi gli impianti, la adduzione è proporzionata incrementando del 20 % le portate medie di punta; le vasche di compenso hanno ciascuna capacità pari a circa metà del consumo giornaliero. Per il terzo impianto, il Sud Fortore, è inizialmente prevista la rea-

lizzazione di un canale periferico in quota, che domina la piana del Tavoliere ed alimenta un insieme di canali paralleli, che raggiungono il Candelaro.

Abbandonato il Progetto iniziale, viene adottato lo schema di figura 4, privilegiando l'elasticità del sistema.

Suddiviso il territorio in fasce a differente altimetria, nella fascia a maggior quota la rete primaria è essenzialmente costituita da due condotte che hanno rispettivamente origine alla vasca Tavoliere ed all'invaso Triolo e raggiungono l'invaso Celone.

Un allacciamento trasversale assolve anche funzione di sicurezza, in caso di avaria o fuo fuori esercizio del Triolo, del Celone o funzione di sicurezza, in caso di avaria o fuori esercizio del Triolo, del Celone o del canale Tavoliere.

I due invasi, impiegati per la laminazione delle piene e per la irrigazione, hanno capacità che consentono una regolazione stagionale dei deflussi sottesi, ma la loro funzione è essenzialmente connessa alla regolazione della adduzione, in modo da consentire un rifasamento fra prelevamenti delle utenze, nonché scambi e compensazioni, in caso di deficienze fra fonti di acqua diverse.

Nella fascia inferiore, di complessivi 38.000 ha, la distribuzione è alimentata a quota di dominio costante dai nodi P_1, P_2 e P_3, in derivazione dall'allacciante inferiore Triolo – Celone.

Sfruttando al massimo l'elasticità di esercizio che caratterizza la distribuzione in pressione, la regolazione di una rete a soli tre nodi interni, attraverso il con-

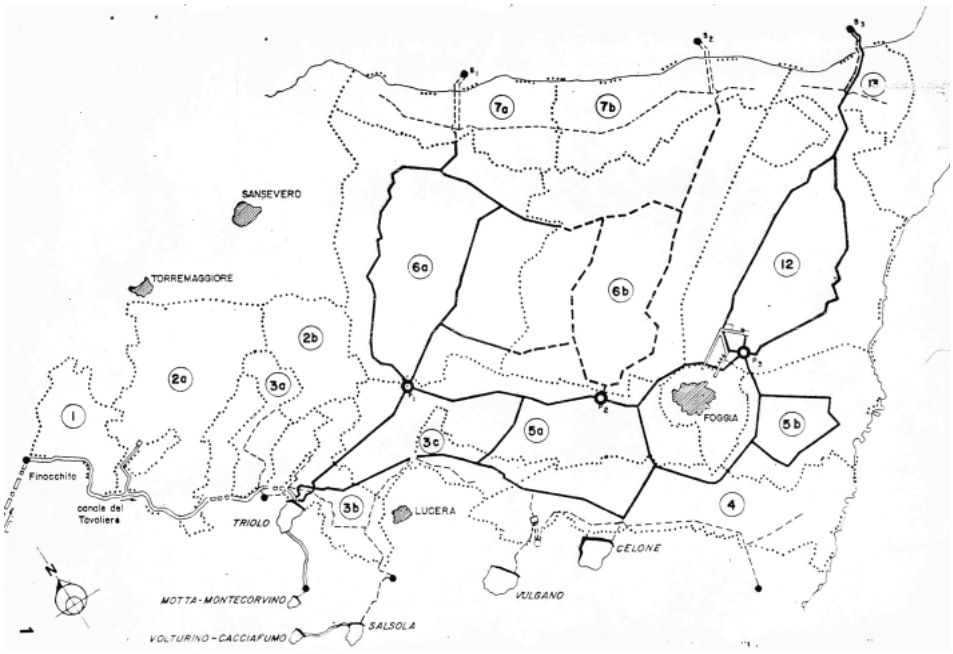


Fig. 4 – Impianto Sud Fortore

trollo di portate fino a 8.4 mc/s al nodo P_1 e 7,5 mc/s ai nodi P_2 e P_3 e dissipazione di potenze che raggiungono i 7,5 mc/s ai nodi P_2 e P_3 e dissipazione di potenze che raggiungono i 2.500 kw ai nodi P_1 e P_2 ed i 1.700 kw al nodo P_3.

Inoltre, i tre nodi sono ai margini delle zone alimentate e non vi è quota per disporre di vasche di compenso.

Naturalmente, ad ogni intervento di regolazione, il transitorio che impegna la rete resta definito congiuntamente dalle caratteristiche dell'impianto, dal regime in atto ed ancor più dalla manovra operata al valvolismo, che avrà comunque durata non piccola, atteso il notevolissimo sviluppo della rete.

Nella definizione del sistema di regolazione al nodo, preliminare oggetto di calcolo sono le prevedibili distribuzioni di portate che definiscono le condizioni iniziali nello studio del transitorio. Fissata una legge di interesse per la manovra del valvolismo, i calcoli sono iterati per condizioni iniziali diverse, quindi un confronto tra i transitori più penalizzanti porta alla definizione della legge di chiusura da adottare (R. Carravetta,1983).

La figura 5 evidenzia la pericolosità di una manovra lineare di chiusura di durata 30 primi operata al nodo P_3.

Nella soluzione adottata, uguale per i tre nodi, il dispositivo di regolazione è costituito da tre circuiti in parallelo, di cui uno di riserva, comprendente ciascuno una valvola a fuso di diametro 600 mm e due diaframmi disposti in serie, figura 6.

Il volume della vasca in figura 7 è di 2.000 mc, a compenso della differenza tra l'efflusso attraverso il valvolismo e la portata che durante del transitorio è attinta dall'utenza.

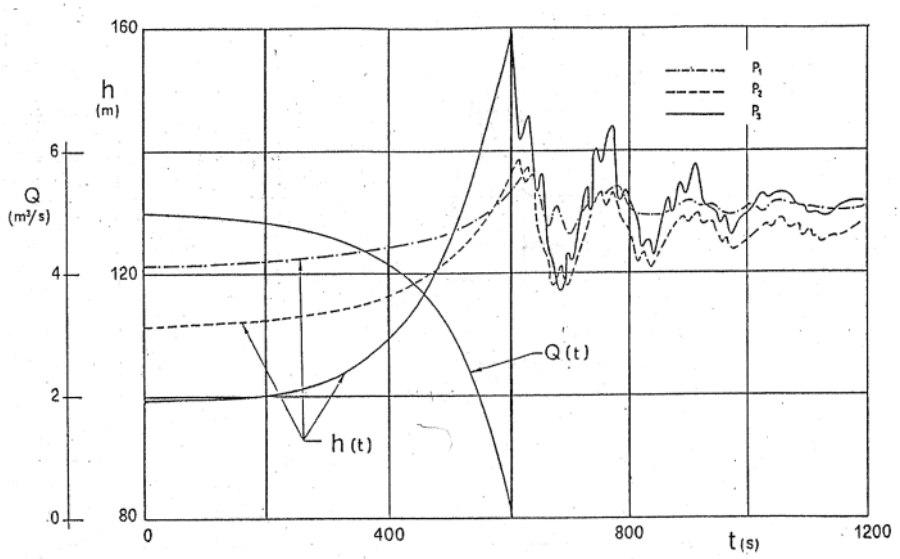


Fig. 5 – Manovra di chiusura lineare al nodo P_3:
Quote piezometriche h(t) a monte dei nodi P_1, P_2 e P_3 e portata Q(t) erogata in P_3

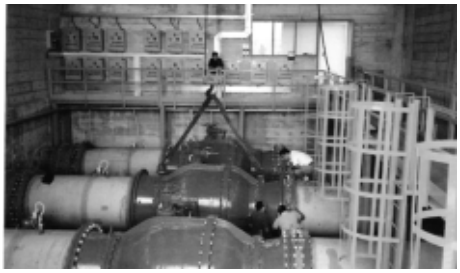


Fig. 6 – Valvole a fuso al nodo P_3.

Per gli impianti del Nord Fortore, decenni di esercizio evidenziano che, alivello reparti, le reti risultano sostanzialmente adeguate per l'esercizio "alla domanda", ma che la capacità di trasporto delle adduttrici e delle ripartitrici ed i volumi delle vasche di compenso risultano inadeguati. Venendo a mancare i presupposti per effettuare l'esercizio previsto, specie nei periodi di massimo consumo, è necessario effettuare frequenti interruzioni del servizio, mediante la intercettazione delle portate di consegna ai reparti. Per la morfologia delle zone servite, non è possibile evitare lo svuotamento di parte delle condotte e, nel corso delle conseguenti operazioni di messa in carico, i fenomeni elastici attivati in rete dallo spurgo dell'aria iterano condizioni di diffusa pericolosità. (Brunone et al. 1990).

Naturalmente, ai danni alle condotte, siassociano consumi per perdite d'acqua anche non piccole, danni alle colture, danni al terreno per allagamenti ed erosioni. A sua volta, nel Sud Fortore, oltre un ventennio di esercizio mette in luce una soddisfacente elasticità dell'impianto. In particolare, la gestione del sistema galleria-canale Tavoliere-invasi minori consente di limitare a poche ma-

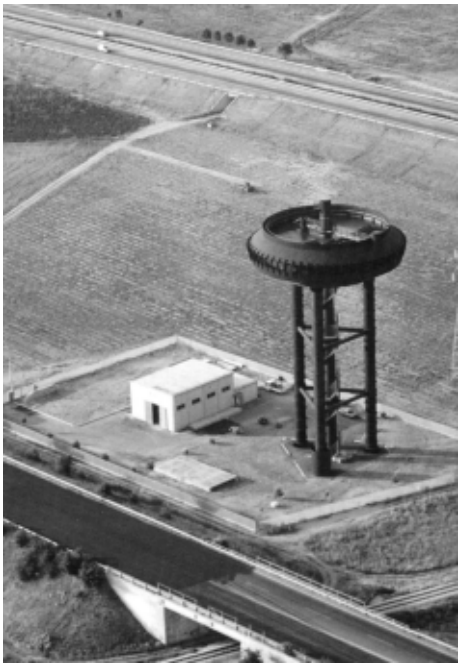


Fig. 7 – Vasca pensile al nodo P_3

novre stagionali la regolazione delle portate ad Occhito. Inoltre, l'allacciamento trasversale assolve efficace funzione di sicurezza, in caso di avaria o fuori esercizio del Triolo, del Celone o del Canale Tavoliere. Ed ancora, lo schema consente di rifasare l'esercizio delle reti Nord, prive di adeguati volumi di compenso. Nell'insieme, l'esercizio dei tre impianti del Fortore evidenzia come un impegno attento e continuo debba comunque caratterizzare l'esercizio delle reti irrigue, evidenzia anche come i problemi di messa in carico permangano di attualità.

Ma il passaggio alla distribuzione in pressione è a tappeto, su una superficie irrigabile di oltre 900.000 ettari. Significativa è la forte imprenditorialità attivata nell'Agro Pontino, da figli e nipoti

dei coloni che nel 38 hanno inaugurato villaggi rurali in Libia. Col tempo, difficoltà varie rallentano l'intervento pubblico e la realizzazione di nuovi impianti praticamente si arresta, quando il potere decisionale è delegato alle strutture periferiche. Nondimeno, l'impegno idraulico conserva validità, in quanto due Normative vigenti sono espressione efficace di esperienza acquisita nel Mezzogiorno. In particolare, con D. L. 12 gennaio 1985, il Ministero dei LL.PP. stabilisce le Norme tecniche relative alle tubazioni, di cui alla legge 2 febbraio 1074, n. 64.

Quindi, dal gennaio 2005, la Norma Europea EC n. 1467-2005 definisce anche in Italia caratteristiche, prestazioni, prove di accettazione relative ad apparecchiature da utilizzare nelle reti di distribuzione irrigua. In particolare, per impegno napoletano, romano e dell'Avvocatura dello Stato, le Norme italiane definiscono le prove di accettazione di tubazioni di materiali diversi, pur nel riserbo dovuto a tutela del processo produttivo adottato, patrimonio dell'Industria. Inoltre, le Norme impongono che nel progetto devono essere definite le pressioni di esercizio come massimi valori delle pressioni che possono verificarsi "per il più gravoso funzionamento idraulico del sistema, comprese le eventuali sovrappressioni $\triangle_p$ determinate da prevedibili condizioni di esercizio, anche se conseguenti a transitori".

In assenza di calcolo specifico e, in ogni caso per le reti di distribuzione con diametri non maggiori di 350 mm, per le sovrappressioni conseguenti a manovre

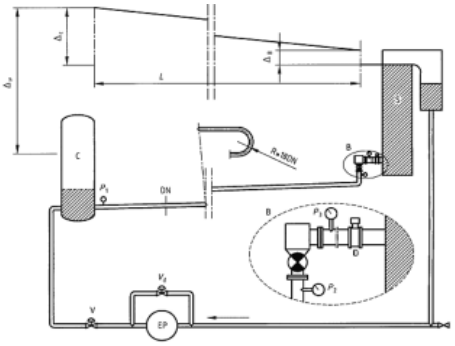


Fig. 8 – Circuito di prova per la determinazione della legge di chiusura della valvola B

di regolazione del sistema sarà adottato il valore $\triangle_p = 2{,}5$ kgf/cm^2. I tubi dovranno comunque essere idonei a sopportare una sovrappressione dinamica $\triangle_p$ non inferiore a 2 kgf/cm^2.

Del pari espressione della esperienza innanzi ricordata è quanto previsto oggi dalla Norma Europea EC n. 1467-2005, Norma Nazionale a partire dal gennaio 2005, che definisce caratteristiche, prestazioni, prove di accettazione relative a saracinesche, limitatori di portata e di pressione, contatori di diametro fino a 200 mm, da utilizzare nelle reti di distribuzione irrigua. Attraverso un decennale iter preparatorio in sede C.E.N. (Comitato Europeo di Normalizzazione) del testo definitivo, sono recepiti fondamentali criteri costruttivi e funzionali, nonché metodi di prova prescritti già da decenni per le nostro Paese.

A formalizzare le prove, per le acque irrigue sono differenziate qualità diverse e, per carica di particelle solide sottili e di elementi filamentosi, presenza di particelle di dimensioni maggiori. Per ciascun dispositivo, sono fissate classi e granulometrie del mate-

riale in sospensione nelle acque da impiegare nella esecuzione delle prove, sono definite modalità, durata, numero delle prove da iterare, sono stabiliti le prestazioni che vanno garantite ed i controlli da effettuare.

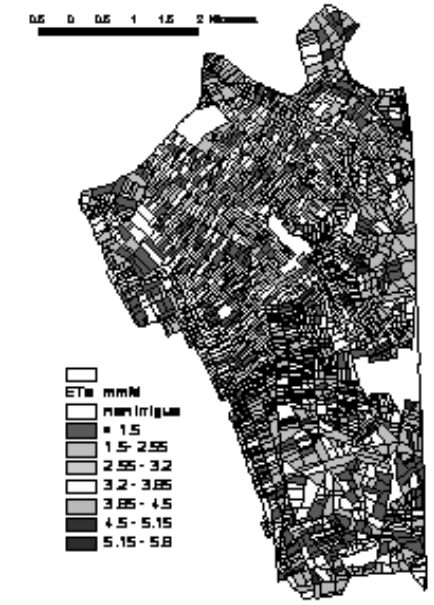


Fig. 9 – Mappa dell'evapotraspirazione potenziale ETp nel Comprensorio irriguo di Gromola (Piana del Sele) (D'Urso ed al., 1995)

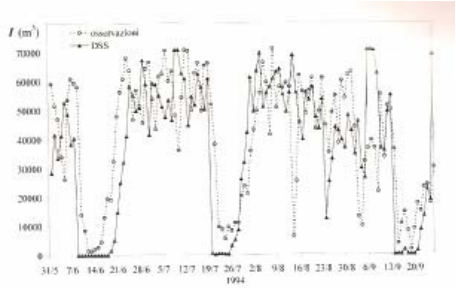


Fig.10 – Confronto fra i prelievi giornalieri complessivi simulati e misurati presso i contatori volumetrici comiziali nel Comprensorio di "Gramola" di Paestum (Santini, 2006)

Per le idrovalvole e, comunque, per valvole che non abbiano univoco azionamento meccanico, è prescritta l'acquisizione delle leggi di manovra attraverso prove da eseguire su ben definito impianto, di cui in fig. 8 è schema esemplificativo. Per l'accettazione dei valvolismi di sezionamento, viene portato a 2.500 il numero delle manovre da operare nelle prove di durata ad usura accelerata. Naturalmente, entrambe le Norme impegnano anche l'esercizio degli impianti, per quanto riguarda sostituzioni ed integrazioni di apparecchiature, nonché l'impiego dei valvolismi installati. Va ancora ricordato che di recente, edito da Studiosi americani del massimo rilievo, il Manuale "Methods of Soil Analysis, Physical Methods" riprende le tecniche di prova italiane, (N. Romano et al.).

Passando alle condizioni di approvvigionamento idrico nel Mezzogiorno, ancora prevedono la realizzazione di nuovi invasi per complessivi 859 milioni di mericubi e, tra gli essi, "spiccano alcuni improrogabili come quello di Magliano Vetere", di 200 mil di mc, sul Calore Cilentano, (G. Leone, 1990).

Ma, allo stato, lo sviluppo possibile in campo irriguo è sostanzialmente da riferire alla gestione, nel favore della esperienza acquisita, relativamente a esigenze e potenzialità locali, condizionamenti dei suoli, qualità di acque meno pregiate, di reflui. Impegno particolare è per le apparecchiature alle consegne aziendali ed ai nodi di regolazione della rete, per la fiscalizzazione della fornitura. In particolare, sono rea-

lizzati impianti di teleregolazione e telecomando sulla rete di trasporto. Sono sperimentati dispositivi che abilitano alla chiusura ed alla apertura delle erogazioni, alla lettura dei contatori, al rilevamento automatico dei consumi irregolari; viene sperimentata la trasmissione telematica delle letture.

Il tradizionale gruppo di consegna è assemblato con idrovalvola e componente elettronica che gestisce l'apertura della valvole e totalizza i consumi. Viene proposto un gruppo di consegna con più tessere di prelievo. In sostanza, in questo periodo, determinante è l'apporto della Industria, forte anche di parallele esperienze. Di contro, la Ricerca si avvantaggia della esperienza acquisita in altri settori, per ampliare la validità operativa degli studi sviluppati sul sistema suolo-pianta-atmosfera: in particolare, determinanti sono le possibilità offerte dalla osservazione ciclica della superficie terrestre mediante sensori multispettrali a bordo di piattaforme orbitanti.

Valutazioni dell'evapotraspirazione potenziale, del coefficiente colturale possono essere sviluppate a livello territoriale; possono essere individuate le zone di stress idrico delle colture, possono essere valutati deficit d'acqua nel suolo, possono essere ricavate mappe da utilizzare per l'applicazione di modelli di simulazione, è possibile addivenire a simulazioni e programmazioni diverse. (D'Urso e al., 1999).

La rappresentazione di fig. 9 evidenzia il dettaglio raggiunto nella determinazione della evapotraspirazione potenziale a livello di coltura aziendale; la rappresentazione di fig. 10 evidenzia la affidabilità delle valutazioni, ponendo a confronto i consumi forniti dal calcolo con i prelievi alle consegne ai reparti.

In più ricerche l'impegno è internazionale, in varie occasioni con impegno dell'Istituto Agronomico Mediterraneo - C.I.H.E.A.M.- (Ciollaro et al., 1995).

Nell'azione coordinata di dodici gruppi internazionali, il Progetto europeo DEMETER è sviluppato e testato nel 2004-05 nel Consorzio di Bonifica in destra del Fiume Sele (Salerno). Risultato finale è la messa a punto di uno strumento di Information Technology, in fase pre-operativa in alcuni comprensori irrigui della Campania, che si avvale di un sistema integrato di monitoraggio di dati telerilevati da satellite, dati climatici e modelli di bilancio idrologico, per elaborare un "consiglio irriguo" personalizzato per ciascuna azienda.

Disponibile in un lasso di tempo di 24-36 ore dall'acquisizione satellitare, il "consiglio irriguo" assicura un supporto continuo per ottimizzare l'uso della risorsa disponibile a livello aziendale. Pertanto, ben può dirsi che, in un futuro anche prossimo, un percorso a ritroso potrà ottimizzare una gestione a maggior livello, da programmare ed operare al nodo di consegna comiziale, nesso di continuità tra realtà operative complementari: struttura consortile ed utenze. La gestione della risorsa potrà avere come riferimento il Comizio: "unità operativa", utente da soddisfare, espressione di potenzialità, di orientamenti

gestionali ed indirizzi colturali diversi. A livello comiziale, la mappatura colturale potrà dare luogo ad una sintetica definizione nel tempo delle relative esigenze.

A maggiore scala, nella pianificazione e nella gestione delle risorse territoriali, in un insieme di equilibri economici, sociali, politici, il riferimento all'assetto colturale, rappresentativo di fabbisogni e di potere, potrà fornire espressione sintetica del ruolo strategico ed economico da riconoscere al mondo agricolo.

Pertanto, nelle difficoltà odierne di ulteriore approvvigionamento, ogni impegno sarà nel Mezzogiorno essenzialmente finalizzato ad ottimizzare la potenzialità dell'esistente.

Nondimeno, la passata esperienza conserverà valenza di indirizzo, negli interventi che saranno attivati in zone non più favorite da tradizionale esuberanza della risorsa idrica disponibile.

B. BRUNONE - A. CARRAVETTA, *Su alcuni transitori nelle reti irrigue a domanda*, Atti XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. (Cosenza, 1990).

R. CARRAVETTA, Relazione generale: *Filtrazione e percolazione, protezione delle falde ed utilizzazione delle risorse idriche relative*, Atti XVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. (Torino, 1978).

R. CARRAVETTA, *Utilizzazione irrigua delle acque del Fortore, rete del comprensorio della zona sud – Sistemi di disconnessione e regolazione nei nodi P_1, P_2 e P_3*, Consorzio per la Bonifica della Capitanata, (Foggia, 1983).

L. CAVAZZA, *Progresso dell'irrigazione*, Relazioni al Convegno GRU.S.I. "Irrigazione Ricerca". (Bologna, 1988).

G. CIOLLARO – N. LAMADDALENA- S. ALTIERI, *A comparative analysis of estimated and measurated consumptive use in a Southern Italy irrigation scheme*, "bonifica", 1995, pp. 57-69.

D. L. 12.1.1985, *Norme tecniche relative alle tubazioni*, (14.03.1986) G. U. della Repubblica Italiana n. 61.

G. D'URSO - M. MENENTI - A. SANTINI, 1999. *Regional application of one-dimensional water flow models for irrigation management. Agricultural Water Management*, Elsevier; (40) 291-302.

EC 14627-2005, Normativa Comunitaria, 2005.

S. INDELICATO- S. BARBAGALLO, *Orientamenti e ricerche sull'irrigazione con acque reflue depurate in Sicilia.* Atti Convegno Andis, (Roma, 1991).

G. LEONE, *Prospettive dell'approvvigionamento idrico nell'Italia Meridionale e nelle Isole*, "Idrotecnica", 1988, pp. 1-24.

N. ROMANO - A. SANTINI, *Water retention and storage: Field. In "Methods of Soil Analysis, Part. 4, Physical Methods"* (J.H. Dane and G.C. Topp, eds), SSSA Book Series N. 5, Madison, WI,USA,ISBN 0-89118-841-X, pp. 721,738. 2002).

A. SANTINI, *Presupposti teorici delle misure idrologiche ed idrauliche nel terreno agrario e forestale*, Ass. Italiana Ingegneria Agraria, (Milano, 1975).

A. SANTINI, *Nuove tecnologie per l'ammo-dernamento e la gestione degli impianti irrigui* Ass. Italiana Ingegneria Agraria, (Bologna, 2006).

GIOVANNI FRESA

Dismissione e rinascita del trasporto tranviario. Il caso di Napoli

Negli anni che precedettero la prima guerra mondiale le tranvie avevano raggiunto una notevole diffusione; lungo le strade delle città, in tutto il mondo, circolavano vetture pressoché simili mosse da motori elettrici alimentati da una linea di contatto aerea raggiunta con striscianti o rotelle. Per i meno giovani quei tram, in servizio sino a metà del 900, sono intimamente legati all'immagine della città; prima che diventassero vecchi, essi ostentavano la distinzione tipica dei primi anni del secolo scorso per le belle livree (presto sostituite da scialbe verniciature comunali), accurati interni in legno, raffinate lampade d'epoca e belle finiture in ottone.

Tutto ciò, in assenza di competitori, assicurò per qualche decennio alle tranvie l'esclusiva d'una crescente domanda di trasporto. Nel primo dopoguerra gli impianti e l'offerta raggiunsero la massima estensione; quasi tutte le aree urbanizzate di medie e grandi dimensioni disponevano di tram su percorsi cittadini, intercomunali e persino interregionali. In tutto il mondo erano attive oltre 3.000 aziende tranviarie e, nelle grandi città, esistevano spesso parecchie linee private, una di fianco all'altra.

Dopo la prima metà degli anni '20 si manifestò dappertutto un certo calo della domanda; alcuni impianti furono chiusi e sostituiti da linee di filobus ed autobus, più economiche e flessibili. Il tram non era più l'unico utente della strada e doveva contenderla ad un crescente numero di auto private; l'opinione comune cominciò a vederlo come un ostacolo alla circolazione.

Occorreva recuperare l'arretrato di manutenzione maturato prima e durante la guerra e, soprattutto, investire in innovazione per rendere il sistema compatibile con le esigenze del momento. Si richiedeva inoltre uno sforzo volto a definire - e ridimensionare - il ruolo e le possibilità del tram, tanto più che servizi filoviari od automobilistici, pervenuti ormai a maturità tecnologica, costituivano appropriata e semplice risposta alle manchevolezze della tranvia.

Per tante ragioni, in quegli anni, non si trovarono quasi mai sufficienti risorse economiche e, già qualche anno prima della seconda guerra mondiale, ci si accingeva dappertutto a sostituire le tranvie con filovie e bus od a destinarle alle periferie.

Premevano difficoltà economiche derivanti dalla crisi della domanda, dal lievitare dei costi d'esercizio e dalle tariffe politiche e, laddove l'opinione comune era favorevole all'intervento pubblico, si levava, verso le autorità, un'insistente richiesta di subentrare ai concessionari privati; dove invece prevaleva una radicata tendenza liberista, come

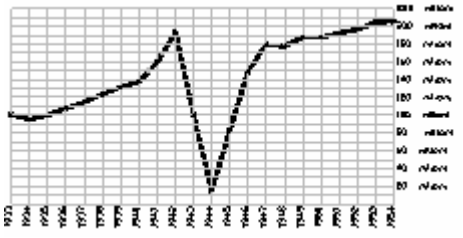


Fig. 1 – Viaggiatori 1933 - 1954

nei paesi anglosassoni, si passò presto alla sostituzione con veicoli su gomma.

Gli anni della seconda guerra mondiale misero a dura prova il tram, che restava l'unico mezzo di trasporto pubblico; al termine del conflitto -a parte le distruzioni- impianti e veicoli erano allo stremo. Ma nel dopoguerra, la conservazione avrebbe impegnato risorse economiche altrimenti destinate a preminenti urgenze della ricostruzione postbellica[1].

Fa eccezione la vicenda della Germania Federale dove, in città quasi completamente distrutte, furono realizzati modernissimi impianti tranviari.

La tranvia a Napoli

Nel marzo 1929 un'estenuante vicenda amministrativa e giudiziaria fra il Comune di Napoli ed i vari concessionari del trasporto tranviario terminò col totale riscatto delle concessioni, l'acquisizione di linee, depositi e veicoli che confluirono poi nell'Azienda Tranviaria Comunale Napoli (ACTN), fondata nel 1918[2].

La gestione diretta incontrò gravi difficoltà e nel dicembre 1930, tornando sui suoi passi, il Comune affidò in gestione i servizi di trasporto all'Ente Autonomo Volturno, un operatore locale a capitale pubblico che produceva e distribuiva energia elettrica, e ciò mediante una convenzione che prendeva forza dalla legge 351 dell'8 luglio 1904. Al cambio d'esercizio vi erano circa 450 vetture tranviarie a due assi e 150 rimorchiate nonché una trentina di autobus, un insieme raccogliticcio di veicoli vecchi e modelli diversi; erano in servizio persino quattro vetture rimorchiate derivanti da adattamenti di quelle delle linee a vapore Torretta-Museo e Napoli-Pozzuoli, attive a fine '800!

In quegli anni la vettura tipo del parco aziendale era una motrice bidirezionali a due assi portati da un telaio metallico chiodato, il cosiddetto truck, (quasi sempre di costruzione Brill) che, per le sue doti di semplicità e robustezza, ha consentito per decenni modifiche e trasformazioni d'ogni genere. I due assili erano dotati di boccole a strisciamento sistemate fra piastre parasale dotate di agi utili ad inserire le vetture nelle curve più strette. Sul truck poggiavano i motori, le trasmissioni ad ingranaggi, il compressore ed il meccanismo dei freni.

Al disopra, una carrozzeria suddivisa in tre ambienti: ai due estremi le piattaforme coi posti di guida, al centro l'abitacolo. Nei primi anni le piattaforme erano aperte – i cosiddetti terrazzini – ed esponevano il guidatore alle intemperie; verso il 1912, dopo lunghe agitazioni sindacali, vennero aggiunte delle sovrastrutture posticce ed esse diventarono vere e proprie cabine dotate, sui due lati, di porte pieghevoli a chiusura manuale e cancelletti di sicurezza.

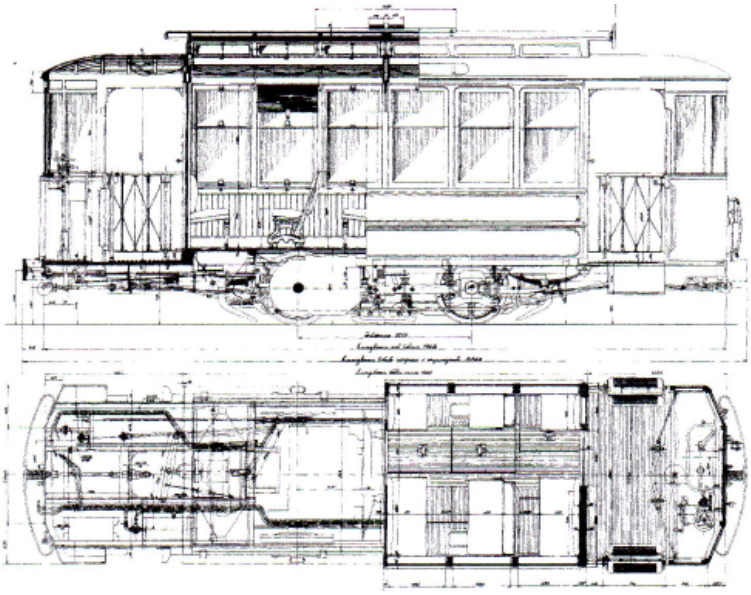


Fig. 2 – Vettura bidirezionale Reggiane – TIBB (1922)

Questo tipo di tram, con lievi varianti, si può vedere negli album fotografici di tutte le aziende europee ed, a Napoli, ha circolato sino a tutti gli anni '50.

Esso era favorito dalle contenute dimensioni, dalla possibilità di invertire la marcia consentendo di effettuare nel vecchio centro urbano (binario unico ed incroci con bastone pilota) percorsi oggi inconcepibili.

Una vettura tipica -come quella di figura 2- presentava un ingombro in pianta di circa 17 m^2 risultanti dalle due piattaforme estreme di circa 3,50 m^2 ed un abitacolo di circa 10 m^2. Nella cassa vi erano 18 posti a sedere ed un corridoio in cui potevano sistemarsi, in piedi, altri 12 viaggiatori; le piattaforme -però era vietato sostarvi- potevano ospitare circa 10 persone. La capacità complessiva massima si aggirava così sui 40



Fig. 3 – Il truck di una bidirezionale

passeggeri. Mancava una sorgente di energia elettrica a bassa tensione e tutto era affidato alla corrente di trazione (controller, compressore, luci esterne, illuminazione interna, suoneria, ecc.).

Fra il 1930 ed il 1936 l'EAV avviò importanti iniziative volte ad ammodernare il sistema, sostituendo con rotaie a gola le vecchie barre Hartwick, sistemando le alimentazioni elettriche, ma soprattutto, acquistando, verso il 1934,

106 vetture a carrelli -alcune ancora attive- ispirate al disegno delle americane tipo Peter Witt ed alle motrici 1500, entrate in servizio a Milano già dal 1928. Esse presentano una cassa rastremata di circa 28 m^2 formante un ambiente privo di divisioni interne, unico posto di guida e sono dotate, alle estremità, di porte pieghevoli a chiusura pneumatica.

La cassa poggia su due carrelli tipo Commonwaelth del passo di 1,60 m con assili portati da boccole a rulli e disposti fra loro ad interasse di 6 m, il che consente di circolare superando, in molti punti, le geometriche angustie della rete cittadina. I carrelli sono dotati di motori cc a collettore e freni a disco.

I prototipi di questa serie di vetture erano dotati di una porta anteriore e di una centrale, ripetendo lo schema prevalente negli USA, dove si tendeva ad esigere il biglietto al termine della corsa; al centro del veicolo vi era il bigliettaio ed i passeggeri pagavano prima di scendere.

Successivamente si ritenne che la sistemazione tradizionale fosse più opportuna e si optò per due porte di estremità.

Altra notevole innovazione EAV riguarda l'entrata in servizio di 30 vetture monodirezionali a due assi (cd "Balilla"), una singolarità napoletana, ideata per servizi impegnativi come quelli dal centro al Vomero. Furono costruite riciclando i truck di veicoli radiati; erano dotate di carrozzeria ad unico volume rastremato alle estremità, superficie utile di 16 m^2 circa e porte automatiche su un solo lato.

Nel 1937, al sopravvenire di nuove difficoltà, l'EAV richiese al Comune di

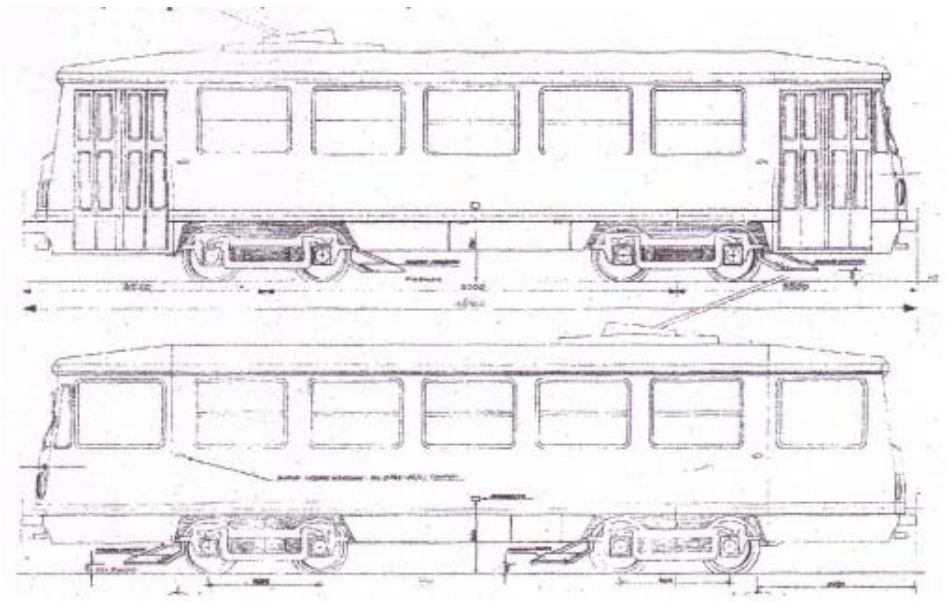


Fig. 4 – Vettura a carrelli 1934 – versione modificata negli anni '70

trasformare il rapporto di gestione in una concessione, stipulata poi nel dicembre. Nell'atto il Comune prescriveva di sostituire le linee tranviarie del centro con servizi di autobus e di costruire nuovi impianti filoviari periferici; nel maggio del 1940, infatti, entrarono in funzione due linee filoviarie.

Il rapporto fu risolto consensualmente a domanda del concessionario durante il periodo bellico ed il 1 gennaio 1941 il Comune riassunse la gestione diretta del servizio.

Una dettagliata relazione[3] espose i motivi che giustificano l'istanza, consistenti nel mancato adeguamento delle tariffe a fronte di aumenti salariali, di rincari dei materiali, di inasprimenti fiscali, della contrazione della domanda, dei maggiori oneri per gli assegni dovuti agli agenti richiamati alle armi, ecc.

Con l'occupazione [4] anglo americana vi furono difficoltà di ogni genere a riprendere normalmente il servizio; come anche a Roma si ovviò ricorrendo a linee celeri servite da camionette del Governo Militare Alleato e da autobus in noleggio da privati.

Negli anni successivi la situazione migliorò e, nel settembre 1947, la gestione diretta comunale veniva liquidata e linee, fabbricati, veicoli, impianti e personale furono affidati ad un'azienda municipalizzata, unica forma di gestione praticabile i grandi servizi pubblici di carattere industriale, che fu costituita ai sensi dell'articolo 2 del Testo Unico 2578/25.

La nuova azienda nacque confermando il precedente intento comunale di portare in periferia i servizi tranviari e di sostituirli gradualmente con autobus nelle zone centrali e filobus sulle relazioni extraurbane.

Dall'inventario del trapasso[5] si può ricavare che, rispetto al 1940, il parco si era ridotto da 515 a 422 tram - solo 260 in grado di circolare - fra questi solo 104 vetture a carrelli.

Sin dagli inizi l'azienda, in attesa dei provvedimenti a vasto raggio di cui innanzi, avviò la graduale dismissione del materiale a due assi e la riutilizzazione sulle motrici a carrelli di motori CT 139 K recuperati dalle demolizioni ed effettuò acquisti di filobus che, in pochi anni, passarono da 30 a 122 nonché di qualche autobus. Erano tornate dalle officine molte vetture ricostruite e furono attuate le prime soppressioni di servizi tranviari, quasi sempre sostituiti da filovie: il tram non saliva più dal centro al Vomero, servito ormai da un potente impianto filoviario; non si andava più a Montesanto, né si passava per piazza Amedeo. Si noleggiarono autobus da privati e si acquistò un primo lotto di bus AERFER.

Con la nuova giunta insediatasi nel giugno 1952 l'eliminazione delle tranvie ricevette un ulteriore impulso; si stava facendo così, del resto, a Firenze, a Palermo, a Bari, a Salerno ed anche oltre le Alpi; restavano legate al tram solo Torino, Milano e Roma. La città aveva ottenuto finanziamenti statali straordinari che, per la maggior parte, si utilizzarono per strade e fogne: occasione favorevole per eliminare, oltre i servizi, anche l'impianto fisso. Sparirono i binari di

piazza Municipio, quelli per il Vomero, gli altri che portavano ai Comuni del Nord ed a quelli vesuviani, al Corso Vittorio Emanuele, al Corso Umberto I, in via S. Anna dei Lombardi; il vecchio centro fu reso libero dal ferro. In otto anni, fra il 1953 ed il 1961, le percorrenze dei tram passarono da 13.086.666 Vkm a 4.884.497 Vkm, circa un terzo.

Per effettuare con autobus i servizi sostitutivi l'ATAN fece ricorso ad appaltatori privati che fornivano noleggio, ricovero in rimessa e riscatto finale. La procedura riguardò gradualmente quasi tutto il parco autoviario sino ad esaurirsi, nel 1971, con l'acquisizione di personale, impianti e veicoli.

Nella relazione che introduceva la proposta di PRG del 1958, poi respinta dal Ministero LLPP, si dichiarava esplicitamente che, in città e nelle vicinanze, non vi sarebbero stati più tram. Ma neanche le amministrazioni subentranti, d'altro indirizzo politico, avrebbero introdotto idee diverse. Sulle dismissioni l'azione comunale ricevette, dalla pubblica opinione, un consenso silenzioso ma evidente: cominciava l'era della motorizzazione individuale cui, in quegli anni, andava il favore del pubblico: la città, peraltro, poco si prestava alla tranvia. Ed infine, era stato attuato un programma già definito anteguerra la cui attuazione era attesa da tempo.

La proposta aziendale

In quegli anni, tuttavia, a fianco dell'assenso dei più, cominciarono a farsi sentire le obiezioni di quanti guardavano più lontano.

Gradualmente venne in evidenza che il servizio su gomma assicurava solo in parte quanto aveva promesso e si diffondeva una riflessione sullo spazio che può e deve occupare un servizio tranviario; se è vero che interprete principale della offerta collettiva di spostamento è ormai l'autobus, negli spazi urbani di città medio-grandi il servizio tranviario può offrire molto.

Sul tema si soffermava una coraggiosa ed inedita relazione tecnica - a firma del direttore ATAN[6] indirizzata alla Commissione Amministratrice (agosto 1954), quando erano in vista le più importanti dismissioni tranviarie. Essa riporta una forte e lunga critica agli intendimenti del Comune concludendo che "la richiesta trasformazione del servizio auto-filo-tranviario non è consigliabile nè attuabile sotto nessuno aspetto, essendo non conveniente..". Al testo è allegata una precisa proposta: "è stata lasciata la dorsale tranviaria con la sola variante di eliminare il traffico attraverso via Depretis e Corso Umberto I° per trasferirlo nella mezzeria della parallela ed ampia via Marittima, ove è prevista la sede propria. Tale dorsale avrebbe il ....fondamentale scopo di mantenere le due principali comunicazioni nord-sud da Mergellina a piazza Carlo III° che si sono dimostrate i cardini di tutto il sistema di trasporto urbano,..."

A coloro che consideravano la tranvia un sistema di trasporto ormai obsoleto, la relazione rispondeva: che "la preferenza per tale sistema di trasporto ha indotto alla costruzione o ricostruzione, nell'ultimo dopoguerra, sopratutto in

Germania....sta a testimoniare che la tesi sostenuta è contraria a quanto la tecnica oggi insegna."

Questa relazione fu accolta dal silenzio generale ma certamente contribuì alla conservazione della grande dorsale tranviaria litoranea fra Bagnoli e Poggioreale con diramazioni verso oriente per S. Giovanni, Barra, Ponticelli e S. Giorgio. Tuttavia, nel 1963, cambiata la maggioranza al comune, furono ancora abbandonati il tronco che serviva il quartiere di Ponticelli e la deviazione[7] da Piazza Sannazzaro a Mergellina.

L'ondata di dismissioni si fermò; una volta potato il grande albero della vecchia rete restò in piedi e, sino a recenti e dissennate dismissioni, con un robusto tronco di circa 51 km di binario che consentiva l'attività di cinque percorsi dotati di stabile e consistente domanda.

L'attraversamento del centro, fra Piazza Garibaldi ed il Ponte dei Francesi, si avvaleva di alcuni tratti in sede separata in via Riviera di Chiaia ed in via Marina; una arteria, questa, dotata di sede centrale per i tram, così prevista con grande lungimiranza nel piano di ricostruzione postbellico dei quartieri Porto e Mercato a firma di Luigi Cosenza.

Con un parco di 87 vetture a carrelli, per quasi un ventennio, dal 1960 al 1980, si effettuò un servizio di circa 3,5 MVkm all'anno, l'8% circa della percorrenza complessiva aziendale ed il 12% dei viaggiatori con una percentuale annua di viaggi perduti molto minore[8] di quella rilevata per i servizio filo e bus, riconquistando gradualmente al tram, mediante un servizio attuato con soddisfacente regolarità, il gradimento degli utenti. Per mantenere in vita la tranvia furono gradualmente ricostruite sessanta vetture a carrelli sostituendo le casse e recuperando le parti non disponibili sul mercato.

L'avversione al tram non s'era spenta del tutto ma si andava attenuando; la questione, però, si concluse positivamente. Nel giugno 1971 il Comune di Napoli, in applicazione di quanto disposto dalla Legge 1042/69 riguardante il finanziamento delle ferrovie metropolitane, adottò il "Piano Comprensoriale dei Trasporti", approvato unitamente al PRG del 1972 di cui formava parte integrante nel quale, chiudendo finalmente[9] la questione, veniva confermata la presenza in città degli esistenti impianti tranviari.

La ripresa del sistema

Un importante e primo sintomo della generale ripresa del consenso verso il sistema tranviario si acquisì col successo del "Symposium sui trasporti rapidi di massa nelle grandi città italiane" indetto a Roma dal Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani il 5 e 6 luglio 1963 in vista della imminente inaugurazione della linea 1 della Metropolitana Milanese.

Nell'incontro furono dibattuti, in molte memorie riportate in due volumi, i principali temi del trasporto pubblico urbano su ferro.

Prendendo atto di novità europee ed americane (veicoli, sottosottovie, convogli tranviari) l'area metropolitana[10], emergeva come luogo d'una molteplice domanda da servirsi con una pluralità di

mezzi, compresa la tranvia nella versione classica o nelle sue varianti innovative (linee rapide, metropolitana leggera ecc.) che venivano già proposte dappertutto.

La fascia utile di servizio del sistema tranviario era individuata nel segmento di offerta compreso fra i 5000 ed i 10000 transiti per ora, di molto inferiore a quella possibile con le tradizionali metropolitane ma notevolmente maggiore di quanto possono offrire i veicoli su gomma. Alla sua utenza il tram offre però un approccio capillare alle zone urbane attraversate, possibile solo per la ridotta distanza fra le fermate e per la possibilità di spostarle facilmente.

Fermandoci all'utilizzazione classica del sistema, negli ultimi decenni il tram si è giovato, più di tutti gli altri mezzi di trasporto, di notevoli innovazioni.

Si dispone oggi di vetture articolate con pianale a livello dei marciapiedi, in moduli da 150 a 300 viaggiatori, veloci, silenziose, confortevoli, climatizzate; che, per la maggior parte, marciano in convoglio conseguendo notevole economia di gestione. Questo materiale, entro certi limiti, è idoneo a servire anche anguste sedi viarie del centro urbano smentendo la tesi di quelli che vorrebbero il tram in periferia.

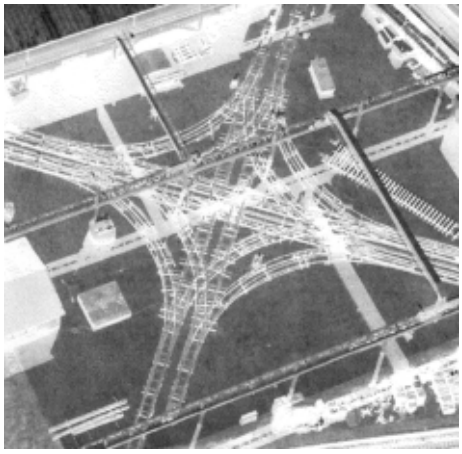


Fig. 6 – Premontaggio d'un incrocio

I nuovi sistemi di costruzione del binario, armato con rotaie saldate di elevato peso unitario portate da uno strato intermedio continuo antivibrante, nuove sospensioni e dissipatori ad alta efficienza evitano i soliti danni a terzi per vibrazioni ed abbassano la rumorosità sotto il livello medio che compete alle strade urbane.

La trazione, ormai è affidata, tramite inverter, a motori a corrente alternata più semplici ed affidabili, ma meno ingombranti rispetto a quelli a collettore. La frenatura, classico punto debole della vettura tranviaria, ormai viene finemente modulata e può competere con quella dei veicoli su gomma; in esercizio si adopera correntemente quella elettrica riservando quella ad aria compressa alle fasi di arresto; in casi d'emergenza, freni a pattino elettromagnetici assicurano decelerazioni molto alte, sino a 2,5 m/s^2.

La diffusione della marcia in sede propria non elimina però, agli incroci, in specie quelli molto complessi, il conflitto con altri veicoli in cui, solitamente, il tram è in difficoltà. Il problema va trattato con appropriati provvedimenti di circolazione concedendo al mezzo pubblico una segnalazione luminosa preferenziale ma va anche affiancato da idonei accorgimenti impiantistici; fra questi, il comando a distanza degli instrada-

menti, attuato allontanando la punta degli aghi degli scambi dalla tangente geometrica, l'abolizione di tratti neutri sulla linea di contatto, la manovra a distanza degli aghi eliminando il comando mediante il tratto neutro.

Ruote elastiche di nuova concezione assorbono gran parte degli urti provenienti dalla via e, nella traversata dei dispositivi di incrocio i cerchioni lasciano il contatto con la rotaia mentre il bordino viene a contatto col ferro in una gola fresata nei masselli metallici che oggi costituiscono i crociamenti.

Osservazioni finali

Notizie di realizzazioni e proposte di nuovi impianti tranviari giungono quotidianamente dai mezzi di comunicazione: quasi dappertutto vi è una forte ripresa del tram.

Riflettendo sulle vicende innanzi esposte non si giunge però alla conclusione che le dismissioni del passato fossero sempre ingiustificate; spesso non si poteva fare altrimenti; nè, a Napoli, si è verificato, come talvolta s'è detto, il misfatto di una sola amministrazione comunale; infatti si contava di far così già da prima della guerra e, con altre amministrazioni le dismissioni, dopo il periodo di relativa quiete fra il 1960 ed il 1980 sono riprese.

Alla riflessione odierna la maggior parte di quelle degli anni '50 può, ritenersi opportuna.

Certamente in alcuni casi, mossi forse gli amministratori da ragioni plausibili ma estranee al trasporto, si attuarono provvedimenti inopportuni od eccessivi.

Alle vicende di quegli anni contribuì certamente il ritardo culturale determinatosi durante il conflitto, gradualmente superato solo in seguito; abbiamo visto che da noi, nel 1954, vedevano lontano solo gli estensori del dimenticato dattiloscritto aziendale.

In queste vicende Napoli fu in buona compagnia d'altre città ma seppe almeno fermarsi in tempo.

[1] *ATAN – dati statistici 1954*

[2] E. Bevere - G. Chiaro – A. Cozzolino, *Storia dei trasporti urbani di Napoli*, 2, Cortona, Calosci, 1998. Fra le pp 185 e seg del primo volume è descritta l'intera vicenda dei rapporti Comune – EAV. Altre notizie possono trovarsi nel brogliaccio dattiloscritto inedito *STORIA DELL'AZIENDA*, siglato EB (certamente Enrico Borgstrom), ma senza data (verso il 1960).

[3] A. Ferrante, *Tra passato e futuro. Il ruolo dell'Ente Autonomo Volturno nel settore dei trasporti*, In *Ferrovie e tranvie in Campania. Dalla Napoli – Portici alla Metropolitana regionale*,Napoli, Giannini, 2006, pgg. 95,102

[4] E. Bevere - G. Chiaro – A. Cozzolino, *Storia* ... pp 251 e seg del primo volume

[5] Ibidem, passim

[6] N.Visconti – *Relazione tecnica sulla sistemazione del servizio autofilotranviarioATAN* – 16 agosto 1954, dattiloscritto inedito consegnatomi dal compianto ing. Enrico Borgstrom; nell'introduzione

l'estensore, inggner NicolaVisconti, dichiarava, senza farne i nomi, che il testo era stato condiviso dai responsabili dei servizi tecnici aziendali. Alla relazione era allegato materiale tecnico che però non ho ricevuto.

[7] Demolendo le tratte fra Piazza Carlo III° e Porta Capuana e fra Piazza Sannazzaro e Barbaia, fu definitivamente soppressa la linea tranviaria 303, da sempre la più frequentata della rete, che era stata deviata dal passaggio centrale per Piazza Municipio, San Carlo, via Santa Lucia e via Chiatamone. Nell'esercizio 1954 essa aveva trasportato 17.607.120 viaggiatori, il 27% circa del totale, con un introito di 295,3 £/km, il più alto della rete. Cfr il fascicolo ATAN – Risultati statistici 1954 – collezione privata. Le amministrazioni oggi in carica hanno fatto anche peggio; il tronco principale costiero è stato limitato a Piazza Sannazzaro ed esclude il quartiere di Fuorigrotta la cui trama viaria sembra disegnata apposta per la tranvia.

[8] Dai dati dell'esercizio 1971, ad esempio, risulta, per le tranvie, una perdita di viaggi, rispetto a quelli programmati, del 14,95%; molto minore di quella registrata per le filovie (26,47)% e per le autolinee urbane (21,18%). Cfr il fascicolo ATAN – *dati statistici dei servizi autofilotranviari – anno 1971* – collezione privata.

[9] *Piano Comprensoriale dei Trasporti* – (L. Buccico) Comune di Napoli, giugno 1971, pagg. 27 e 28.

[10] *Symposium sui trasporti rapidi di massa nelle grandi città italiane* ,2, Roma, CIFI, Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani, 1963, atti del convegno in Roma il 5 e 6 luglio 1963. passim. La prima sezione fu dedicata a forma, struttura e coordinamento dei trasporti rapidi di massa con altri trasporti dell'area metropolitana e comprende 22 memorie da cui emerge il nuovo modo di concepire la tranvia. Ad esempio, è utile leggere i contributi del professor Patrassi, dell'ingegner Calmani. Il convegno fu replicato nel gennaio 1967 e, fra le memorie, va segnalata una memoria dedicata al potenziamento degli impianti esistenti a Napoli prodotto dallo studio di L. Cosenza.

Stefania Mornati

La cassaforma nella costruzione italiana del Novecento

La notevole incidenza sui costi di costruzione manifestata dalla cassaforma rappresenta, fin dall'inizio del Novecento, il primo incentivo a sviluppare una linea di ricerca finalizzata a razionalizzarne le fasi produttive. È solo in un secondo momento che, oltre al compito di contenimento della miscela, viene associato all'involucro quello di attribuire effetti formali al calcestruzzo.

Le prime sperimentazioni su nuovi sistemi di cassaforma si avviano nella fase di modernizzazione della architettura che, in Italia, si colloca intorno agli anni venti, e proseguono ininterrotte sino ad oggi. Sul piano dell'evoluzione tecnologica molti sono stati i progressi che hanno facilitato e velocizzato l'esecuzione di getti in opera e che vedono nei sistemi a ripresa e nelle ultime generazioni di casseforme industrializzate importanti interpreti dell'innovazione. In parallelo si colloca una ricerca di tipo più schiettamente figurativo, condotta non dai tecnici ma dai progettisti - coadiuvati dalla paziente abilità artigianale delle maestranze -, nella quale la cassaforma assume un ruolo determinante per la qualità formale delle opere. Materiali diversi, lavorazioni sperimentali, adeguamento dei componenti di una cassaforma tradizionale o la modifica del moderno prodotto di serie sono gli ingredienti che concorrono ad offrire un' infinita varietà di esiti. La vasta gamma di tessiture oggi ottenuta nei getti in opera non è certo unicamente dovuta al tipo di cassero impiegato - esso è solo uno dei fattori che intervengono - ma anche alle sue modalità di preparazione, ai più svariati e impensabili aggregati presenti nella miscela, alle modalità di getto o ai successivi trattamenti. Lo studio si propone di esplorare la materialità del costruito, focalizzando l'attenzione sull'evoluzione delle tecniche e sui metodi utilizzati per valorizzare in chiave espressiva i getti in opera, individuando alcuni dei contributi originali nella costruzione italiana del Novecento.

Le prime sperimentazioni

Sul valore estetico del materiale si accende presto un animato dibattito in tutta Europa e dai consessi internazionali dei primi anni del secolo si apre un panorama articolato: oltre a chi ritiene che il calcestruzzo vada rivestito "con materiali che, per il loro aspetto e la loro ricchezza, facciano dimenticare la povertà di quella concrezione"[1], vi è chi riconosce nella sua lavorazione la similitudine con i principi della costruzione di ogni altro lavoro d'arte colato a stampo e proprio come una statua di bronzo, che viene "prima progettata in creta da uno scultore, poi modellata in gesso da un tecnico e finalmente colata in metallo da una fonderia, così allo stesso modo una costruzione in calcestruzzo dovreb-

be "esser progettata da un architetto, modellata da uno scultore ed alfine gettata da un impresario edile"[2]; ma cogliendo le difficoltà di ottenere, per mezzo della cassaforma di legno, altro che forme semplici e comunque assimilabili ad una poligonale - anche se con tanti lati -, si coglie insieme un valore fondamentale della tecnica costruttiva e cioè che la rifinitura della superficie del calcestruzzo è in stretta correlazione con i metodi di assemblaggio e preparazione delle casseforme.

L'esigenza che prevale riguarda l'opportunità di ottimizzare i tempi del cantiere ed economizzare sui materiali, anche attraverso l'uso di sistemi più razionali. È sui solai che convergono le proposte di nuove casserature, in sostituzione delle pignatte. Fin dal secondo decennio del Novecento numerosi e stravaganti sono i brevetti per fare a meno del laterizio: cartone bitumato, reti e lastre metalliche, canne vegetali, cemento amianto sono solo alcuni dei sistemi proposti. Il tentativo di razionalizzare le fasi lavorative spinge a contrarre non solo i tempi di preparazione delle strutture atte ad accogliere il getto, impiegando materiali più facilmente lavorabili, ma anche quelli successivi di rifinitura, scegliendo materiali in grado di assicurare una superficie che, appena scasserata, appaia liscia e regolare. Il legno, nella sua veste più modesta di cascami e fibre, contribuisce alla produzione di materiali economici e di ottime capacità meccaniche, come la Masonite[3], impiegata per controforme di solai, o l'Eraclit che, oltre le proprietà isolanti, manifesta una notevole versatilità quando viene impiegato in lastre curve di appena 3 centimetri di spessore, trattenute da una rada centinatura di legname, per sostenere il getto di cupole in calcestruzzo[4]. Tra gli anni venti e trenta il campionario dei prodotti edilizi è già ricco di una notevole varietà di soluzioni per rendere le casseforme più funzionali; non solo nuovi materiali, ma nuove modalità di impiego: casseforme a perdere o riutilizzabili, prefabbricate, smontabili, allungabili, trasformabili possono realizzare qualsiasi tipo di costruzione e qualsiasi geometria, assecondando le eventuali richieste di un mercato che in realtà resta circoscritto: infatti la tradizionale cassaforma in tavole, travetti e puntelli di legno, costruita sul posto dal carpentiere, continua ad essere la più utilizzata.

Un involucro per la "liquida melma"

Sul piano architettonico la domanda di rinnovamento non è solo di ordine funzionale. E' negli anni venti che si sviluppa in Italia un vivo interesse per le opere di A. Perret e per il suo modo di esibire il calcestruzzo, fondato su un attento uso di ordinarie casseforme. Se nell'orizzonte europeo sembra ormai affermata l'equazione tra l'espressione estetica dell'architettura moderna e le superfici levigate della costruzione in cemento armato, in Italia sono ben rare, se si escludono le opere dell'ingegneria civile, le occasioni in cui il materiale viene lasciato al naturale. La "liquida melma", come ancora negli anni trenta Ugo Oietti - tenace detrattore del "nuovo"

sistema costruttivo - chiama con malcelato disprezzo il cemento armato[5], pur essendo apprezzata per le sue indiscutibili potenzialità strutturali, non appare adatta per essere offerta nella sua grigia nudità; alla cassaforma, di fatto, si continua a richiedere di svolgere un ruolo puramente funzionale.

Bisogna guardare agli ingegneri per rilevare un diverso atteggiamento che influenzerà il compimento di una estetica del cemento armato. Fra questi P. L. Nervi riveste un ruolo di primo piano. Egli afferma in alcuni scritti che, per molti anni, i suoi studi sono stati orientati a superare gli ostacoli economici e i vincoli formali delle casseforme in legname e, se tali vincoli non saranno completamente eliminati, paventa il rischio che "l'architettura del cemento armato sarà sempre ostacolata dalla necessità di essere anche, sia pure per un solo momento, un'architettura di tavole"[6]. Alla difficoltà esecutiva delle casseforme egli attribuisce la responsabilità di aver rallentato lo sviluppo delle superfici resistenti fatte da nervature intrecciate di cemento armato a piccole maglie; per superare l'*impasse* l'ingegnere dapprima escogita un sistema per abolire completamente la cassaforma mettendo a punto la ricetta, che brevetta nel 1943, per il ferrocemento, un materiale che non richiede l'uso di alcuna opera provvisionale[7], e in seguito, alla fine del decennio, inizia a sperimentare un particolare tipo di cassero, realizzando quegli obiettivi ai quali aveva dedicato tanta parte della sua attività[8]. Si tratta di "elementi-forma" o "tavelloni" che vengono accostati tra loro in modo da lasciare uno spazio per il getto di nervature; le modalità costruttive sono del tutto simili a quelle adottate per un ordinario solaio laterocementizio, ottenendo però strutture reticolate, staticamente analoghe a quelle monolitiche e di grande suggestione architettonica.

Reinterpretando in chiave costruttiva la tradizionale tecnica per la realizzazione di elementi decorativi in cemento artistico[9], per la quale rilievi di ogni foggia erano alla portata di qualsiasi bravo artigiano, i tavelloni sono costruiti, in serie, in cantiere, utilizzando stampi di gesso, a perdere o reimpiegabili, che riproducono una porzione della superficie da realizzare[10]; sono spessi 2 o 3 centimetri, hanno forma romboidale e triangolare ed estensione superficiale limitata a 3-4 metri quadrati, per facilitarne la manovra. Levigati all'interno per eliminare il lavoro di finitura, i tavelloni sono scabri all'estradosso per migliorare l'adesione di un'eventuale soletta di conglomerato gettato in opera. L'andamento delle nervature e quindi la geometria dei tavelloni dipendono da considerazioni statiche che, come afferma l'ingegnere, sono sempre fonte di ispirazione architettonica; dipendono anche dalla opportunità di contenere al massimo il numero dei diversi tipi di casseforme: le volte di rotazione, ad esempio, si mostrano particolarmente adatte perché è sufficiente predisporre le forme corrispondenti ad un solo settore radiale; ma anche i solai di grandi ambienti, per i quali è possibile sfruttare la ripetizione di una maglia modulare.

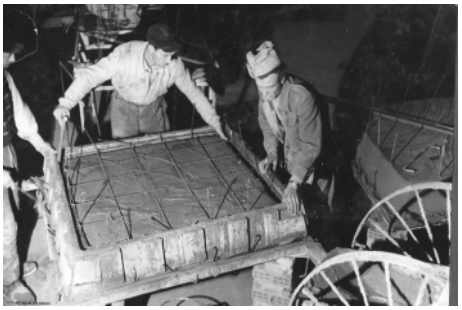


Fig. 1 – Una fase di costruzione dei tavelloni



Fig. 2 – Semicupola del salone principale di Torino Esposizioni

A proposito dei costi Nervi non nasconde che l'uso di queste particolari casseforme comporti una spesa molto superiore a quella delle normali, anche a causa della "maggior accuratezza dei getti e di tutti gli altri particolari esecutivi"[11], ma in una valutazione economica generale egli sostiene che il risparmio è conseguito per il minore uso di intonaci, rivestimenti e tinteggiature; resta il fatto che per l'edilizia civile il confronto economico con i sistemi tradizionali, a più di dieci anni dall'invenzione e con molte esperienze all'attivo, non appare ancora soddisfacente[12].

Tra le prime sperimentazioni di questa tecnica sui sistemi voltati vi è la copertura di un magazzino alla periferia di Roma, progettata da M. Busiri Vici nel 1945; ma ben più significative sono state le applicazioni successive, tra le quali spiccano il Palazzo di Torino Esposizioni (1949-50) e il Palazzo dello Sport a Roma (1958-60).

Non meno suggestivo e razionale è l'esito sui solai, dove le nervature possono disporsi con una maggiore libertà formale, come nell'edificio della nuova Manifattura Tabacchi a Bologna (1951-52). Qui, oltre ad una più sensibile economia dovuta all'elevata riutilizzabilità degli elementi, circa 30 volte, il sistema è abbinato all'uso di un cemento ad alta resistenza e al particolare apparato di ponteggi spostabili, consentendo di gettare una campata completa di circa 213 mq ogni 24 ore.

Alla facilità costruttiva degli stampi è anche dovuta la possibilità di mettere in atto un'idea, poi brevettata, di un collaboratore di Nervi, l'ingegnere Aldo Arcangeli, secondo la quale le nervature del solaio possono disporsi sulle isostatiche dei momenti, ottenendo strutture a reticolo, tipiche degli organismi naturali. Impostati secondo questa tecnica, i fasci flessuosi dei solai del Lanificio Gatti (1951), mostrano una trama di grande efficacia figurativa alla quale corrisponde una altrettanto grande efficienza strutturale e, di conseguenza, la massima economia.

Con la ripresa del settore delle costruzioni che si compie negli anni cinquanta si registrano studi più incisivi sulla organizzazione del cantiere[13]. Le casseforme sono tra le prime attrezzature del cantiere ad essere interessate da una

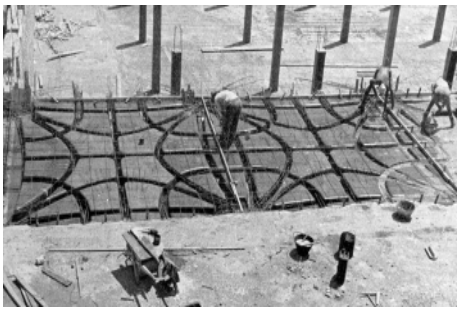


Fig. 3 – Le casseforme in ferrocemento per il Lanificio Gatti

profonda revisione: si moltiplicano meticolose valutazioni che riguardano la loro incidenza economica in relazione agli elementi costruttivi, alla tipologia edilizia, al numero di piani: per quelle in legno si considerano i quantitativi di materiale nuovo e le relative perdite, di chiodi e punte, le ore/uomo necessarie per lo scarico, messa in deposito, trasporto al banco dei carpentieri e posa in opera; per quelle metalliche, dove è sensibile il risparmio di manodopera, il rendimento è stimato sulla base dei possibili reimpieghi, dei sistemi di fissaggio, del peso, della modularità, delle dimensioni degli oggetti da realizzare. I manuali tecnici pubblicano tabelle di confronto dei dati per consentire un'attenta valutazione tra diversi sistemi. A tutto ciò si accompagna una più spinta meccanizzazione del cantiere e una maturità tecnico-organizzativa delle imprese, anche se circoscritta ai cantieri delle grandi opere di ingegneria civile, perché i pur importanti cantieri della residenza pubblica continueranno ad usufruire di una prudente meccanizzazione e a seguire una prassi operativa più tradizionale. La ricerca tecnologica che riguarda le casseforme

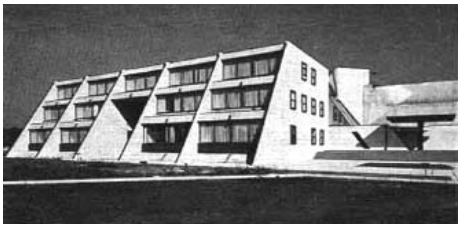


Fig. 4 – Edificio della R.E.S. Coop

spinge verso la riduzione delle lavorazioni artigianali di carpenteria per incrementare i livelli di produttività, conseguire maggiori economie di scala e rapidità di esecuzione. Si perfezionano le casseforme in lamiera di acciaio, sono introdotte le materie plastiche, più costose e monouso, che non richiedono alcuna pulizia ne' preparazione, offrono innumerevoli soluzioni per le superfici a vista e consentono quella infinita varietà di forme anticipata da Nervi; qualche esperienza riguarda quelle gonfiabili e, con maggiore interesse, entrano nel cantiere i sistemi a tunnel, che razionalizzano la tradizionale componentistica del cassero, la sua stabilizzazione, l'usuale metodologia di getto e di maturazione. Negli anni settanta, dopo le prime applicazioni dei tunnel per la realizzazione di quartieri di edilizia residenziale pubblica, emerge la richiesta di superare la rigidità progettuale ed operativa tipica del sistema, vagliandone le potenzialità architettoniche; una sperimentazione che punta all'apertura del *coffrage tunnel* verso edifici caratterizzati da una più ampia flessibilità d'uso appare la costruzione della nuova sede della R.E.S. Coop a Lugo di Romagna (110 posti di lavoro), su progetto di S. Lenci, inaugurata ad ottobre del 1976. Il rustico del

complesso viene costruito in 45 giorni e completato in 10 mesi[14].

Ma i ritmi imposti da questa tecnologia, strettamente scanditi da precise e intrasferibili fasi lavorative ne segneranno il destino, facendola praticamente uscire di scena nel giro di qualche lustro.

L'inseguimento di nuove sfide costruttive e l'affinamento delle tecniche di sollevamento idraulico e meccanico, conducono nel contempo all'impiego delle casseforme a ripresa: scorrevoli, rampanti e semirampanti. Le scorrevoli si diffondono in Italia nei primi anni sessanta, anche se le prime rudimentali applicazioni risalgono all'inizio del secolo negli Stati Uniti, e le altre iniziano ad essere prodotte in Europa nel decennio successivo.

Le opere d'arte dei cantieri autostradali divengono laboratori privilegiati della sperimentazione tecnologica. I sistemi, a ripresa, più affini alla complessità di una macchina che non alla artigianalità della cassaforma, oltre a incidere sulla concezione statica delle opere, inducono un profondo cambiamento nell'organizzazione del lavoro poiché sovvertono sia il concetto tradizionale del getto entro un involucro fisso, sia il carattere stanziale del cantiere: la costruzione è "trafilata" in verticale, guadagnando altezze che ancora oggi appaiono straordinarie, e in orizzontale, eliminando per le grandi luci i condizionamenti delle centine; nel contempo il cantiere segue fisicamente la costruzione, trovandosi sempre in strettissima prossimità con la parte da realizzare, con evidenti vantaggi sui tempi di lavorazione. I casseri a ripresa si impongono inizialmente nel campo delle opere di ingegneria civile, dove le ciminiere e le pile dei viadotti autostradali costituivano per l'Italia veri record di altezza; svincolandosi dai sostegni provvisori a terra, sono presto utilizzati per tutte le costruzioni a prevalente sviluppo verticale e, infine, si mostrano adatti a geometrie elaborate, con tracciati poligonali o risalite su superfici curve, rivelando un'inaspettata versatilità.



Fig. 5 – Le pareti a doppia curvatura della chiesa a Bibione realizzate con casseforme semirampanti

Esemplare, in questo senso è lo sfruttamento di casseri semirampanti per le pareti della Chiesa - auditorium del Centro turistico "Santo Stefano" a Bibione (VE). Le superfici a doppia curvatura rievocano la chiesa progettata da R. Meier per il Giubileo e realizzata con diverso sistema costruttivo: analoga è la geometria complessiva e la maglia di meridiani e paralleli tracciati sulle porzioni di sfera che a Bilione sono realizzati, ricorrendo paradossalmente all'abilità delle maestranze, da segnature interne alle casseforme e dalle riprese di getto[15].

La centralità del cantiere

Sul fronte dell'immagine architettonica l'eccezionalità dei risultati è spesso affidata anche a soluzioni eseguite "su misura" e, dunque, artigianali. L'Italia peraltro vanta una notevolissima tradizione di carpentieri, particolarmente apprezzata da Le Corbusier che, per l'Unità di abitazione di Marsiglia, fa assumere carpentieri provenienti da Genova[16]. Così, mentre la cassaforma si appresta a diventare un complesso sistema di meccanismi, vi sono progettisti che la riportano alla scala della pratica di cantiere. Carlo Scarpa, è tra questi; egli non si affida solo alla buona "regola dell'arte" ma alla pazienza e alla maestria di eccellenti artigiani; anzi, le consolidate raccomandazioni esecutive per i getti in opera, divulgate in tutta la manualistica, sono deliberatamente disattese. Il suo calcestruzzo a vista non esibisce la funzione strutturale ma è sempre interpretato in chiave puramente espressiva, in un continuo scambio di ruoli tra materiale costruttivo e decorativo. Le superfici ideate da Scarpa, levigate o scabre, mettono in tensione la compagine muraria; a questo scopo seleziona con cura la miscela, vi associa materiali diversi, sceglie o "inventa" tecniche di getto e di finitura, utilizza in modo spesso eterodosso, un vero repertorio di casseforme. Anche quando il calcestruzzo scarpiano sembra uscire "grezzo" dalla cassaforma è su questa che si è incentrato lo studio. Nel 1954 Scarpa utilizza pionieristicamente casseforme con il paramento in costosi pannelli di liscio compensato, per le pareti del Padiglione del Venezuela alla Biennale veneziana; il suo scopo non è, come da manuale, ottenere superfici levigate ma riuscire ad avere una trama accentuatamente porosa e irregolare data dalla prevalenza nell'impasto di inerti di grossa granulometria, pesantemente segnata dalle riprese dei getti e dei nidi di ghiaia ma non dall'impronta del legno né dai giunti tra le tavole. Con materiali ordinari come le tavole di abete lunghe 4 m e spesse 2-3 cm, e sfruttando l'azione di nuovi additivi ottiene il "legno-cemento"[17]; ma le tavole devono essere usate 'una sola volta', nuove di zecca, 'col pelo', non levigate. Ancora ordinari sono i morali, legnami da costruzione segati a spigolo vivo, di sezione 5x5 cm e lunghi 4 metri; non servono però ad irrigidire il cassero ma, affiancati e sfalsati, realizzano il cassero stesso e danno luogo alle pareti plissettate che modulano la Tomba Brion (1969-78).

È sulla profonda conoscenza delle pratiche del cantiere che si basa il sistema usato per segnare le pareti dell'Arcosolio: Scarpa forse interpreta in chiave creativa la cosiddetta "cassafor-



Fig. 6 – La parete dell'Arcosolio alla Tomba Brion

ma a cancello", utilizzata in genere per risparmiare legname: questa è costituita da un paramento in tavole distanziate, sostenuto da un altro tavolato rado orizzontale o verticale[18]; la porzione di un impasto ad elevata consistenza che, dopo il getto, fuoriesce dagli interstizi tra le tavole serve a migliorare l'adesione di un rivestimento di lastre, ma per Scarpa è materiale da scalpellare e lasciare grezzo, per ritmare verticalmente i piani di calcestruzzo.

Radicalmente diversa, ma altrettanto sofisticata, è l'attenzione che G. Michelucci dedica alle casseforme. Per la Chiesa di San Giovanni Battista "dell'Autostrada" (1960-64) sceglie legname con larghe venature, proveniente dall'Unione Sovietica, seleziona con cura le tavole da utilizzare una sola volta per evitare la ripetizione della trama sul calcestruzzo e "privilegiare esclusivamente le venature naturali del legno"[19].

Al contrario, nella Chiesa dell'Immacolata Concezione della Vergine a Longarone (1966-78) prescrive che le superfici dei getti "non siano né lisce né con la venatura del legno posta troppo in evidenza"; pur lasciando ampia libertà alle maestranze Michelucci richiede l'impiego di casseri costruiti con tavole di spessore diverso e "senza regolarità ripetitiva sì da rendere la superficie del calcestruzzo più plastica e vibrante della luce"[20].

La produzione industriale

Negli anni settanta si diffondono in Italia le casseforme di CFRG (Glass Fiber Reinforced Concrete), calcestruzzo rinforzato con fibre di vetro. Sono realizzate in stabilimento spruzzando una miscela di cemento, sabbia e fibre di vetro entro stampi di compensato e resine sintetiche, rivestiti con una vernice poliuretanica o resine epossidiche (epoxy) per ottenere una superficie del getto estremamente liscia. La presenza di fibre resistenti a trazione conferisce allo stampo un elevato comportamento meccanico, superiore a quello di un normale calcestruzzo, e quindi un alto numero di reimpieghi.

Casseri di questo materiale sono inizialmente impiegati per la produzione di elementi prefabbricati e in questa veste L. Moretti li aveva sfruttati già nel de-



Fig. 7 – Costruzione delle casseforme per la copertura della Chiesa dell'Autostrada



Fig. 8 – Posa in opera delle casseforme in calcestruzzo fibrorinforzato per la Moschea di Roma

cennio precedente, dopo averne fatto realizzare un prototipo in Italia, per il complesso del Watergate a Washington, dove furono reimpiegati per circa 60 volte[21].

Trovano la consacrazione per l'impiego di getti in opera nella costruzione della Moschea di Roma (1974-89)[22]; in quella occasione il loro uso è suggerito dalla complessità geometrica dei pulvini dei pilastri prefabbricati della sala di preghiera, dalla necessità di realizzare un collegamento monolitico con lo stelo sottostante e di ottenere una superficie liscia ed uniforme. In questo caso si è trattato di casseforme a perdere con le pareti sottili da 14 a 20 mm in modo che, a getto ultimato, le dimensioni del nodo risultassero minime.

Oggi la cassaforma continua ad essere un tema centrale nel panorama architettonico italiano ed internazionale. La qualità estetica delle superfici di calcestruzzo di Tadao Ando si impone come un riferimento costante. Prodotto di serie e frutto di una tecnologia complessa e raffinata, la cassaforma può ancora richiedere espedienti mirati per soddisfare le esigenze del progettista, come nel caso del cantiere del MAXXI, a Roma, su progetto di Zaha Hadid. Qui, oltre ad aumentare le dimensioni del cassero standard, per ridurre il numero dei segni di ripresa, è stato necessario irrigidirlo per consentire smisurati volumi di getto, realizzare i paramenti in multistrato di betulla per cercare di ottenere una superficie liscia e cromaticamente uniforme, modificare la posizione dei tiranti in modo che la parete finita rievochi la fatica della fase costruttiva: le sequenze orizzontali dei segni dei tiranti si diradano mano a mano che si innalzano sulla parete e testimoniano l'attenuazione delle spinte sulla cassaforma con il crescere dell'altezza.

L'originario involucro di tavole è diventato un raffinato prodotto industriale, adattabile alle esigenze progettuali ma costretto a misurarsi con la mutevole realtà del cantiere che condiziona sempre, anche se in diversa misura, la certezza degli esiti.

[1] Conferenza tenuta da J. Bassegoda in Atti dell'International Congress of Architect, in *The Architect and Contract Reporter*, 20 luglio 1906, pp. 42-46, ora in C. Croft, *Materiali in architettura. Calcestruzzo*, Modena, Logos, 2005, p. 11.

[2] Cfr. il resoconto degli interventi al VI Congresso Internazionale degli Architetti, Madrid 1904, riportati in P. Collins, *La visione di una nuova architettura*, Milano, Il Saggiatore, 1965, p. 107 e segg.

[3] Cfr. G. Minnucci, *La "Masonite"*, "L'ingegnere", 1930, vol. IV, n. 10, p. 603; E.A. Griffini, *Costruzione razionale della casa. I nuovi materiali*, Milano, Hoepli, 1932, p. 81.

[4] Cfr. id, *L'"Eraclit" nella costruzione di cupole*, "L'ingegnere", 1930, vol. IV, n. 8, p. 560.

[5] Cfr. G. Pagano, *I materiali della nuova architettura*, "La Casa Bella", 1935, n. 5, p 10.

[6] Cfr. P.L. Nervi, *Costruire corretamente. Caratteristiche e possibilità delle strutture cementizie armate*, Milano, Hoepli, 1965, 2°, p. 43.

[7] Cfr. C. GRECO, *Pier Luigi Nervi: dal brevetto Hennebique al brevetto del ferrocemento*, in "Rassegna di architettura e urbanistica", 2007, n. 121-122, pp. 75-89.

[8] P.L. NERVI, "Perfezionamento nella costruzione di solette, lastre ed altre strutture cementizie armate", brevetto n. 455750, 23 luglio 1949; "Procedimento di costruzione per la realizzazione di superfici resistenti piane o curve costituite da reticolati di nervature in cemento armato, completate o meno da soletta di collegamento tra le nervature" brevetto n. 465636, 19 maggio 1950 (ACS, Fondo Brevetti).

[9] La lavorazione degli stampi era laboriosa ma, analogamente agli obiettivi perseguiti da Nervi, si potevano prefabbricare molti pezzi ed ammortizzare i costi.

[10] P.L. NERVI, *Costruire*, cit, , p. 35; S. Mornati, *Lo stabilimento Kursaal di Lapadula e Nervi*, Roma, Gruppo Mancosu, 2007.

[11] P.L. NERVI, *Costruire*, cit, 1955[1], p. 44.

[12] Id., *L'evoluzione delle strutture in cemento armato*, Torino, Hoepli 1957.

[13] Il primo insegnamento universitario di Organizzazione del cantiere si istituisce nel 1955 al Politecnico di Milano.

[14] Cfr. S. LENCI, *Che cosa è la nuova sede*, "Bollettino interno di informazione RESCOOP, 1976, n.1, pp. 7-8; S. Rossi, *Sede della Rescoop a Lugo di Romagna*, "L'architettura cronache e storia", 1976, n. 254, pp. 422-430

[15] Progetto architettonico: G. e P. Fantuzzi, T. Fantuzzi, A. Chiarot; calcolo strutturale: M. Bernard (Cescutti & Associati); cfr. Mornati, *Affinità geometriche e alternative tecnologiche*, "L'Industria delle costruzioni", 2004, n. 375, pp. 92-97.

[16] Cfr. J. SBRIGLIO, *Le Corbusier. L'Unité d'habitation de Marseille*, Marseille, Parenthéses, 1992, p. 135.

[17] M. BRUSANTIN, *Carlo Scarpa architetto veneziano*, "Controspazio", n. 3-4, 1972, pp 2-85.

[18] Cfr. E. DONAGGIO, *Le casseforme per il calcestruzzo, le grosse armature per ponti e altre strutture, materiali, criteri e dettagli esecutivi, calcolo delle strutture in legno*, Milano, Pirola, 1981, p. 102.

[19] G. LAMBERTINI, *Costruendo la Chiesa dell'Autostrada del Sole*, "L'Industria italiana del cemento", 1964, n. 4, pp., 233-248.

[20] Cfr. C. CONFORTI, R. DULIO, M. MARANDOLA, *Giovanni Michelucci 1891-1990*, Milano, Electa, 2006.

[21] G. CARRARA, F. DI VARMO, *La cassaforma come matrice costruttiva*, "Quaderni della Cattedra di Architettura tecnica – edili", 1974, n. 3.

[22] Progetto P. Portoghesi, V. Gigliotti, S. Mousawi, strutture Studio Tecnico CFR. Fra la ricca bibliografia sulla Moschea si segnala P. Cocomello, L. Palozzi, *Aspetti tecnologici e prefabbricazione in c.a. per la realizzazione della Moschea di Roma*, "L'Industria italiana del cemento", 1992, n. 670, pp. 598-627.

RAFFAELE AMORE

Prime applicazioni del calcestruzzo armato nella trasformazione di antichi edifici a Napoli

Nella seconda metà dell'Ottocento la meccanizzazione della produzione industriale ha messo a disposizione del settore edilizio nuovi materiali e nuove tecniche costruttive, sollecitando l'uso di attrezzature di cantiere e impianti sempre più avanzati, tanto da richiedere agli operatori conoscenze aggiornate ed approfondite. Nel giro di qualche decennio strade, ferrovie, porti, gallerie, reti urbane di fognatura, condotte per acqua potabile, gas ed elettricità, impianti di riscaldamento e di illuminazione, e, poi, reti telegrafiche e telefoniche, ascensori, servizi igienico-sanitari, passarono dalla fase di studio e di sperimentazione a quella di realizzazione su vasta scala. In tale scenario, ricco di cambiamenti, la diffusione di nuove tecnologie edilizie fu sostenuta dalla pubblicazione di specifici manuali[1], destinati agli allievi delle neonate scuole tecniche[2] ed ai professionisti che ne uscivano. Analogamente, alcune riviste specializzate contribuirono ad informare i tecnici del settore sulle innovazioni e sulle nuove tecniche costruttive[3]. Tra queste, quella del cemento armato rappresenta una tra le più importanti, tanto da rivoluzionare nel giro di pochi decenni il cantiere edile.

Come è noto la letteratura specialistica individua in J.L. Lambot e J. Monier[4] gli inventori del cemento armato, poiché con le loro realizzazioni consacrarono le esperienze che da diversi decenni venivano svolgendosi in più nazioni[5]: esperienze che si fondavano sulla intuizione delle qualità del nuovo materiale e su di un empirico sfruttamento delle sue caratteristiche di resistenza[6].

Intanto, in Francia si sperimentarono le prime applicazioni: nel 1855, nel corso dell'Esposizione Universale di Parigi, J.L. Lambot un imprenditore di Tolone, espose una barca realizzata con una griglia metallica ricoperta da un rivestimento di 4 cm di "béton".



Fig. 1 - La barca costruita da J.L. Lambot nel 1855 per l'Esposizione Universale, da AA.VV. Joseph Monier… op. cit, *p. 23*

F. Coignet nel 1861, già inventore del *béton aggloméré*, pur senza indagare sperimentalmente il rapporto tra i due materiali, ipotizzò di aumentare la resistenza del calcestruzzo inserendovi all'interno barre di ferro[7]. Tra il 1877 e il 1878, J. Monier, giardiniere della Orangerie di Versailles, depositò il primo bre-

vetto industriale in cui si fa esplicito riferimento al ruolo dell'acciaio nella composizione del calcestruzzo di cemento armato. Egli aveva già da una ventina d'anni sperimentato l'utilizzo di tale tecnica per costruire vasi per l'orticoltura[8] e serbatoi. Rispetto a Coignet, Monier aveva intuito le grandi possibilità strutturali della nuova tecnica costruttiva e, pur non avendo chiaro il suo funzionamento statico, propose il suo brevetto ad alcune imprese in Belgio, Olanda, Austria e Germania.

L'ingegnere tedesco G.A. Wayss, in occasione dell'esposizione di Anversa del 1885, conobbe il brevetto del francese, e nel 1887 fondò una società per l'utilizzazione dei calcestruzzi Monier, insieme a C. Freytag ed all'impresa Martenstein & Josseeaux.

Nell'ultimo ventennio dell'Ottocento, dunque, si avviò lo studio sistematico del cemento armato, passando dalla fase della intuizione a quella della sperimentazione scientifica. Nel 1877 T. Hyatt pubblicò quello che è considerato il primo autentico trattato sull'argomento[9]. Dieci anni dopo, nel 1886, l'ingegnere Wayss e il costruttore governativo delle Province renane, M. Koenen, pubblicarono un articolo sulla rivista «*Zentralblatt der Bauverwaltung*» e l'anno successivo un volume nel quale si fissavano i principi generali per il dimensionamento delle sezioni in cemento armato[10].

Intanto, nel 1892 il belga F. Hennebique depositò il suo primo brevetto[11]. La sua grande intuizione fu quella di puntare ad ottenere un sistema monolitico compatto attraverso la composizione di singoli elementi, ovvero di ottenere solidi costituiti da una maglia strutturale modulare, costituita da pilastri, travi e piastre. Oltre all'efficacia ed alla semplicità costruttiva, la larghissima diffusione di tale brevetto va ricercata nella imponente struttura organizzativa di vendita e di assistenza ideata da Hennebique, che poteva garantire uniformità di risultati, anche in situazioni e luoghi diversi[12]. In Italia i leganti idraulici furono introdotti intorno al 1850 in Piemonte[13]. Rispetto all'industria siderurgica, penalizzata dalla mancanza di materia prima, l'industria del cemento, in tempi relativamente brevi, si organizzò in modo efficiente, sviluppandosi in maniera continua, anche se con un certo ritardo rispetto agli altri Stati.

Mentre in Inghilterra ed in Germania il cemento prodotto era quasi unicamente cemento portland artificiale, in Italia almeno fino agli inizi del Novecento, fu prodotto solo cemento portland naturale, ricavato, cioè, dalla cottura di calcari argillosi "*dei sedimenti terziarii dell'eocene*"[14]: la produzione nel 1898 raggiunse circa 1 milione di quintali[15].

La versatilità del cemento fu subito apprezzata dalla cultura tecnica di stampo positivista che vedeva nell'utilizzo del nuovo materiale e nella industrializzazione dei componenti e dei processi edilizi, la possibilità di ottimizzazione delle prestazioni, e, quindi, una maggiore economicità e razionalità costruttiva. Così come in Europa, anche in Italia un ruolo determinante nella diffusione delle conoscenze relative alla tecnica del ce-

mento armato va attribuito alle riviste[16]. Nel 1887 sulla *Rivista di Artiglieria del Genio*[17] fu presentato il sistema Monier, rappresentato in Italia dall'ingegnere E. Bennati; l'anno successivo su *L'industria*[18], fu pubblicato un altro articolo dedicato al medesimo brevetto. Successivamente, nell'estate del 1897, *Il Monitore Tecnico* pubblicò una interessante relazione, intitolata "*Sulle applicazioni delle costruzioni in calcestruzzo armato*", elaborata da una Commissione speciale in seno alla Società degli Ingegneri e Architetti di Roma[19], presieduta dall'ing. Vacchelli. Due anni dopo, nel 1899, lo stesso tecnico, pubblicò un volume dal titolo "*Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*".

Il crescente interesse intorno alle realizzazioni in cemento armato portò nel 1907[20] all'emanazione del primo strumento legislativo per regolamentare tali strutture. Si trattò di una vera e propria svolta nel campo dell'edilizia poiché sanciva l'avvenuta affermazione di tale tecnica e, quindi, la necessità di sottrarla a scelte arbitrarie, affermando l'esigenza di un attento controllo in cantiere[21], oltre che di una corretta progettazione[22], rafforzando il ruolo dell'ingegnere nell'ambito del progetto esecutivo e del calcolo strutturale.

A fronte di tali indirizzi generali, lo sviluppo della tecnica del cemento armato si differenziò, in Italia, in maniera notevole da regione a regione ed ebbe un maggiore e più veloce sviluppo nelle regioni del nord. Così come nel resto di Europa, la sua diffusione fu condizionata dalla agguerrita concorrenza tra i diversi sistemi costruttivi brevettati. In tal senso, in alcune città come Torino e Genova, l'impiego di tale tecnica si ebbe quasi esclusivamente attraverso l'uso dei brevetti di F. Hennebique, grazie all'attività di G. A. Porcheddu[23], titolare dello *Studio tecnico Hennebique, Agenzia generale per l'Alta Italia*, mentre in altre realtà urbane come Milano, dopo alcuni iniziali successi, tale brevetto fu contrastato dalla presenza di numerosi operatori locali.

Agli inizi del XX secolo le caratteristiche del cantiere edilizio nell'area napoletana erano certamente diverse da quelle di altre grandi città del nord Italia. Come è noto, la quasi totalità dei materiali da costruzione utilizzati a Napoli per l'edilizia storica venivano cavati direttamente dal sottosuolo della città e dell'hinterland, ricchi di depositi vulcanici dalle eccellenti qualità meccaniche e fisiche. Sin dall'antichità i costruttori napoletani hanno utilizzato materiali quali il tufo, il piperno, la pietrarsa, il lapillo, la pozzolana, per realizzare le loro fabbriche, consolidando nel tempo una ricca tradizione operativa[24]. Dunque, mentre in altre città italiane si assisteva ad una progressiva trasformazione del cantiere edile, a Napoli i più importanti interventi edilizi attuati, quali il Risanamento dei quartieri bassi della città e l'edificazione del quartiere Vomero, si caratterizzarono per un l'impiego quasi esclusivo di tecniche e materiali tradizionali, ovvero murature portanti di tufo[25] e malte di calce e pozzolana. Tale particolarità va interpretata alla luce, oltre che della ottima qualità dei materiali

edilizi locali, della particolare situazione economica della città. Infatti, a causa dell'alto tasso di disoccupazione il prezzo della manodopera era molto basso, al punto che le imprese edili, provenienti anche dall'estero, preferivano utilizzare tecniche tradizionali conosciute dalle maestranze locali, piuttosto che tecniche innovative, a più bassa incidenza di manodopera, ma che richiedevano maggiore specializzazione degli operai e la meccanizzazione del cantiere. Per tali ragioni, dunque, nel napoletano l'affermazione di materiali e tecniche edilizie moderne registrò un certo ritardo rispetto ad altri siti italiani. Va, poi, segnalato che le malte tradizionali, a base di calce e pozzolana, offrivano caratteristiche di resistenza ed idraulicità analoghe a quelle dei cementi artificiali in commercio e, cosa non trascurabile, ad un costo inferiore[26].

Dunque, almeno fino agli anni Venti del Novecento, la diffusione delle strutture in cemento armato nel napoletano fu limitata: e ciò nonostante il fatto che nell'ultimo decennio dell'Ottocento, sulla scia del grande successo internazionale, anche a Napoli erano stati commercializzati i prodotti del sistema Hennebique grazie all'ing. Martorelli, agente generale della società per la città dal 1896 e dal 1898 per l'intera Italia meridionale, ed alla impresa Garibaldi Perroni & C., concessionaria del brevetto dal 1901. Il mancato inserimento di tale sistema nei capitolati tecnici della Società pel Risanamento, però, impedì la sua capillare diffusione, tant'è che nel 1914 nessun tecnico o imprenditore napoletano appare nell'elenco degli agenti e concessionari in Italia[27].

Vanno, comunque, segnalate due interessanti realizzazioni di solai Hennebique di grandi dimensioni nell'edificio della Borsa[28] e nell'ex monastero di S. Patrizia[29] che, pur rappresentando esempi significativi, resteranno un'eccezione. In condizioni *ordinarie*, tanto in interventi di nuova edificazione, quanto in interventi di parziale riuso, infatti, i costruttori napoletani preferirono utilizzare altre tipologie di solai moderni, come quelle in acciaio e laterizi, anche perchè le putrelle erano prodotte nello stabilimento della ILVA di Bagnoli, in funzione dal 1910[30].

La tecnica del cemento armato fu, dunque, utilizzata raramente in quegli anni e, soprattutto, a fronte di esigenze particolari, eccezionali, per le quali non era possibile ricorrere alle tecniche tradizionali. A tal proposito, vanno segnalati per il loro interesse alcuni lavori in "breccia", realizzati a Napoli nel primo ventennio del XX secolo, per integrare e/o sostituire le murature tradizionali esistenti, sia in caso di dissesti, che nel caso di trasformazioni di ambienti da adattare a nuove funzioni. Tra questi va citato quello eseguito nel 1907 dall'ing. D. de Francesco che realizzò una piattabanda in breccia nell'Hotel Riviera per eliminare un muro portante al piano terra ed unire due sale attigue per formare un unico grande salone[31]. E, ancora, quello realizzato nel 1911 dallo stesso tecnico per consolidare una volta settecentesca in tufo, nell'edificio del liceo Umberto I.

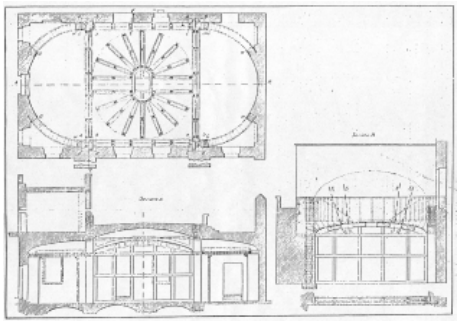


Fig. 2 - Consolidamento di una volta al Liceo Umberto I di Napoli, da D. De Francesco, op. cit. *p.18*

In particolare, in tale occasione furono costruiti quattro pilastri di cemento armato di sezione ad "L", con relativa fondazione, incastrati nella esistente muratura d'ambito, collegati in sommità da quattro travi, di altezza pari all'intero spessore della volta, in modo che, a lavoro ultimato, la stessa si trovasse chiusa in un solido telaio in calcestruzzo di cemento armato.

Interventi simili furono, altresì, eseguiti per la costruzione del grande salone della Banca di Calabria in via Depretis e per la trasformazione del locale dell'ex Caffè Umberto I (1922) nell'omonimo cinema, all'interno della galleria Umberto I, con la conseguente "*abolizione di muri, sostituiti da telai di cemento armato (dormienti, pilastri e piattabande) eseguiti, come al solito in breccia, sotto il controllo di tutti i proprietari soprastanti, i quali non poterono lamentare la minima lesione ai piani superiori*"[32].

Si segnalano, ancora, due interventi compiuti dall'ingegnere Camillo Guerra[33], ovvero le opere di sottofondazione del convento con annessa chiesa di Santa Maria della Soledad[34] a Pizzofalcone, e quello delle strutture di copertura di alcune sale del Museo di S. Martino. Nel 1915 il Guerra, funzionario del Genio civile di Napoli, fu incaricato di eseguire i lavori di sottofondazione del portico di ingresso del citato convento, che presentava gravi lesioni, secondo un progetto già predisposto che prevedeva di approfondire le fondazioni degli otto pilastri del portico, poggianti su un banco di pozzolana a sei metri di profondità, fino a raggiungere la roccia tufacea, a circa diciotto metri dal livello della pavimentazione. Prima di iniziare i lavori, Guerra eseguì alcuni saggi dai quali risultò che, proprio al di sotto dei pilastri da sottofondare, esistevano alcune caverne[35]. Non potendo trasferire il carico a strati di terreno o di roccia più resistenti, fu necessario, dunque, allargare la base fondale, per diminuire la pressione unitaria agente sul terreno. Furono, quindi, progettate e realizzate sottofondazioni con soletta in c.a., che ridussero a 0,30 Kg/cmq il carico trasmesso ai terreni di fondazione[36]. Successivamente, lo stesso Guerra realizzò diverse strutture di copertura in c.a. nel Museo di San Martino. Dopo la demolizione delle antiche celle sul lato sud del chiostro, furono costruite nove diverse sale per l'esposizione della "*Storia del Costume*". Ogni sala fu ricoperta con un solaio formato da quattro travi incrociate che sorreggevano un ampio lucernaio. Al di sotto di tale solaio, Guerra progettò e realizzò finte volte a "*forma di gaveta quadrata*"[37], con al centro lo spazio per il lanternino, armoniz-

zando architettonicamente i nuovi spazi con quelli esistenti. Analogamente, ideò e realizzò una speciale copertura in cemento armato per la sala Ricciardi[38], nonché le coperture dei Saloni delle barche[39], due ambienti a pianta rettangolare in cui erano state trasportate nel 1896 due grandi barche appartenute a Carlo III di Borbone e Umberto I di Savoia.

Nel 1927, ancora, furono realizzati imponenti lavori di trasformazione dell'ex palazzo del Nunzio[40] nel "*Supercinema Sala Roma*", che, a detta del de Francesco furono "*la prova veramente decisiva dell'utilità del sistema*"[41]. Per realizzare la sala di proiezione ed i locali annessi occorreva trasformare l'intera geometria di buona parte delle murature al pian terreno che, tra l'altro, presentavano vistosi fenomeni di schiacciamento per vetustà.

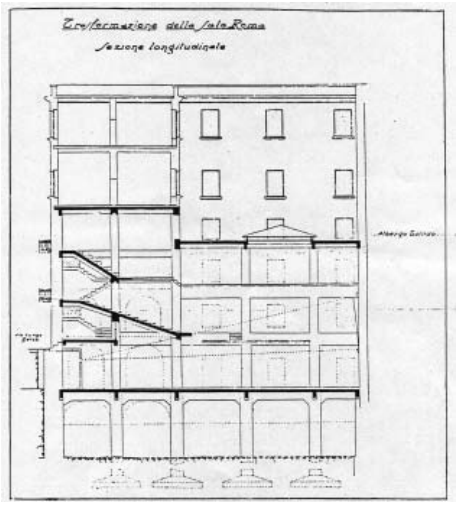


Fig. 3 - Trasformazione del Palazzo del Nunzio in Supercinema Sala Roma, Sezione, da D. DE FRANCESCO,op. cit. *p.21*

Furono realizzati, dunque, pilastri in cemento armato in breccia con le relative fondazioni ad una quota più bassa rispetto alla esistente quota fondale, molto superficiale, onde scaricare il peso su strati di terreno più resistenti e realizzare ampi locali sotterranei.

Successivamente, furono costruite, sempre in breccia, le travi in cemento armato destinate a sorreggere la parte residua del sovrastante fabbricato, provvedendo a ristabilire sempre la continuità tra le nuove opere in c.a. e le antiche strutture murarie. In sostanza dell'originario piano cantinato, piano terra, piano primo e piano secondo, "rimasero in piedi" i soli muri d'ambito, rafforzati da un'ossatura di pilastri e travi in c.a. tutti gli altri muri portanti furono demoliti per fare spazio alla sala cinematografica, garantendo, al contempo, l'utilizzo dei locali sovrastanti al terzo e quarto piano. Ultimate tali fasi, si demolirono tutte le murature divenute superflue, cominciando dai piani superiori.

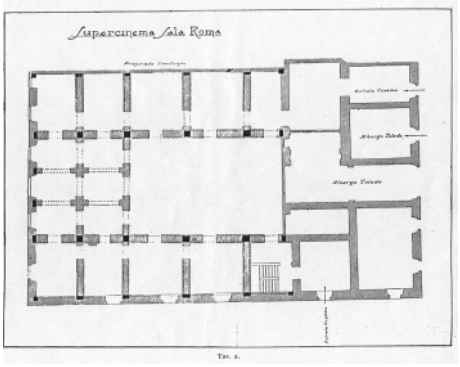


Fig. 4 - Trasformazione del Palazzo del Nunzio in Supercinema Sala Roma, Pianta, da D. DE FRANCESCO,op. cit. *p.21*

Di fatto, grazie alle potenzialità della tecnica del c.a., fu operata una totale trasformazione dello schema statico dell'edificio originario, concentrando cospicui carichi in piccole sezioni. Una tipologia di intervento oggi molto discutibile sul piano tecnico e culturale, ma che è stata utilizzata a partire dagli inizi del Novecento anche in importanti interventi di restauro strutturale di antichi edifici, tanto che nelle raccomandazioni del Congresso di Atene[42] (1931) fu riconosciuto anche dagli specialisti del restauro come legittimo "*l'impiego di materiali moderni per il consolidamento degli antichi edifici*", approvando "*l'impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna*", e "*più specialmente del cemento armato*", quali "*mezzi di rinforzo*" da dissimulare, nell'auspicio di superare i limiti delle tecniche tradizionali[43].

[1] Sull'argomento vedasi C. Giovannini, *Pedagogia popolare nei manuali Hoepli*, in «Studi Storici», n. 1, 1980, pp. 96-120. In molti casi i manuali pubblicati riproposero tematiche già trattate da testi precedenti di riconosciuta validità come quello del Breymann (G.A. Breymann, *Trattato generale di Costruzioni civili*, Milano, Napoli, Torino, Firenze, Bologna, Padova 1884, ristampa anastatica, Roma 1995).

[2] Per quanto riguarda la nascita della figura dell'ingegnere in area meridionale vedasi A Buccaro, *Da «architetto vulgo ingeniero» a «scienziato artista» la formazione dell'ingegnere meridionale tra Settecento e Ottocento*, pp. 17-43, in *Scienziati artisti, formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti degli Archivi di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, a cura di, A. Buccaro, F. De Mattia, ivi, 2003.

[3] Aa.Vv., *Riviste, manuali d'architettura, strumenti del sapere tecnico in Europa, 1910/1930*, in «Rassegna» n. 5.

[4] Aa.Vv, *Joseph Monier et la naissance du ciment armé*, Paris, 2001.

[5] Agli inizi del XIX secolo, il cemento armato non era stato ancora "ideato"; esistevano, però, diversi sistemi concorrenti tra di loro, tuttavia, il principio che sottende il funzionamento del nuovo materiale ormai era stato intuito, descritto e sperimentato già nell'ultimo ventennio del XVIII secolo. Vedasi: R. Gambetti, *Origini del calcestruzzo armato, parte I e II*, Torino, 1955; P. Collins, Concrete, *The vision of a new architecture, a study and his precursors*, London, 1959 (edizione italiana *La visione di una nuova architettura, saggio su Auguste Perret e i suoi precursori*, Milano, 1965); C. Simonnet, *Alle origini del cemento armato*, in «Rassegna» n. 49, *Cemento armato: ideologie e forme da Hennebique a Hilberseimer*, C.D. Elliot, *Technics an architecture: the development of material san systems for buildings*, Londra, 1992; T. Iori, *Il cemento armato in Italia. Dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Roma, 2001; F. Levi, *Cinquant'anni dopo. Il cemento armato dai primordi alla maturità*, Torino, 2002.

[6] In riferimento a tali esperienze si veda quanto osserva C. Cestelli Guidi in *L'evoluzione delle costruzioni di c.a e c.a.p.*, in «Atti delle giornate AICAP 91», Spoleto, 16-18 maggio 1991, pp. 3-13. Solo nella seconda metà dell'Ottocento la sperimentazione superò il momento intuitivo e, attraverso i primi tentativi di codificazione delle esperienze, si cominciò a parlare del c.a. come di un nuovo materiale strutturale. Va, altresì segnalato che lo sviluppo di tale tecnica necessitò, da un lato, della produzione su vasta scala di profilati metallici che si sviluppò dopo il 1856, anno in cui fu messo a punto il processo Bessemer, dall'altro, delle scoperte in campo chimico relative alla produzione leganti idraulici. Fino agli inizi dell'Ottocento, le conoscenze sui leganti di tipo idraulico erano di tipo empirico e si

limitavano a ciò che già i Romani avevano notato sull'impiego delle malte formate mescolando calce comune e pozzolane. Vicat, ingegnere dei Ponts et Chaussées, si dedicò dal 1812 ad interessanti studi sugli agglomerati idraulici, dimostrando che ogni calcare contenente una certa proporzione di argilla nella massa, produceva, in seguito a cottura, una calce idraulica, e che tale particolarità avveniva grazie alla combinazione chimica della silice con la calce. Vedasi G. VACCHELLI, *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, Milano 1899, seconda edizione 1906.

[7] F. COIGNET, *Demande d'un certificat d'addition au brevet du 10 novembre 1859 (n. 42,776) pour la préparation nouvelle et les applications générales et particulières d'un nouveau genre de béton, dit béton plastique*, pp. 19-25. F. COIGNET, *Bétons agglomères appliques a l'art de construire*, Parigi, 1861, pp. 97-195. A proposito dell'agglomerato di Coignet, vedasi, anche, D. DONGHI, *Manuale dell'architetto, volume primo, parte 1, materiali, elementi costruttivi e finimenti esterni delle fabbriche*, ristampa stereotipa, Torino 1925, prima edizione, Venezia, 1905, prefazione, p. VII, p.350, ed, ancora. AA.VV, JOSEPH MONIER, op. cit., pp. 30-48 e C. SYMONNET, *Le béton Coignet. Stratégie commerciale er déconvenue architecturale*, in «*Le cahiers de la recherche architecturale*» 29, 1992.

[8] Il 16 luglio 1867 Monier brevettò il progetto per la realizzazione di recipienti in cemento con armatura in ferro. Seguirono negli anni 1868, 1869 e 1873 altri brevetti, in cui si riscontrano già i concetti principali per l'armatura del cemento, per quanto ancora basati su principi empirici.

[9]T. HYATT, *An account of some experiments with Portland-cement concrete combined with iron as a building material with reference to economy of construction and for security against fire, in the making of roods, floors, and walking surfaces*, s.l. 1877, preceduto dal brevetto francese n. 111171, T. HYATT, *Perfectionnement das les bâtiments, dans leur construction et les matériaux qui y sont employés*, 22 gennaio 1876 e seguito dal brevetto americano n. 20611, T. HYATT, *Composition Floors Roof, Pavements & C* del 16 luglio 1878, citati in T. Iori, op. cit., pp. 50-51.

[10] Il metodo proposto da Wayss costituisce il primo tentativo di dimensionamento per sezioni inflesse in calcestruzzo armato: si fondava su ipotesi che si adottano ancora oggi con il metodo delle tensioni ammissibili, fornendo, però, una soluzione staticamente ammissibile non congruente. Le ipotesi di base adottate dai due studiosi tedeschi per l'analisi sezionale per la flessione semplice sono: a) conservazione delle sezioni piane come per i solidi omogenei con asse neutro baricentrico; b) materiale calcestruzzo non reagente a trazione; c) comportamento elastico lineare del calcestruzzo in zona compressa; d) nessuna aderenza fra armatura e calcestruzzo, trascurando, quindi, il coefficiente di omogeneizzazione. G.A. WAYSS, *Das System Monier (Eisengerippe mit Cementumhullung) in seiner Anwendung auf das gesammte und Bauwesen*, Berlino, 1887

[11] Brevetto francese n. 223549, F. HENNEBIQUE, *Combinaison particuliére du metal et du ciment en vue de la crèation du poutraison trées lègéres et de haute résistance*, 8 agosto 1892, riproposto con la stessa titolazione in Italia il 18 agosto 1892, n. 32495. C. Guidi già nel 1910 sottolineò come la invenzione della "staffa" fosse stata la vera innovazione di Hennebique, tanto da divenirne l'emblema, poiché proprio attraverso l'introduzione di tale elemento era possibile assicurare coesione tra calcestruzzo e ferro e assorbire meglio gli sforzi di taglio. C. GUIDI, *Le Costruzioni in Beton armato, Appendice alle Lezioni sulla Scienza delle Costruzioni*, Torino, 7ª edizione, s.d., 1910, pp. 7-8.

[12] Vedasi a tal proposito il volume R. NELVA, B. SIGNORELLI, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia, Il sistema Hennebique*, Milano 1990.

[13] L. RE, *Prime notizie al re Carlo Alberto sui cementi idraulici e sulla loro possibilità di ricevere un'utile applicazione negli stati sardi*, 1836, in «Scienza e beni culturali» IX, 1993, «Atti del convegno di studi di Bressanone», *Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura, tecnologia*, 6-9 luglio 1993.

[14] Tale particolare formazione geologica era presente nel Monferrato in banchi dello spessore di 6-7 metri, poco al di sotto del terreno coltivabile. G. VACCHELLI, *op. cit*., pp.6-7.

[15] Agli inizi del Novecento in Italia non esistevano, a eccezione di quelli del Monferrato altri importanti centri di produzione di cementi. Nel 1897 nei pressi di Civitavecchia fu realizzato un grande stabilimento per la produzione del portland, nei pressi di vasti giacimenti di calcare argilloso. G. VACCHELLI, op. cit., p. 7; Sull'argomento vedasi pure A. SACCHI, *Le industrie edilizie*, in *Conferenze alla Esposizione Nazionale del 1881*, Milano 1881, p. 124, citato in O. SELVAFOLTA, *Ingegneri, cemento e imprese a Milano tra Ottocento e Novecento*, in «Rassegna» n. 49, p. 26; G. STELLIGWERFF, *I progressi nella fabbricazione del cemento e nelle sue applicazioni*, in «*Industria italiana del cemento*», 1932, p. 319.

[16] Si segnala, a tal proposito, la rivista «*Il Cemento, Rivista tecnica dei materiali da costruzione*», periodico fondato nel 1904, quale filiazione de «*Il Monitore Tecnico*».

[17] *Costruzioni in cemento e ferro (Sistema Monier)*, in «*Rivista di Artiglieria del Genio*», novembre 1887, pp. 321-325.

[18] L. KLICK, *Sistema Monier in costruzioni in cemento e ferro*, in «*L'industria*», 1888, p. 734-735. Successivamente fu pubblicato E. BENNATI, *Le costruzioni in cemento e ferro secondo il sistema Monier*, Milano 1888.

[19] G. VACCHELLI, *Sulle applicazioni delle costruzioni in calcestruzzo di getto in cemento armato*. Relazione della speciale Commissione nominata dalla Società degli Ingegneri e Architetti in Roma. In «*Il Monitore tecnico*», III, n. 15, 20 luglio 1897, pp.115/117; n. 16, 5 agosto, pp. 124/126; n. 17, 20 agosto, pp. 131/133; n. 18, 5 settembre, pp. 142/144; n, 19, 20 settembre, pp.151/152.

[20] *Norme e condizioni per le prove e l'accettazione degli agglomerati idraulici e prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere in cemento armato* del gennaio 1907. Vedasi a tal proposito G. REVERE, *Le prove dei materiali da costruzione e le costruzioni in cemento armato specialmente in relazione alle norme ministeriali italiane*, Milano 1910 e, per gli sviluppi successivi, T. IORI, *op. cit*., pp. 65-97

[21] A. RADDI, *Il cemento armato nelle costruzioni*, in Edilizia Moderna, VI, 1906, p.13.

[22] Nei primi anni dell'utilizzo della tecnica del cemento armato non mancarono insuccessi e disastri edilizi. Sull'argomento vedasi,: A. MANFREDINI, *Le costruzioni in cemento armato e la loro stabilità*, in «*Il Cemento*», II, n. 4, agosto 1905, pp. 107-109; A. DANUSSO, *Il cemento armato nella costruzione moderna*, in «*Il Cemento*», V, n. 2, febbraio 1908, pp.29/31; G. REVERE, *Disastri edilizi*, in «*Il Monitore tecnico*» del 30 luglio 1925, n. 21, p. 311-312.

[23] R. NELVA, B. SIGNORELLI, *op.cit*, pp. 20-26.

[24] A. AVETA, *Materiali e tecniche costruttive tradizionali nel napoletano. Note per il restauro architettonico*, Napoli 1987.

[25] L'estrazione del tufo da utilizzare in edilizia rappresentava una attività molto lucrosa, spesso esercitata in maniera abusiva, almeno fino al 1926, anno in cui l'Alto Commissariato, con decreto del 23 aprile, disciplinò l'esercizio delle cave nel territorio di Napoli. Vedasi, A. AVETA, *op. cit*., p. 12-16 e, per quanto attiene alle problematiche del sottosuolo di Napoli legate all'estrazione del tufo, D. BARDI, *Influenza sui dissesti dei metodi di coltivazione del materiale litoide nell'area metropolitana e della presenza nel sottosuolo di antichi manufatti*, in AA.VV., *Il sottosolo di Napoli*, ivi, 1967.

[26] Nel capitolato della "*Società Pel Risanamento*" si fa riferimento all'uso del cemento come legante, prescrivendo di utilizzare quello denominato «extra» e prodotto dai cementifici di Casal Monferrato, Bergamo, Civitavecchia o S. Giovanni a Teduccio. *Capitolato delle condizioni generali e speciali per*

l'appalto dei lavori di conto municipale nell'ambito del Comune di Napoli. Approvato dal Consiglio di amministrazione della Società pel Risanamento in data 11 febbraio 1895.

[27] R. NELVA, B. SIGNORELLI, *op. cit.*, p. 111.

[28]A. GUERRA, *Palazzo della Borsa in Napoli, in Bollettino del Collegio degli Ingegneri e degli Architetti*, Anno XVII-Ottobre 1899. A. GUERRA, L. FERRARA, *Il nuovo Palazzo della Borsa in Napoli*, in «*L'Edilizia Moderna*», 1, 1900, p. 5. Il palazzo della Borsa, in piazza Bovio, fu progettato e realizzato da A. Guerra tra fine Ottocento e inizio Novecento, secondo consolidati schemi architettonici tardo-eclettici, con strutture portanti in muratura di tufo. Due solai, uno al primo piano (quello in angolo fra le vie S.Aspreno e Sedile di Porto, caratterizzato da "*costole di rafforzamento*" alte 0,70 ad interasse di 0,90ml) e l'altro al secondo piano (il grande salone centrale, di dimensioni 13,50x7,50, con le nervature longitudinali e trasversali, dell'altezza di 0,30 e di larghezza 0,50 che suddividono il soffitto in tre cassettoni quadrati centrali di metri 3 di lato ognuno e in 12 cassettoni rettangolari lungo i muri, con una soletta superiore di 12 cm) furono eseguiti con il sistema Hennebique dagli ingg. Narici e Martorelli. Entrambi i solai, una volta realizzati furono sottoposti a prove di carico che produssero limitatissime inflessioni che si ridussero a zero dopo la fase di scarico.

[29] E. CARELLI, *Trasformazioni e restauri nell'ex-monastero di S. Patrizia a Napoli*, in *Falsi Restauri, Trasformazioni architettoniche e urbane nell'Ottocento in Campania*, a cura di S. CASIELLO, Roma, 1999, pp. 47-60. La presente nota fa riferimento a tale scritto e ad una serie di altri documenti conservati presso l'Archivio di Stato di Napoli, ASN, fascio 156, fondo *Genio Civile*, nonché all'articolo di B. DIEGO, *Costruzione d'un solaio di cemento armato*, in «*Giornale del Genio Civile*», 11, 1899, pp. 99-112. Nell'ambito dei lavori eseguiti tra il 1892 ed i primi del Novecento per la sistemazione dell'ex convento di S. Patrizia da adibirsi, insieme al Convento di S. Andrea delle Dame a Facoltà medica della R. Università di Napoli, si rese necessario costruire un solaio per dividere in altezza la chiesa interna al complesso di Santa Patrizia, in due locali sovrapposti, al fine di ricavare l'aula per l'istituto di Anatomia, in basso, e, in alto, gli spazi del Museo dell'Istituto di Anatomia patologica. Si trattava di realizzare un solaio con una notevole luce, 11,25 ml., tale da scoraggiare l'utilizzo di travi di ferro e, pertanto, fu previsto l'utilizzo di un solaio di cemento armato, sin dalla fase di progetto. Durante l'esecuzione dei lavori, fu indicato dal Direttore dei lavori, l'ing. B. Diego del Genio Civile, di eseguire una struttura di cemento armato, sistema Hennebique, composta da 13 travi trasversali poste a distanza di m. 2,20 di interasse, di sezione 0,30x0,60, con barre di ferro tondo di 30 mm. di diametro ed una soletta superiore di m. 0,12 di spessore, armata con barre di ferro di 18 mm. di diametro, disposte normalmente alle travi e a distanza di 0,25 ml. In relazione a tale richiesta, si registrò un interessante scambio epistolare tra l'Impresa, nella persona dell'ing. Padovani e la direzione lavori, che fornisce alcuni interessanti spunti di riflessione tecnica. Innanzitutto, il capitolato d'appalto non prevedeva la realizzazione di un solaio di tale luce, indicando nella luce massima la distanza di ml. 10, e, quindi, scrive il Padovani, "*la costruzione richiesta costituisce un caso speciale di questi solai perché trattasi di coprire un compreso di grande ampiezza(…) e di sorreggere l'enorme carico di calcestruzzo all'altezza di circa dieci metri dal pavimento, nonché richiede un'armatura robusta e costosissima (…).in quanto a me, non posso presumermi di avere la pratica necessaria per tale recente applicazione del ferro e del cemento(…)*". (ASN, fascio 156, fondo *Genio Civile*, lettera dell'ing. Padovani del 31 ottobre 1898 alla D.L.). Dalle parole dell'ing. Padovani traspare una certa preoccupazione nel realizzare l'opera, sia perché si trattava di uno dei primi interventi a Napoli in cui veniva applicato il brevetto Hennebique per grandi luci, sia per gli aggravi di costo che l'Impresa avrebbe dovuto sopportare per realizzarlo, in relazione ai prezzi di contratto. Ad integrare la realizzazione del solaio citato, la D.L. aveva, inoltre, ordinato di porre in opera tre catene, con viti e piastre di ghisa, indipendenti dalle travi del solaio, per collegare le murature di ambito nel primo ambiente lungo 22 metri. Successivamente, il Genio Civile (ASN fascio 156, fondo *Genio Civile*, lettera del 18 dicembre) ordinò all'Impresa di sostituire alle saldature delle barre di ferro di armatura del nuovo solaio le giunzioni a

manicotto, in considerazione dei risultati poco soddisfacenti ed incerti dati dalle saldature. L'ing. Padovani (ASN fascio 156, fondo *Genio Civile*, lettera dell'ing. Padovani del 20 dicembre 1898 alla D.L.), sorpreso di tale atteggiamento del Genio Civile, chiese chiarimenti all'ing. Martorelli (Agente generale del Sistema Hennebique a Napoli), il quale dichiarò che "*nella costruzione dei solai, sistema Hennebique, è di pratica comune il saldare le barre. Di più ritengo che malgrado Ella abbia ordinato le barre pel grande solaio* […] *in modo che tutte le barre abbiano le saldature nel mezzo della trave, ciò non arrecherà niun danno alla solidità delle travi, e quindi del solaio sempre quando beninteso le dette saldature siano state eseguite a perfetta regola d'arte. Per evitare ogni possibile dubbio si potrà, in tutti i modi, eseguire una sola trave e provarla*". Di fatto, sebbene il brevetto Hennebique sia stato depositato da già sei anni, non esiste ancora una chiara metodologia di calcolo, molto è ancora basato sulla empiricità e, quindi, sulla verifica degli elementi strutturali con prove di carico, tant'è che le rassicurazioni del Martorelli non convinsero del tutto l'ing. Padovani e, quindi, l'impresa dovette smontare le barre già predisposte sulle casseforme, sostituendole con altre collegate con manicotti a vite, in luogo delle previste saldature.

[30] Per quanto concerne l'utilizzo dell'acciaio come materiale da costruzione in area napoletana, va sottolineato che fu prima di tutto impiegato come elemento di decoro; poi, via via, per la costruzione di parti secondarie della struttura, arcotravi, gattoni metallici a sostegno dei tavoloni in marmo dei balconi, e, solo successivamente, per realizzare manufatti di rilievo come la copertura della Galleria Umberto I, la cassa armonica nella villa comunale ad opera di E. Alvino (1878) e, nel campo delle costruzioni industriali, ad esempio, le officine Corradini a S. Giovanni a Teduccio (vedasi, tra gli altri, U. Carugi, *La Galleria Umberto I: architettura del ferro a Napoli*, Sorrento 1996; U. Carughi, E. Guida, *Alfredo Cottrau 1839-1898. L'architettura del ferro nell'Italia delle grandi trasformazioni*, Napoli, 2003). Nell'ambito del consolidamento l'acciaio, già sul finire dell'Ottocento, trovò largo impiego soprattutto per concatenare le murature con tirantature metalliche. In taluni casi, poi, furono eseguite vere e proprie intelaiature in sostituzione dei setti portanti in tufo: va citato, in tal senso, l'ex Hotel de Londres in piazza Municipio (A. Napoletano, *Le strutture ad intelaiatura metallica*, in Aa.Vv., *Manuale del recupero delle antiche tecniche costruttive napoletane*, Napoli 1993, p. 181-182), dove - per ridurre al minimo la sezione delle murature di spina e per creare ampi saloni - fu utilizzato un telaio con profilati a doppio T, collegati tra di loro con diagonali in acciaio, successivamente inglobato nella muratura: e ciò sia per motivi estetici, che per preservare la struttura da possibili incendi. Tali impieghi, comunque, rappresentarono una eccezione rispetto alla pratica edilizia corrente, nella quale l'acciaio fu essenzialmente utilizzato per la esecuzione di solai. Dopo le sperimentazioni iniziali con profilati con sezione a T, a V rovescia, ad U, si affermò l'utilizzo della trave a doppio T, in uno con voltine intermedie di tufo o mattoni pieni, nelle prime esperienze e, successivamente, con laterizi di varia forma e, poi, con tavelloni piani.

[31] D. De Francesco, *Il Cemento armato nei lavori di riparazione, consolidamento e trasformazione dei manufatti*, in «*Industria Italiana del cemento*», n. 6, giugno 1930, p. 17. Tale articolo fu letto dall'ing. Domenico De Francesco al V Congresso internazionale di edilizia, tenutosi a Londra nel 1930, in qualità di Vice Presidente della Federazione Nazionale Fascista dei Costruttori. Egli nel descrivere intervento in esame scrive: "*Le armature longitudinali furono fatte di un solo pezzo, concentrandole agli spigoli e quindi collocandole preventivamente entro caraci o solchi di limitata profondità, in modo che il loro taglio non potesse portare alcun nocumento alla stabilità del muro. I tagli per tutto lo spessore della piattabanda furono effettuati invece a piccole zone, lunghe non più di m. 0,80., a partire dagli incastri e procedendo verso il centro. Eseguito il taglio in una zona, venivano collocate le armature trasversali e quindi fatto il getto, avendo cura di incassare bene sotto la soprastante muratura, saturando con beveroni di cemento i minimi interstizi.* […] *Finito il getto di tutta la piattabanda e trascorso il tempo occorrente per la maturazione del calcestruzzo, fu iniziata la demolizione della sottostante muratura cominciando dal centro ed allargando gradatamente il vano da ambo i lati, in modo da far andare in carico la piattabanda gradatamente*".

[32] *Ivi*, p. 21.

[33] Camillo Guerra fu attivo protagonista del-l'architettura napoletana tra le due guerre, ricoprendo importanti ruoli professionali ed accademici. Vedasi, in proposito, F. FASCIA, *Il catalogo informatico delle architetture di Camillo Guerra*, Napoli 1996; O. GHIRINGHELLI, *Camillo Guerra 1889-1960 : tra neoeclettismo e modernismo*, Napoli 2004.

[34] C. GUERRA, *Le sottofondazioni in cemento armato dell'edificio del museo artistico industriale di Napoli*, in «*Opuscoli di architettura tecnica*», Napoli, 1917. Il convento fu realizzato nel Seicento e parzialmente demolito in occasione della sistemazione ottocentesca della attuale piazza Plebiscito. A seguito di tali lavori, fu destinato ad uffici ed abitazioni del personale di Casa Reale, prendendo il nome di Paggeria, e, ancora, dopo l'Unità di Italia, trasformato per adibirlo a Museo Artistico Industriale, prima di divenire, nel dopoguerra, la sede dell'Istituto d'arte.

[35] *Ivi*, p. 6.

[36] *Ivi*, p. 9.

[37] C. GUERRA, *Le strutture in cemento armato delle sale del Museo di S. Martino*, in «*Opuscoli di architettura tecnica*», 1920, p. 12.

[38] Tale copertura poggia su otto pilastri in cemento armato, addossati alle originarie murature, sui quali furono impostati quattro arconi ellittici che, verso gli estremi della sala, reggono due volte a botte e, al centro una volta a vela con al centro un lucernaio circolare. Come per le altre sale, anche la sala Ricciardi, fu all'interno decorata con colonne in stucco imitanti la "pietra di Mondragone" e decorazioni a stucco ruvido seicentesco.

[39] Per la copertura di tali sale furono realizzate imponenti travi poligonali emergenti, con una armatura secondaria, disposta in maniera da formare un cassettonato all'intra-dosso, con tre ampi scomparti centrali per i lanternini.

[40] Il palazzo del Nunzio Apostolico fu realizzato in via Toledo alla fine del Cinquecento. Più volte danneggiato fu ricostruito nel 1662 da papa Alessandro VII. Vedi G. DORIA, *La via Toledo*, Cava dei Tirreni, 1967, p. 11.

[41] D. DE FRANCESCO, op. cit., p. 21.

[42] Come è noto l'Istituto per la cooperazione intellettuale della Società delle Nazioni organizzò ad Atene dal 21 al 30 ottobre del 1931 la "*Conferenza internazionale di esperti per la protezione e la conservazione dei monumenti di arte e di storia*", i cui atti furono pubblicati a cura dell'Office international des Musées dell'Istituto di Cooperazione intellettuale di Parigi, in *La Conservation des Monuments d'art et d'historie/The Conservation of artistical & historical Monuments*, Parigi 1933. In Italia il resoconto del Congresso fu pubblicato da G. GIOVANNONI, *La Conferenza internazionale di Atene pel restauro dei Monumenti*, in Bollettino d'Arte del Ministero dell'Educazione Nazionale. Fasc. IX, Roma, 1932, p. 409-420. Vedasi, inoltre, R.A. GENOVESE, *La conferenza di Atene (1931) alcuni contributi metodologici e tecnic*i, in "Restauro" n. 43, 1979, pp. 79-134, ripubblicato in R.A. GENOVESE, *Note in Materia di Conservazione e restauro dei Monumenti*, Napoli, 1996, pp. 9-56. E, ancora, A. AVETA, *Contributi al dibattito sul restauro negli anni Trenta*, in M.R. Pessolano, A. Buccaro, *Architetture e territorio nell'Italia meridionale tra XVI e XX secolo, scritti in onore di Giancarlo Alisio*, Napoli 2004.

[43] A. AVETA, *Tecniche tradizionali o moderne nel restauro architettonico: alcune riflessioni*, in AA.VV., a cura di S. CASIELLO, *Restauro dalla teoria alla prassi*, Napoli 2000, pp. 42-53.

SUSANA MORA ALONSO-MUÑOYERRO

Consolidaciones históricas. Las fábricas tradicionales y su consolidación mediante sistemas y técnicas constructivas 'modernas'

Antecedentes

No podemos extendernos en las distintas posiciones que frente a las preexistencias han venido sucediendose, o conviviendo, a lo largo de la Historia, pero es evidente que han condicionado, o al revés han venido condicionadas, por las tecnicas que para su conservación o consolidación existían en el momento.

(Como decía D. Modesto Lopez Otero, "la historia de las restauraciones es la historia de los recursos constructivos").

De este tema nos hemos ocupado en otros lugares, haciendo especial hincapié en aquellos aspectos documentales, inherentes a la materialidad del elemento y que a nuestro juicio deberían conservarse, con independencia de los aspectos formales.

Con relación a esto, recordaría una frase de Piero Sampaolesi en su "Discorso sulla Metodologia generale del restauro dei monumenti" Edam Editrice, Firenze 1980 pag13): la restauración quiere y debe conservar cuanto sea posible no solo la forma, sino la materia misma del edificio y con la materia la personalidad, esto es la piel externa y las estructuras, juntas, en resumen el edificio entero vivo en cuerpo y espiritu.

Las posiciones teóricas en la Restauración de monumentos y las tecnicas constructivas

Cesare Chirici en "Il problema del Restauro" (Milano, 1.971), afirmaba que "son los medios técnicos los que establecen los límites y caracteres de la conservación de "lo antiguo". Mucho antes, en 1.932, Modesto Lopez Otero, con motivo de su ingreso en la Academia de la Historia, señalaba en su discurso titulado "La Tecnica Moderna en la Conservación de Monumentos", que la historia de las conservaciones es la de los recursos constructivos de la época.

Durante siglos las técnicas y los materiales de construcción no sufrieron grandes transformaciones, pero es en el siglo XIX cuando las nuevas técnicas, la industrialización y su aplicación a las construcciones históricas, plantearán problemas distintos.

"Desdoblada" la materia de la que consta un edificio histórico, (siguiendo a Cesare Brandi) en "estructura" y "aspecto", uno de los problemas cruciales será la aceptación o no del paso del tiempo por el elemento, en el intervalo interpuesto entre el final del proceso creativo y el momento del impacto en la conciencia del moderno observador. Al aceptar las estratificaciones

que en ese período intermedio se han ido acumulando, estas se manifiestan a través de las irreversibles transformaciones físicas de la materia y en las modificaciones de las condiciones de visión.

Cuando la transformación física de la materia original, la hacía inservible para cumplir la función para la que estaba destinada en el edificio, el procedimiento habitual había sido la sustitución de aquella. Pero la difusión del concepto de "restauro stilistico", significó en muchos casos una coartada, procediendo a las sustituciones sistemáticas de elementos "originales" por otros más proximos al elemento "como debía haber sido".

La técnica del hormigón armado representará una aportación de capital importancia, en cuanto significará una posible sustitución de la "estructura", salvando el "aspecto", en esa dualidad de la materia propuesta por Brandi. No aceptando otras soluciones que rompieran la unidad figurativa, esta técnica abre un nuevo camino.

Las nuevas tecnicas. Las inyecciones en la consolidacion de monumentos. San Vicente de Avila

El año 1.903 en la revista "Arquitectura y Construcción", número 193, página 255 aparece un suelto copiado del "Times Engineering Suplement", asegurando que es posible la restauración de monumentos "cuando no flaquean más que por falta de solidez en las fundaciones o de la obra gruesa", con solo hacer una abundante inyección de mortero de cemento. Se mencionan como ventajas, la seguridad y la economía, pero también el que no haya que sustituir elementos de las antiguas fábricas.Se publica bajo el título "Restauración de los monumentos antiguos por inyección de mortero de cemento", y en él F.Fox cita las restauraciones de la Catedral de Winchester, de la iglesia sajona de Corhampton y del puente de Auld Brig Oáyr, en Escocia.

Con este motivo se dan a conocer intervenciones similares realizadas en España, pais pionero en la técnica de consolidación mediante inyecciones.

En 1.889, D.Enrique Repullés y Vargas en su Proyecto de Restauración de la basílica de San Vicente de Avila, contempla la consolidación de pilares con inyecciones de lechada de cemento. Estos se encontraban en situación muy peligrosa, presentandose rotos y desencajados al exterior. Posiblemente construídos en el siglo XII, estaban compuestos como era habitual, por un núcleo central a base de mampuestos y mortero de cal y arena, vertido, y una hoja externa formada por sillares de unos 20 o 30 cm.de espesor, sin llaves ni piedras pasantes, mal trabados[1].

Repullés señala que al descomponerse los morteros del núcleo central y quedar sueltas las piedras, estas ejercen presión sobre ese revestimiento exterior formado por los sillares de pórfido arcilloso, que no es capaz de contenerla.

No le parece aceptable la reedificación del pilar, ni desde el punto de vista constructivo, ni desde el punto de vista

que él llama "arqueológico", pues " hubiera exigido grandes y costosos apeos, comprometiendose la estabilidad del templo y desnaturalizandose la antigua estructura". Por ello pensó en la consolidación, empleando la técnica de inyecciones de mortero de cemento, y cuyo proceso él mismo explica[3].

Primero se procedió a zunchar el pilar en el que se iba a intervenir, además de tomar otras precauciones, como un apeo generalizado. Para el zunchado del pilar, "se forró este con tablones de madera, sujetos unos con otros con tornillos, y todos ellos enlazados con zunchos de llanta de hierro, apretados con dobles tornillos con tuercas, colocados a un metro de distancia. Hecho esto, se hicieron varios taladros con una barrena mecánica, en la zona superior del fuste, bajo los capiteles, y de unos dos o tres centímetros de diámetro. Por ellos y con una jeringuilla adaptada, se inyectó lechada de cemento, bastante fluida, hasta que por la base del pilar saliera agua filtrada."

Una vez fraguado el núcleo, se procedió a la sustitución de los sillares del revestimiento exterior en mal estado. Se comenzó por la base de piedra arcillosa, que fué cambiada por sillares de granito de gran tizón, recibidos con mortero de cemento.

Después se fué cortando el forro de tablas, y se fueron arrancando los sillares exteriores en mal estado hasta dejar ver el núcleo central, que se había transformado en un todo homogéneo. Este, se rozó en algunos puntos, para poder recibir los nuevos sillares.

La graduación de las lechadas, dependería del tipo de cemento que se fuera a emplear y de las circunstancias de los elementos constructivos que se fueran a consolidar. Para Repullés, cada edificio que se restaura, es en el orden constructivo, lo mismo que un enfermo en el fisiológico, y por ello no cree que puedan dictarse reglas generales, ya que entiende que no hay enfermedades sino enfermos. No obstante, como acabamos de ver, acepta los nuevos procedimientos constructivos y los nuevos materiales en las intervenciones en edificios antiguos, pero siempre que se mantengan ocultos; la evidencia visual de la intervención no le parece aceptable.

Esta posición, nos recuerda otras, en relación con intervenciones anteriores, como la de Matías Laviña en la Catedral de León, a partir de 1.860. Llevó a cabo la reconstrucción de las bóvedas y la portada del brazo sur del crucero, que previamente fueron derribadas. Así lo explica su autor: "se colocaron los aristones de las bóvedas con los rebajes que antes no tenían para enlazar la muradura de ladrillo y mortero con que se hicieron, a diferencia de las derribadas, que eran de piedra tova o esponjosa. La parte nueva de las bóvedas, consiste en tabiques de cuatro gruesos con mortero fino mezclado con cemento de Zumaya, que forma un clavo fuerte y activo sin necesidad de armazón de madera, hechas al aire como si fueran con yeso"[4]

Repullés quiere beneficiarse de las técnicas modernas, pero sin embargo

no piensa en imponerlas. Dedica importantes esfuerzos al conocimiento del sistema constructivo del edificio, determinando sus problemas y las posibles causas de los mismos. Las soluciones tratan de dar respuesta a los daños que el paso del tiempo ha dejado en las antiguas fábricas, empleando las ventajas que la tecnica moderna proporciona.

Santa María de Castro Urdiales

Pero en los ultimos años del siglo XIX, en España se realizaron otras intervenciones, donde se utilizaron sistemas de consolidación con inyecciones de cemento.

En 1.889, se intervino en la Iglesia de Santa María de Castro Urdiales. Se trataba de una iglesia de tres naves, con girola y capillas absidales, cuya construcción se llevó a cabo al parecer, y fundamentalmente durante el siglo XIII. Sus tres naves presentan la misma altura, en el tipo del que Lamperez llamará de "planta de catedral-salón".

G.Loredo en "Pequeñas Monografías de Arte" explica la intervención aplicando "procedimientos tanto científicos como artísticos" y sacando consecuencias. Se refiere al que considera célebre arquitecto M.E.Viollet le Duc, quien en su "Diccionario razonado de la Arquitectura francesa del siglo XI al XVI" (tomo I pag.116) afirma que "la Arquitectura se compone de dos partes: la teoría y la practica. La teoría comprende el arte propiamente dicho, las reglas inspiradas por el gusto, sacadas de la tradición y de las ciencias, que se pueden demostrar por fórmulas invariables, absolutas. La practica es la aplicación de la teoría a las necesidades de la vida; la practica es la que hace adaptarse el Arte y la Ciencia a la naturaleza de los materiales, al clima, a las costumbres de una época o a las necesidades del momento".

Tras esta manifestación, dice que se entenderá la elección de la iglesia de Santa María de Castro Urdiales, para la aplicación de los citados procedimientos.

La iglesia presenta unos desplomes importantes. Lo primero que se lleva a cabo es un riguroso levantamiento de planos, que pone en evidencia las deformaciones del edificio y ayuda al conocimiento del mismo. La planta, muestra la diferencia de distancias entre ejes de pilares de la nave central y su influencia en las bóvedas contiguas. También las diferentes dimensiones de los contrafuertes, así como de los pilares, y su posible refuerzo en el siglo XV.

El dibujo de la sección transversal es un maravilloso ejemplo de descripción y de intuición en el estudio previo de un monumento. Facilita la visión global del templo desde uno de sus puntos más representativos, para pasar después a estudiar los distintos elementos constructivos. Este tipo de estudios también lo realizarán,en otros monumentos, arquitectos como Juan de Madrazo y Demetrio de los Rios, así como los de deformación de pilares que Narciso Pascual y Colomer efectuó en la Catedral de León hacia 1.850.

G. Loredo realiza después un pormenorizado estudio de los esfuerzos a los que está sometido un pilar estratégico, siguiendo el cálculo denominado de flexión de los pilares de M.Planat. Considera que sobre el pilar cargan dos arcos formeros, un fajón y dos diagonales, además de la plementería correspondiente, parte de los muros superiores y armaduras de cubierta, llegando a la conclusión de que el peso total que carga sobre el pilar, un metro más abajo de la línea de arranques es de 101 toneladas. Pasa a estudiar los empujes longitudinales y transversales, llegando a obtener todas las fuerzas, nueve, que actúan sobre el citado pilar, y que compone en dos únicas, y llega a un coeficiente de trabajo r=14,5401; le parece aceptable y lo compara con el de los pilares del crucero de San Pedro del Vaticano y San Pablo de Londres. Pasa a comprobar el equilibrio en un punto en el que ya hayan acometido las bóvedas bajas, llegando a un valor exagerado.[5]

Por efecto de la gran presión en el arranque de las naves laterales y lo descuidado de la construcción, se deformó el pilar, produciendose un descentramiento con descenso de la junta exterior, y también del arco del arbotante superior, y la deformación de los arcos de las naves laterales.

Los pilares no están alineados en planta, sea por buscar la perspectiva, por recordar la nave de un barco, o por lo que parece más lógico, como es por error de replanteo, contribuye a que los arcos formeros (por esta desviación) puedan dar empujes oblicuos, llegando a favorecer el deslizamiento en el sentido de la junta..

Con este motivo, los contrafuertes se volvieron insuficientes y fué preciso reforzarlospara asegurar la estabilidad de la parte alta de la edificación. Finalmente se llega a la conclusión de que el equilibrio está asegurado con la introducción del contrafuerte reforzado y el regruesado del pilar, que se aumentó en 0,45 m2.

Del estudio del pilar antes de regruesarse, y con posterioridad a lo efectuado a partir del s.XV, Loredo señala que está asegurado el equilibrio siempre que no se destruya alguno de los elementos estudiados.

La iglesia se encuentra situada en un lugar donde el mar Cantábrico le sacude constantemente con el batir de sus olas. Y Loredo se pregunta si es digna de conservarse"con tanto defecto" para contestar que por supuesto, y de su estudio extrae las siguientes conclusiones:

1º: Que nada se adelanta con que la sección del pilar tenga gran amplitud si las cargas están mal repartidas.

2º: Que, siendo una iglesia relativamente pequeña, por un mal reparto de cargas, se hace trabajar el material a coeficientes tan exagerados para él, como 133kg/cm2.

3º: Que del examen de los cálculos se saca la consecuencia que, de haber estado bien equilibradas las fuerzas que sobre él gravitan, acercandose o confundiendose con el centro de gravedad, este coeficiente pudo ser de 41 kg.

4º: Que de haber empleado en la plementería de las naves bajas el mismo material que en las altas, los defectos se hubieran aminorado extraordinariamente, haciendo posible el equilibrio sin necesidad de los refuerzos y apeos.

5º: Que los acodalamientos y apeos que se observan debajo del tejado de las naves laterales son debidos al segundo movimiento de los que hemos examinado; por lo cual, si en un principio fueron innecesarios, y nacieron del temor del desconocimiento, hoy en dia sería aventurado hacerlos desaparecer.

Como los pilares presentaban elementos dañados, Loredo pensó en el refuerzo con inyecciones de cemento, "dado el gran desarrollo que ha adquirido hoy dia la fabricación de cementos" y dados los escasos recursos con que se contaba, pues se hizo una suscripción popular para afrontar la obra.

Pensar en apeos y sustitución de elementos del exterior de los pilares, era imposible por la escasez de dinero. Pero al quitar los guarnecidos que cubrían los paramentos, fueron apareciendo las fábricas descompuestas. Para limpiar las juntas y los espacios interiores de morteros descompuestos, se inyectó agua, hasta que salió limpia por la zona inferior de los pilares. Se recibieron las juntas con mortero de cemento y después, se rellenó el interior con "lechadas muy finas de este material".

La revista "Resumen de Arquitectura" publica en 1.897 un artículo relativo a esta restauración, donde su autor G.Loredo, estando de acuerdo con "salvar de la ruina su monumental iglesia de Santa María y para devolverla su prístina gracia y elegancia nativa" se lamenta de que no haya habido acierto en el intento. Se queja del empleo de cementos hidraúlicos y cales grasas, en vez de piedra compacta, a la vez que propone la desaparición de los arcos botareles o contrafuertes que resisten el empuje de las naves laterales, que podrán ser sustituidos por elementos de hierro..

No son soluciones muy bien aceptadas por la opinión pública en general, pues las entienden como soluciones practicas y económicas, remedios de urgencia para evitar males mayores, pero siempre pensando que no es la solución óptima del problema.

La Catedral de Sevilla

Un procedimiento similar se había proyectado para la Catedral de Sevilla.

Tras el derrumbamiento del pilar del crucero, que tuvo lugar el 1 de agosto de 1.888, el arquitecto Joaquín Fernandez sucede a Adolfo Fernandez Casanova al frente de las obras. Presenta los proyectos de reconstrucción del pilar derrumbado y de las semibóvedas que cargaban en él, que son aprobados en marzo y mayo de 1.890.

Sin embargo, se impone la condición de que no sean ejecutadas las obras de tracería de ventanales y detalles ornamentales sin que previamente se presenten los modelos o diseños correspondientes para su aceptación.

Para el pilar más peligroso, el del coro, propone su derribo y posterior reconstrucción, para lo que deberá pre-

sentar un proyecto de medios auxiliares. Con posterioridad, Joaquín Fernandez rectifica su decisión anterior, pues ha llegado a la conclusión de que no es necesaria ni conveniente la reconstrucción de ninguno de los pilares del templo. Para ello, se ha excavado alrededor del pilar hundido y se ha comprobado que los cimientos son sólidos, al igual que el interior del pilar peligroso, que se ha inspeccionado. Pero de la observación del exterior de los pilares se deduce que presentan un estado similar al del pilar caído, pues la zona inferior de las fábricas está enrripiada con piedras flojas y ladrillos no bien trabados, mientras que la zona superior está bien construida.

Joaquín Fernandez tratará de conseguir la estabilidad y firmeza necesarias en las fábricas, uniendo los materiales de construcción disgregados dentro del pilar, mediante inyecciones de lechadas de cemento que unan la mampostería del núcleo central entre sí y con la sillería exterior.

Para ello, propone un procedimiento consistente en inyectar bajo presión lechadas de cemento, por dos taladros de seis centímetros de diámetro ejecutados cada dos metros de altura, efectuados en dirección perpendicular entre sí y situados en planos horizontales. Con anterioridad a las lechadas de cemento, se habría introducido agua para eliminar los morteros descompuestos. Después, por cada plano horizontal, se introducirá, en una sola de las perforaciones y alternando las direcciones, una varilla de bronce de tres centímetros de diámetro. Con posterioridad se repararán los sillares que constituyen el perímetro exterior del pilar, sustituyendo los rotos.

La Academia de San Fernando al informar el Proyecto, se muestra menos optimista respecto al estado tanto de la cimentación como de las fábricas. La técnica de inyección no le parece adecuada, si lo que sucede es falta de trabazón y no hay oquedades, pues dice, las lechadas de cemento penetrarán muy dificilmente por los intersticios que pueda contener cada masa de fábrica de dos metros de altura; pero si lo hará el agua, que dejará humedad dificil de eliminar. Las varillas de bronce no se consideran suficientes para contener la presión de dentro a fuera, que determina el asiento paulatino del relleno interior. Finalmente esta propuesta no se realizará.

Adolfo Fernandez Casanova propondrá la reconstrucción de pilares, mejorando el sistema constructivo, macizandolos.

Este había venido siendo el procedimiento habitual, y poco a poco se habían ido sustituyendo numerosos elementos. El Plan General de Obras propuesto por Adolfo Fernandez Casanova el 22 de diciembre de 1.881, distinguía entre las obras que se ocupaban de la solidez y conservación del templo, y de las que, una vez realizadas las primeras, se ocuparían del completamiento de todo aquello inacabado. La Academia de Bellas Artes de San Fernando en Informe firmado por su Secretario Simeón Avalos, señala que toda de-

molición y apeo lleva consigo inevitablemente movi mientos o alteraciones que hacen perder a las fábricas conservadas una parte de su cohesión y de su fuerza, ocurriendo con frecuencia la necesidad de sustituir las partes demolidas con materiales de mejor clase y con sistemas más perfectos en su estructura, como indudablemente había de acontecer a la reconstrucción del pilar ruinoso, en el que su fábrica de mampostería o de ladrillo refrentada de sillarejo, habrá de sustituirse por otra de material homogéneo de sillería.

En la ejecución de las obras correspondientes al Proyecto de reconstrucción de formeros, ventanajes y semibóvedas de colaterales del costado O. del brazo sur del cruceroE., Fernandez Casanova encuentra que el pilar sobre el que cargaban estos elementos, presentaba quiebros que denunciaban la estructura alterada y sin la cohesión indispensable para garantizar la estabilidad. Ve imposible su "renovación parcial", con revestimiento de cantería, y plantea su demolición y reconstrucción total. Para ello, tiene que realizar una importante labor de apeo, con grandes carpinterías.

El 5 de julio de 1.888 el Director de la Academia de San Fernando Federico de Madrazo y el Secretario Simeón Avalos, proponen que le sea concedida la Gran Cruz de Isabel la Católica a Adolfo Fernandez Casanova tras haber finalizado la reconstrucción del pilar sur del crucero, que duró desde el 8 de enero al 4 de abril cuando se colocó la última piedra destinada a recibir los enjarges de las fábricas conservadas. La altura total hasta los citados enjarges es de 18 metros, con un volumen de más de 240 metros cúbicos.

El pilar reconstruido, es de fábrica homogénea de sillería, constituído por 55 hiladas. Consta de un núcleo interior o corazón, de un solo sillar en las 49 hiladas inferiores, y de dos y de tres en las superiores. En torno a este núcleo, un revestido de cantería de hiladas alternas de mayor y menor, de diez sillares las hiladas impares y de nueve las pares. Para dotar de trabazón y rigidez, se establecieron cuatro líneas verticales de enlace en los principales angulos del pilar, colocando también una de sillares engrapados cada seis hiladas, quedando enlazadas las nuevas fábricas en sentido horizontal y vertical. Las juntas son más finas que las de las antiguas fábricas. Las de lecho, han quedado a nivel y son muy delgadas y las montantes son encontradas.

Se entiende que los sistemas constructivos forman parte insustituible de los edificios? Que un cambio en los aspectos mecánicos plantea un cambio radical en el entendimiento de aquellos?

Posiblemente no; el debate irá por otros derroteros. Muchos años más tarde seguirá sucediendo lo mismo, salvo escasas excepciones. Él recuerdo y la admiración por estas primeras intervenciones que intentaban respetar el sistema constructivo fundamental del edificio, que se habían esforzado por conocer, utilizando las técnicas y materiales más modernos, nos guiarán para profundizar en estos conocimientos.

[1] Enrique Repullés y Vargas, Proyecto de Restauración de la basílica de San Vicente.

[2] de Avila. Leg. 9.082-2. Archivo Central de la Administración. A.C.A.

[3] Enrique Repullés y Vargas,"Actualidades" en "Arquitectura y Construcción" 1.903. p.p.354 y ss.

[4] Vicente,Lamperez y Romea, "La Restauración de la Catedral de León" en "Arquitectura y Construcción" 1.901. pp.6 y ss.

[5] Juan José Lecanda de, "Restauración de Santa María de Castro Urdiales" en "Resumen de Arquitectura" 1 de noviembre de 1.897.

Stefania Palaoro, Enzo Siviero

Relazione tra forma e struttura nella recente storia dei ponti italiani

L'ingegnere e l'architetto

Da molti anni l'Università IUAV di Venezia si occupa dello studio della storia dell'ingegneria e del contributo che i suoi protagonisti hanno offerto alla progettazione e alla realizzazione di molte opere presenti nel Paese. Numerosi approfondimenti hanno come tema quello dell'infrastruttura viaria, analizzando in dettaglio l'operato di un singolo autore o le caratteristiche di una determinata struttura in periodo storico. Lo studio dell'architettura è divenuto quindi un'aggregazione di più saperi: storici, culturali, sociali, ma anche tecnici e costruttivi, oltre che formali. Il tema della struttura architettonica del ponte va quindi oltre alla sua analisi tecnica ed ha come obbiettivo la ricerca della qualità del progetto, che è il prodotto della collaborazione tra ingegnere e architetto.

La comparazione tra ingegneria e architettura e la continua ricerca della differenza tra i due ambiti professionali sono da considerarsi temi di costante indagine nella storia, in quanto se all'oggi è evidente la distinzione tra le due scienze, fino alla fine del XVIII secolo le due professioni coincidevano od erano profondamente legate. È certo che non vi è realizzazione costruttiva senza ingegneria e struttura senza disegno architettonico. Il costruire è un'arte che è sempre esistita da quando vi è l'uomo; lo studio delle strutture, invece, è andato a svilupparsi nel corso del tempo grazie all'acquisizione dell'esperienza costruttiva artigianale e all'analisi delle capacità e potenzialità dei materiali.

Per molti secoli le architetture sono state eseguite seguendo una sperimentazione tecnica intuitiva: molte delle opere del passato rappresentano l'unione tra un pensiero artistico ed uno tecnico sviluppatosi dalle esperienze offerte dalla quotidiana realtà costruttiva e la figura del progettista corrispondeva contemporaneamente a quella dell'architetto e dell'ingegnere. La divisione dei ruoli delle due figure è avvenuta tra il Settecento e l'Ottocento con la Rivoluzione Industriale che ha reso possibile lo studio di nuovi materiali, passando dalla pietra e dal legno ai metalli e al calcestruzzo. L'ingegnere, comprendendo il comportamento resistente delle strutture, cominciò a dimensionare le sue opere su base scientifica.

Attraverso la sperimentazione strutturale, cercando di mantenere contemporaneamente una sensibilità estetica e funzionale, si vengono a delineare nel panorama mondiale molte delle opere che oggi vengono considerate degne di nota.

La cultura italiana contiene numerosi esempi, a volte tralasciati o dimenticati dai non addetti ai lavori, di opere

d'arte stradale che sono di fondamentale importanza sociale e tecnica di come si siano sviluppate le strutture e le architetture nel Paese nel corso del secolo scorso. Salvo queste importanti eccezioni, i ponti degli ultimi decenni invece non mostrano particolare qualità e si presentano per lo più come mediocri realizzazioni con precoci segni di invecchiamento dovuti ai problemi di durabilità nel tempo, con i conseguenti elevati costi di manutenzione.

Dall'arco compresso alla precompressione

Il ponte, in quanto artefatto che si inserisce nell'ambiente, rappresenta più di qualsiasi altro elemento quello che unisce un pensiero di tipo architettonico ed uno di tipo ingegneristico. I materiali impiegati per la sua realizzazione ne definiscono in qualche modo anche le caratteristiche formali, evidenziando le conoscenze dalla meccanica strutturale e delle tecniche costruttive dei progettisti del tempo.

I pionieri dell'impiego di nuovi metodi costruttivi e della sperimentazione di materiali innovativi furono gli ingegneri Arturo Danusso e Alessandro Peretti che incentivarono lo studio delle innovazioni tecniche nel mondo delle costruzioni. Anche Eugenio Miozzi rappresenta uno dei personaggi chiave nell'evoluzione dell'ingegneria; grande progettista, che con il suo importante contributo per la messa a punto di un nuovo sistema di precompressione lo posizionano tra i massimi utilizzatori del cemento armato agli inizi del Novecento. Notevole è il suo lavoro per l'unificazione dell'isola veneziana alla terraferma mediante il ponte translagunare della Libertà.

L'apice dello sviluppo tecnologico nel Paese si ha avuto nel secondo dopoguerra, periodo che ha fornito ai maggiori ingegneri italiani molte occasioni di progetto. Il desiderio di unificazione nazionale, attraverso la rete infrastrutturale viaria delle autostrade, ha offerto esperienza e dimostrazione di come sia possibile costruire delle opere utili e strutturalmente funzionali senza tralasciare l'armonia architettonica che l'opera d'arte deve mantenere all'interno dell'ambiente in cui va ad immettersi. Gli ingegneri, adoperatisi nella ricostruzione delle opere andate distrutte dal conflitto bellico e nella connessione territoriale tra un Nord industrializzato e agiato ed un Meridione ancora agricolo e tecnologicamente arretrato, cercarono di conciliare l'eleganza formale e architettonica con le stabilità tecnica dell'opera d'arte. La struttura non viene più celata dietro dei falsi decori e prende attivamente parte al disegno architettonico

L'opera architettonica e strutturale autostradale ha avuto il suo apice dagli anni Cinquanta al Settanta con la sperimentazione di nuove tecniche costruttive che hanno permesso la celere costruzione di viadotti stradali e quindi della rete stessa. La forma architettonica del ponte è andata via via modificandosi e con l'industrializzazione, cioè la ricerca razionale delle fasi di cantiere, si è andati ad intervenire nella progettazio-

ne in modo rapido ed economico, favorendo la diffusione di un lavoro di tipo meccanico. Dopo il periodo produttivo dal punto di vista creativo seguono degli anni in cui prevalse principalmente la convenienza economica che ha portato alla serialità delle tipologie costruttive mediante l'applicazione sempre più diffusa nelle strutture della travata semplicemente appoggiata.

Un breve excursus storico di alcune opere d'arte principali che videro lo sviluppo nel periodo dell'evoluzione autostradale possono dare esempio concreto di come si siano evolute le tipologie strutturali, i metodi costruttivi e quindi anche lo sviluppo delle forme architettoniche.

Le prime autostrade, sviluppatesi principalmente nel Nord Italia, videro l'utilizzo del cemento armato come materiale predominante. Il Ponte sul fiume Brembo, per l'Autostrada Milano-Bergamo (1927), è un modello di come poter attraversare una profonda valle mediante un ponte ad archi di notevole dimensioni. Il ponte fu realizzato su progetto dell'ingegnere Luigi Santarella, che ne assunse anche il controllo dei lavori durante la costruzione.

Anche le prime opere d'arte nel periodo del boom economico vennero realizzate mediante l'armoniosa forma dell'arco e costruite impiegando il sistema costruttivo della centinatura. Un esempio importante si ha con il Viadotto Merizzano situato lungo l'Autostrada del Sole e progettato dall'ingegnere Giulio Krall. da del Sole e progettato dall'ingegnere Giulio Krall.

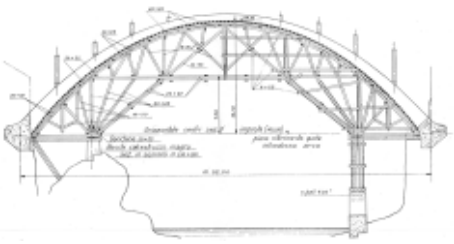


Fig. 1 – Progetto della centina per la costruzione del Ponte Brembo (Luigi Santarella, 1927)

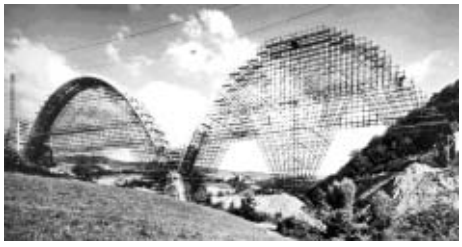


Fig. 2 – Viadotto sul Merizzano, Autostrada del Sole (Giulio Krall, 1960)

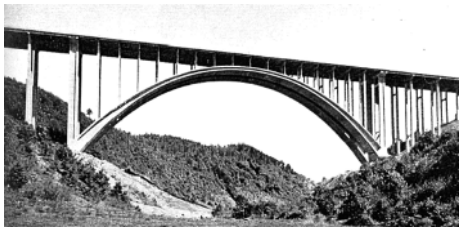


Fig. 3 – Viadotto sul torrente Aglio, Autostrada del Sole (Guido Oberti, 1958-60)

L'Autostrada del Sole può essere considerata come un vero e proprio cantiere di ponti arco: nel tratto Bologna-Firenze, in meno di novanta chilometri, sono stati costruiti sessantasette tra ponti e viadotti, ognuno diverso dall'altro, ai quali lavorarono ventisette progettisti differenti. Il Viadotto sul torrente Aglio, ad esempio, progettato dell'ingegnere Guido Oberti, si presen-

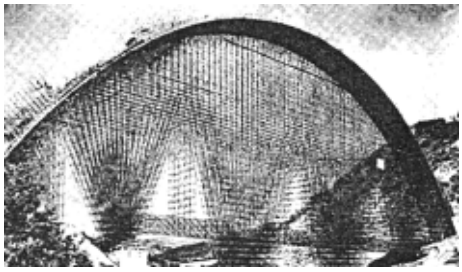
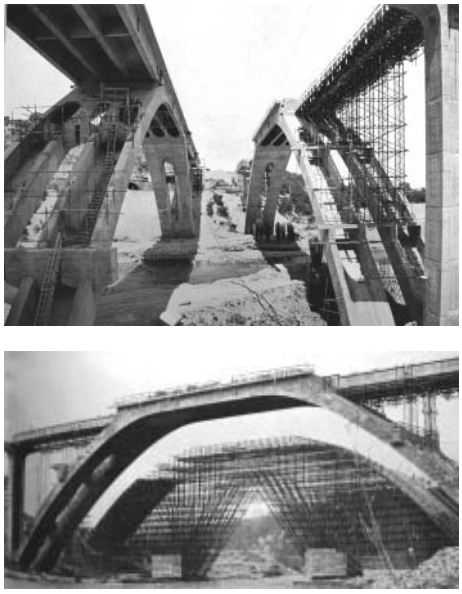


Fig. 4 – Centina del viadotto Aglio, Autostrada del Sole (Guido Oberti, 1958-60)

ta con una struttura costituita da una grande arcata centrale con dei viadotti di accesso.

Cominciava a diffondersi in quegli anni l'applicazione del cemento armato precompresso, che implica l'evolversi delle tecniche e delle fasi di cantierizzazione. Un esempio è offerto dall'ingegnere Silvano Zorzi, assieme all'ingegnere Giorgio Macchi, nel progetto dei ponti gemelli sull'Arno ad Incisa (Firenze) del 1962, nel quale adotta una soluzione di tipo ad arco-portale, precompresso, incastrato per la campata centrale e travi appoggiate, anch'esse precompresse, per le campate laterali. In questo ponte vi è la rielaborazione del concetto tradizionale del ponte ad arco, che è stato costruito impiegando la medesima centina per entrambi gli archi.



Figg. 5-6 – Viadotto sull'Arno a Incisa (Firenze), Autostrada del Sole (Silvano Zorzi, Giorgio Macchi 1962)

Nel 1960 Riccardo Morandi progetta nella valle della Fiumarella a Catanzaro un arco in cemento armato a doppia sezione tubolare. Il ponte è caratterizzato dalle biforcazioni dell'arco alle imposte e dalle pile inclinate. Il Viadotto Polcevera, per l'Autostrada Genova-Ventimiglia, progettato anche questo da Morandi, si presenta con una tecnica costruttiva innovativa che impiega fasci di cavi posti in trazione ricoperti da una guaina di calcestruzzo che rende omogenee le diverse parti della struttura. Morandi ha commentato così la sua opera: "*Sono un uomo che è entrato nel campo dell'architettura dalla porta di sevizio. Ho cominciato facendo l'ingegnere; ad un certo momento gli altri si sono accorti che facevo architettura*".

Nel periodo che va dagli anni Sessanta agli anni Settanta la precompressione ha sicuramente influenzato le nuove realizzazioni, in quanto si è cercato di dare alle strutture la forma più semplice ed economica: viene abbandonata la curvatura dell'arco perché troppo costosa a causa della centinatura e l'in-

dustrializzazione porta ad un'accelerazione e ad una meccanizzazione dei processi produttivi e la maggior parte dei viadotti italiani è stata realizzata secondo questa metodologia, dettando però anche i gravi problemi di manutenzione a cui al giorno d'oggi si deve ricorrere.

La precompressione riporta agli schemi statici della trave semplicemente appoggiata e non lascia vasto campo alla fantasia formale.

La produzione a catena di montaggio dà l'avvio ad una tipologia architettonica rappresentata da grandi pile, costruite con il sistema delle casseformi rampanti e dall'impalcato a travi prefabbricate posizionate mediante l'ausilio di centine autovaranti. Degli esempi si ritrovano nelle opere dell'ingegnere Carlo Cestelli Guidi, come il Viadotto sul Fiume Grande, il Tanagro, lo Jannello per l'Autostrada Salerno-Reggio Calabria.

Anche l'ingegnere Morandi realizza delle opere con delle travi semplicemente appoggiate come ad esempio il viadotto sul Lontrano nei pressi di Salerno, nel quale collega le stampelle precedentemente eseguite mediante la tecnica degli sbalzi successivi, con degli elementi prefabbricati.

Un ulteriore progresso nella tecnologia avvenne quando si ricercarono nuove soluzioni per coprire luci più impegnative. La svolta nello stato tensionale della struttura si ebbe con lo sviluppo dei ponti prefabbricati a travata continua, come ad esempio il Viadotto Fichera dell'ingegnere Silvano Zorzi per l'Autostrada Palermo-Catania.



Fig. 7 – Viadotto Lontrano, Autostrada Salerno-Reggio Calabria (Riccardo Morandi, 1968)

Per realizzare uno schema strutturale di tipo continuo possono venire considerate due tecniche costruttive ben diverse: la tecnica degli sbalzi successivi che vede una costruzione simmetrica rispetto alla pila e la costruzione per estrusione che avviene mediante la spinta dell'intero impalcato partendo da una delle due spalle.

Lo sviluppo della rete autostradale in Italia è stato determinante per l'evoluzione tipologica e tecnologica delle grandi opere d'arte e in pochi anni si è raggiunto un progresso evolutivo di notevole ampiezza: nel breve lasso di tempo di Quarant'anni circa, si è passati da soluzioni interessanti dal punto di vista architettonico, dalla forma arcuata dell'arco, a strutture apparentemente solo funzionali.



Fig. 8 – Viadotto Fichera, Autostrada Palermo-Catania (Silvano Zorzi, 1972)

Per le architetture che hanno visto l'utilizzo dell'acciaio nella costruzione vi sono due esempi significativi: il Viadotto Italia sul fiume Lao dell'ingegnere Fabrizio De Miranda e il Viadotto sulla fiumara Sfalassà a Bagnara Calabra dell'ingegnere Zorzi, nei quali si semplifica la costante ricerca di leggerezza e semplicità compositiva.

Zorzi concepiva infatti le grandi opere di ingegneria civile come "*architetture permanenti del paesaggio, non soggette a momentanei stili architettonici o a mode capricciose, testimonianze solo di un intrinseco rapporto fra correttezza tecnica ed espressività estetica*."

La massima enfatizzazione di una ricerca della forma sotto continuo sforzo si ha con il Ponte sul Basento a Potenza, progettato dall'ingegnere Sergio Musmeci. L'ingegnere tralascia il corretto dimensionamento puramente matematico per dare spazio ad una sperimentazione che ricerca la forma migliore per veicolare le forze. L'esempio sottolinea come anche la scienza ingegneristico può essere al centro della creatività.



Fig. 9 – Viadotto Sfalassà, Autostrada Salerno-Reggio Calabria (Silvano Zorzi, 1972)

Attuali tendenze: verso una progettazione più colta

Negli ultimi 30 anni vi è stata una notevole evoluzione della costruzione autostradale: le differenze infatti tra le ultime realizzazioni, come ad esempio la Carnia-Tarvisio, e quelle della ricostruzione del dopoguerra, come l'Autosole, sono profonde: nel tempo si sono evolute delle tecniche costruttive e dei materiali che hanno reso i percorsi migliori e più sicuri. I motivi che hanno acconsentito queste migliorie nella costruzione stradale considerano la quantità e la qualità del traffico autostradale, l'aumento deciso dei costi della mano d'opera e quello dei trasporti. In un breve periodo la tipologia del traffico è andata mutando, dalle prime uniche automobili che si muovevano prettamente per scopi turistici, all'oggi con la presenza di una notevole quantità di mezzi pesanti. A questo progresso dei mezzi di trasporto, quindi, si è affiancato un



Fig. 10 – Ponte sul Basento, Potenza (Sergio Musmeci, 1969)

rinnovamento nel campo tecnologico, uno sviluppo che non poteva più sostenere gli ormai troppo elevati costi della mano d'opera. Nel progettare le opere d'arte degli anni Cinquanta, si è posto come requisito fondamentale la celerità di realizzazione delle stesse e non una particolare attenzione ai problemi di mantenimento; questi motivi hanno sicuramente tralasciato uno studio approfondito del comportamento possibile e futuro che le strutture avrebbero subito con il trascorrere del tempo e con l'aumento di carichi accidentali che andavano a gravare sugli impalcati e sulle pile. Il nuovo nemico era ed è costituito dal degrado intrinseco della strutture per gli effetti di usura e di invecchiamento.

Le nuove tecniche ebbero subito dei notevoli vantaggi economici, anche se i numerosi ponti realizzati a travata appoggiata, la maggior parte dei viadotti italiani, non sono modelli strutturali adatti per una buona durabilità nel tempo a causa dei numerosi giunti di dilatazione, punti critici contagiati dal degrado.

Quando si pensa alle infrastrutture del giorno d'oggi, si considera la qualità dell'opera, la caratteristica di "completezza" (cioè che sia durevole nel tempo), rispettosa dell'ambiente che la accoglie, che possieda un determinato grado di sicurezza per chi l'utilizza e che sia possibilmente economica dal punto di vista della costruzione, della gestione.

Il problema di oggi consiste nel salvaguardare tutte quelle opere che sono state realizzate nel secolo scorso, che dal punto di vista strutturale sono degne di nota, e va considerata la loro protezione come lavoro di prima importanza. Gli errori del passato sono all'oggi d'esempio per ricercare una progettazione più colta, proponendo alla base dell'ideazione e dell'elaborazione tecnica uno studio approfondito di ogni singola parte dell'opera e delle caratteristiche dei materiali e di possibili eventi esterni che potrebbero essere causa di danneggiamento.

Per quanto concerne la tipologia strutturale, si è visto che l'utilizzare una struttura a travata continua iperstatica sia una soluzione che supera notevolmente i problemi che invece possono venire a crearsi nelle tipologie a travata semplicemente appoggiata. La ricerca di una nuova progettazione di viadotti riconduce all'esempio dell'autostrada Udine-Tarvisio (1978), nella quale la tipologia tecnologica impiegata per la costruzione delle sue opere è quella della travata continua, fino a 800 m, su appoggi che permettono una luce dai 40 ai 45 m.

Altri esempi si ritrovano lungo la tratta autostradale che da Mestre va a Vittorio Veneto (A27), data in concessione alla Società Autostrade nel 1968, anno in cui si eseguirono i primi lavori poi interrotti con la legge del 1975 che ha bloccato completamente i lavori autostradali fino all'85. Il tratto da Vittorio Veneto a Pian di Vedoia venne completato nel 1995 nel quale vengono a susseguirsi una serie di viadotti, come il viadotto Fadalto (3700 m) e il viadotto Restello (2100 m) e il viadotto Ponte dele Alpi (1355 m), opere che sintetiz-

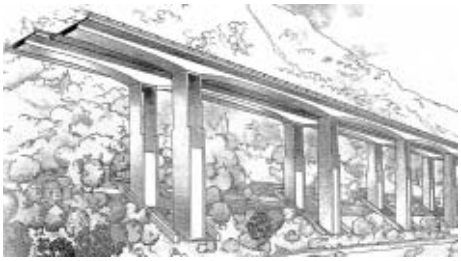


Fig. 11 – Viadotto Fadalto, Autostrada A27 (Guido Furlanetto, SPEA, 1992)

zano i nuovi metodi progettuali che ricercano il concetto di "qualità totale".

Il criterio della nuova progettazione deve riguardare gli aspetti della durabilità nel tempo dell'opera, che viene garantita con il dimensionamento attento e preciso anche degli elementi detti marginali, ponendo particolare attenzione alla definizione delle relative fasi di costruzione e di manutenzione. Per le opere già esistenti, invece, è di particolare importanza il costante monitoraggio e una prevenzione che può limitare gli eventuali interventi di manutenzione e quindi garantire sicurezza ed economicità nella gestione di una rete infrastrutturale.

Uno sguardo alla progettazione futura

L'approccio progettuale che si effettua attualmente è strettamente legato a delle norme legislative che vincolano il più delle volta l'ingegno dei progettisti. Si tende ad adottare infatti un minimo utilizzo di materiale che crea nel tempo dei problemi di durabilità del manufatto e una minor sicurezza strutturale. Vi è da chiedersi come sia possibile che le opere che sono state realizzate in anni passati abbiano a confronto un grado di resistenza al tempo maggiore. Si dovrebbe dare uno sguardo agli anni d'oro dell'ingegneria italiana per rendersi conto di come la fase progettuale era strettamente collegata a quella esecutiva di cantiere. Per creare in un futuro delle opere che diano maggior sicurezza in campo strutturale e che dal punto di vista architettonico offrano un'armoniosa percezione nella forma inserita nell'ambiente, si deve considerare come si progettava nei primi anni del Novecento, dove l'ingegnere aveva non solo il ruolo di progettista dell'opera ma entrava con la sua alta conoscenza in ogni fase di cantiere. L'imparare dai notevoli esempi che si trovano sull'intero territorio nazionale è sicuramente il primo passo per giungere ad una progettazione più cosciente e precisa dei futuri manufatti.

Per quanto riguarda le nuove tendenze nell'utilizzo dei materiali si cerca di sfruttare al meglio le caratteristiche di ogni singolo prodotto, adottando come strutture quelle miste in acciaio-calcestruzzo e realizzando i nuovi viadotti con un sistema di varo a spinta che permette di avere alle spalle dei ponti una zona di cantiere adibita al montaggio dei vari pezzi che arrivano direttamente dalle officine o dalle industrie. L'industrializzazione del processo, adottato come tecnologia ripetuta, ha sicuramente influenzato la fase di progettazione.

La componente strutturale in un'opera d'arte è sempre presente e sicuramente non occupa una posizione di secondo piano. Dopo il periodo qualifican-

te dal punto di vista architettonico della metà del Novecento, in cui si sviluppa il massimo momento di sforzo culturale, si passa ad una fase in cui la qualità costruttiva e architettonica diminuisce realizzando della opere di tipo seriale. Oggi si tenta di produrre delle opere che vedano riunificati i pensieri formali e quelli tecnici, così da poter elevare la tecnica costruttiva ad espressione architettonica.

Guardare ai grandi ingegneri del passato, che hanno fatto la storia delle scienze strutturali e dell'architettura italiana, deve essere d'incentivo e d'esempio per i giovani progettisti di oggi.

Bibliografia

G. GIANGRECO, *Ingegneria delle strutture*, Utet, 1995.

E. SIVIERO, A. BENEDETTI, *La concezione strutturale nel progetto di architettura*, Compositori, 2004.

E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze, Sansoni, 1981.

G. PIZZETTI, *Principi statici e forme strutturali*, Utet, 1983.

S. PALAORO, *Ponti e viadotti, nella storia della autostrade italiane*, Tesi di Laurea, 2006-07.

1955-1975, Le autostrade della seconda generazione, Milano, edito a cura di s.p.a per l'Autostrada Serravalle-Milano-Ponte Chiasso, 1990.

A. VILLA, E. MARTINELLI, *Silvano Zorzi, ingegnere 1950-1990*, Milano, Electa, 1995.

S. CASUCCI, E. SIVIERO, *Silvano Zorzi e i suoi ponti*, Padova, Architettura e struttura, Collana diretta da E. Siviero, 1995.

E. SIVIERO, C. MODENA, *La manutenzione programmata dei ponti e viadotti*, Padova, Architettura e struttura, Collana diretta da E. Siviero, 1992.

E. SIVIERO, S. CASUCCI, A. CECCHI, *Il progetto del ponte*, Padova, Architettura e struttura, Collana diretta da E. Siviero, 1994.

E. SIVIERO, S. CASUCCI, A. CECCHI, *Il ponte e l'architettura*, Milano, Città Studi Edizioni, 1995.

M. MARANDOLA, *Riccardo Morandi, Viadotto sul torrente Polcevera, Genova. Un volteggio sopra la città*, "Casabella" 739-740, 2005-2006.

C. C. GUIDI, *Cemento armato precompresso, teoria-esperienze-applicazioni*, Roma, Edizioni "della Bussola", 1947.

Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1966/70, "Anicap, 6° congresso internazionale del precompresso, Praga, 1970", Edito a cura dell'Aitec.

RICCARDO GULLI

L'edilizia scolastica prefabbricata in Italia. La sperimentazione degli anni '60

Con l'emanazione della Lex N°17 del 26.01.1962 che elevò fino alla considerevole cifra di 20 miliardi di lire il precedente stanziamento di 1.4 miliardi disposto con la Lex N° 53 del 15 febbraio del 1961 -finanziamento per l'incremento dell'edilizia scolastica prefabbricata- prende avvio una vicenda singolare nel processo di sviluppo dell'industrializzazione edilizia italiana del dopoguerra. Alla modesta e circostanziata istanza posta dalla legge del 1961 di "provvedere alla deficienza delle aule scolastiche" - istanza che già dal 1957 aveva indotto La Direzione Generale dell'Istruzione Elementare a finanziare ampliamenti dei plessi esistenti con "padiglioni" prefabbricati - si sostituisce, nel successivo anno, un progetto di più grande respiro mirato a soddisfare non solo le necessità contingenti (quale in particolare quella del comune di Napoli oggetto di un capitolo specifico e riservato del finanziamento) ma anche a fornire risposte ad una più organica programmazione dei futuri interventi da attuare per garantire una migliore rispondenza agli standard dimensionali e funzionali previsti con la crescita della scolarizzazione primaria. In questo contesto e secondo tali finalità, il 1° giugno del 1962 viene indetto un appalto concorso, distinto in due fasi: la prima inerente la qualificazione dei sistemi di costruzione a elementi modulari proposti dalle Ditte partecipanti[1] ; la seconda per l'aggiudicazione delle opere finanziate dal Ministero e consistenti in 339 edifici scolastici da realizzare in 35 province italiane. Solo 24 delle 108 ditte invitate superarono la prima fase e di queste 21 avranno poi l'incarico ad eseguire le opere sotto la Direzione dei Lavori eseguita direttamente dall'Istituto di Sviluppo dell'Edilizia Sociale (ISES).[2]

Tale circostanziata esperienza, legata all'emanazione di una specifica legge - coperta da un cospicuo finanziamento statale- rappresenta un primo importante passaggio nel processo di sviluppo dell'edilizia prefabbricata in Italia, poiché fissa l'inizio della ricerca sperimentale in questo campo.[3]

Su tale linea prenderà infatti forma la successiva iniziativa legislativa (lex. N° 1358 del 18-12-1964 che richiamerà in vigore la precedente lex N° 47 del 26.1.63) che pose a bilancio la cifra di 2400 milioni di Lire per il periodo luglio-dicembre 1964 e altri 2200 milioni per l'esercizio finanziario del 1965, al fine di finanziare gli interventi di "sperimentazione dell'edilizia scolastica, anche prefabbricata".

Nel luglio del 1965 il Ministero dei Lavori Pubblici pubblica un secondo appalto concorso per l'attuazione del suddetto programma sperimentale e mirato alla costruzione di 26 edifici destinati a

scuole dell'obbligo a cui vennero invitate 100 ditte italiane. Il programma prevedeva la realizzazione di 14 scuole elementari e 12 medie localizzate in 11 diverse regioni italiane.[4] Il 2 ottobre del 1965 scade il termine per la presentazione dei progetti e da qui si da seguito alla successiva fase di valutazione di merito espressa da una commissione ministeriale coadiuvata da alcuni docenti universitari.

L'esito di tale procedura di validazione dei sistemi costruttivi porta a selezionare 19 ditte ritenute idonee per l'affidamento dei lavori.[5]

Queste due vicende concorsuali, collocate in un arco temporale piuttosto limitato - circa un lustro fra il 1961 e il 1966 - consentono oggi di decifrare e rappresentare due primarie questioni: da una lato forniscono un contributo conoscitivo parziale, ma significativo, del livello tecnologico espresso dall'industria edilizia italiana degli anni dello sviluppo economico, nella progettazione e sperimentazione di nuovi sistemi costruttivi prefabbricati; in seconda battuta permettono di verificare, a distanza di circa quarant'anni, la rispondenza o meno ai requisiti di affidabilità e durata denunciati al tempo dalle Ditte produttrici, mediante una indagine svolta sul campo.

Il presente contributo è dunque inteso a delineare entrambe le questioni poste; a partire da una riflessione sui presupposti teorici e tecnici che sostengono le ipotesi di sviluppo della prefabbricazione in edilizia nell'Italia degli anni sessanta, fino all'indagine sullo stato conservativo degli edifici, svolto su un caso di studio riferito ad una scuola realizzata in occasione del secondo concorso-appalto del 1965.

La portata di un'esperienza

Il significato e il contributo fornito dall'attuazione del predetto programma ministeriale per le attese di sviluppo dell'edilizia industrializzata italiana degli anni '60, è connesso ad una serie di ragioni di natura tecnico-economica e di carattere sociale, di cui si riportano in sintesi alcuni aspetti salienti. Un primo aspetto è correlato alla tempistica di esecuzione delle opere. I tempi contrattuali previsti per la realizzazione degli edifici scolastici - mediamente compresi fra i 6 e gli 8 mesi - risultarono ampiamente rispettati. Un dato che consentì di rendere esplicita la fattibilità dei sistemi prefabbricati e di prefigurare la possibilità di nuovi investimenti nel campo dell'industrializzazione in edilizia.

Di contro la questione dell'ampia offerta di mano d'opera rispetto alla reale domanda del tempo, appare ancora come il limite più evidente e socialmente rilevante, per le ipotesi di sviluppo dei processi industrializzati, naturalmente improntati a generare un decremento della forza lavoro manuale.

A ciò faceva da contrappunto un'altra importante questione di quegli anni ed incentrata sulla *attualizzazione* della domanda potenziale di edifici pubblici (case, scuole, ospedali), che prefigurava la diretta partecipazione dello Stato e degli Enti ausiliari in funzione di committenti. Questo ultimo e centrale aspet-

to, costituisce il dato più significativo del contributo positivo ed anticipatore espresso dal programma ministeriale sull'edilizia scolastica poiché rappresentò la prima consistente commessa idonea ad azionare il meccanismo del mercato, sollecitando l'offerta[6].

La portata di questa specifica esperienza non è dunque solamente riconducibile a questioni di natura tecnica, ma rappresenta un caso riuscito in cui la catena dei rapporti fra committenza, progettisti, imprese ed utenti finali, ha seguito un iter di collaborazione fattiva, superando il generale conflitto di interessi tra le parti.[7]

In particolare ha sollecitato con successo sia il rapporto committenza-direzione dei lavori - aprendo spazi a forme sinergiche di collaborazione, estese fino alla ricerca sperimentale e all'assistenza tecnica alle imprese - sia quello della progettazione, concepita come funzione continua, dalla ideazione fino all'esecuzione dell'opera.[8]

Le tecniche di costruzione

L'analisi delle soluzioni costruttive adottate dalle ditte vincitrici nella prima fase dell'appalto-concorso del 1962, consente di delineare alcuni tratti dello stato di avanzamento tecnologico raggiunto dal settore dell'edilizia prefabbricata italiana del tempo.

Per necessità di sintesi vengono di seguito analizzate tre primarie questioni relative ad elementi e componenti di fabbrica: l'impianto strutturale; le chiusure fisiche verticali opache; i paramenti interni.

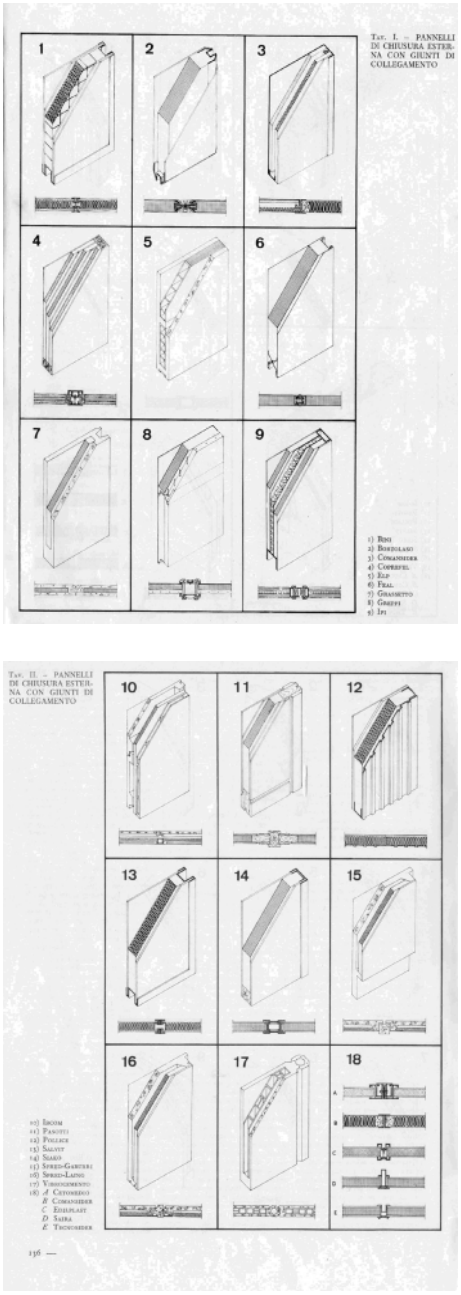


Fig. 1 - Tabelle descrittive delle tipologie di chiusure esterne opache

Ossatura portante

In primo luogo la scelta dell'ossatura portante: del totale degli edifici monopiano, quattro vennero eseguiti in in cemento armato[9], otto in acciaio, sei altri materiali (in pannelli portanti) e solo uno in struttura mista ad ossatura portante e pareti portanti. Per gli edifici pluripiano, su dodici edifici, nove vennero realizzati in acciaio e solo tre in cemento armato.

La preferenza assegnata ai procedimenti a secco in acciaio è emblematica del fatto che tale sistema costruttivo forniva maggiori garanzie rispetto alla costruzione prefabbricata in cemento armato - sia puntiforme a telaio che a pannelli - sopratutto per i tempi di esecuzione, per il controllo preventivo delle fasi cantieristiche ed infine per le caratteristiche di maggiore leggerezza. In particolare nella maggioranza dei casi venne adottata la soluzione a pilastri passanti e travi interrotte, con vincoli di semplice appoggio.[10]

Chiusure esterne opache

Le indagini svolte dall'ISES sulle prestazioni richieste dalle chiusure esterne opache, evidenziarono invece che le migliori garanzie offerte rispetto ai due principali requisisti -resistenza meccanica all'urto e i processi di degrado nel tempo- fossero fornite dai pannelli in calcestruzzo armato.[11] In realtà solo quattro ditte utilizzavano pannelli in calcestruzzo (Grassetto, Ircom, Spred Gaburri, Fibrocemento) mentre le altre soluzioni tecnologiche erano basate sull'impiego di materiali leggeri con requisiti di isolamento termico: l'amianto (Bini, IPI, Salvit; Tecnosider); il fibrocemento (Pasotti, Siaro); in lamiera in acciaio zincato o plastificata (Comasinder, Pollice, Greppi); in alluminio verniciato (Feal); in resina rinforzata con fibre di vetro (Edilplast, Bortolaso); in glasal (Ceto Medio); in Petralit (Saira). Solo tre sistemi adottavano un "controparamento esterno" con funzioni di isolamento acustico e di tenuta al fuoco: la ditta Bini con pannelli di fibra vegetale ignifugata; la Coprefel con pannelli di Apexil pieno tra sfogliati di legno.[12]

Paramenti interni

I materiali utilizzati possono essere classificati in sei categorie: 1. Fibrocementi (amianto, petralit); Resine (poliesteri, prevalentemente rinforzati); Fibrolegnosi; Calcestruzzi (semplici o con pomice); gesso (semplice ed armato); Metalli (lamiere). Una prima problematica evidenziata dall'ISES riguardava la mancata rispondenza ai seguenti requisiti tecnico-funzionali relativi al fissaggio delle attrezzature alle pareti[13]: esiguità dello spessore (lamiera metallica, fibrocementi); durezza (calcestruzzi, lamiera di acciaio) o fragilità meccanica (fibrocemento, gesso). Una seconda rilevante questione segnalata dall'ISES era invece relativa alle prestazioni offerte in termini di "traspirabilità" del tamponamento, ovvero riguardo alla permeabilità del paramento nei confronti del vapore di condensa: la maggior parte delle soluzioni tecniche adottate (calcestruzzo, metallo, resine) non garantiva una idonea traspirazione del para-

mento e anche i materiali permeabili o semipermeabili (fibrolegnosi) erano protetti con pigmenti che ne impermeabilizzavano la superficie. Un caso a parte era rappresentato dall'impiego di pannelli in conglomerato gessoso (Comasinder, Greppi, Ircom) per i quali veniva segnalata una perplessità in ordine alla durata di tali paramenti nel tempo, anche quando questo era dotato di armatura di rinforzo (Greppi) o con fibre. L'osservazione si basava sul fatto che sia le armature che le fibre diminuiscono l'igroscopicità del gesso solo nella misura in cui diminuiscono il volume della malta, ma al contempo non influenzano il processo disgregante dell'umidità che si esplica - nel gesso semplice - mediante una deformazione di tipo plastico. Tale questione è alla base di uno dei più significativi effetti del degrado oggi presenti nell'edificio scolastico realizzato dall'Ircom a Pesaro.

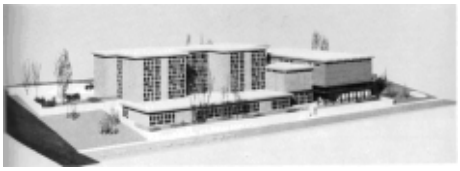


Fig. 2 - Modello originale della scuola

La scuola di Pesaro

In occasione del secondo appalto concorso del 1965, la ditta Ircom si aggiudica la progettazione e costruzione della scuola media Dante Alighieri di Pesaro. Un edifico pluripiano che contiene 24 aule (la massima dotazione prevista dal programma ministeriale), una palestra, un auditorium; la scuola si sviluppa su più livelli assecondando l'andamento orografico del terreno (con un dislivello massimo di sette metri).

Conseguentemente, sia per estensione che per l'articolazione spaziale, tale edifico può essere assunto come un esempio significativo delle potenzialità e dei risultati attesi dal programma per l'edilizia scolastica prefabbricata del tempo.

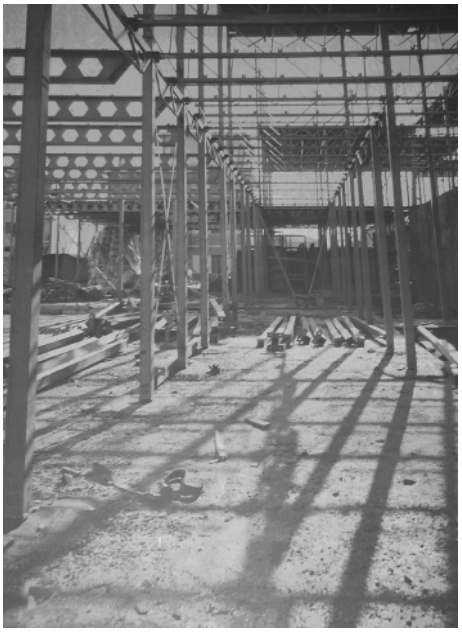
L'edifico è impostato su una platea in cemento armato - disposta su due livelli - come base fondazionale su cui annegare le piastre di ancoraggio della struttura puntiforme in pilastri in acciaio con un sistema a bicchiere (schematizzabile come un vincolo a cerniera); i pilastri di sezione quadrata 12x12 cm sono di due tipologie differenti (HE con fazzoletti e C accoppiate) e di diverse altezze standard (3.80 e 5.70 cm) in modo da assecondare i diversi livelli di imposta dei solai. I solai sono costituiti da pannelli prefabbricati laterocementizi (tipo Bisap) di 12 cm, orditi ortogonalmente alle travi secondarie e rinforzati all'estradosso con un soletta armata da 5 cm.

La copertura della palestra e dell'auditorium è invece costituita da una lamiera grecata con soletta armata estradossale. La griglia delle travi presenta tre diverse tipologie: le travi principali di tipo reticolare, quelle secondare del tipo Joist ed infine le travi alveolari per la copertura del locali dei laboratori.

Come riferito in precedenza i tamponamenti esterni sono a doppio strato con interposta una camera d'aria: il pannello esterno in calcestruzzo (secondo due tipologie, uno per la palestra e l'altro per

la restante parte dell'edificio) è ancorato alla struttura metallica mediante grappe; il pannello interno è invece realizzato in gesso non armato. Gli stessi pannelli, accoppiati su due lati esterni dei pilastri fungono poi da tramezzature interne.

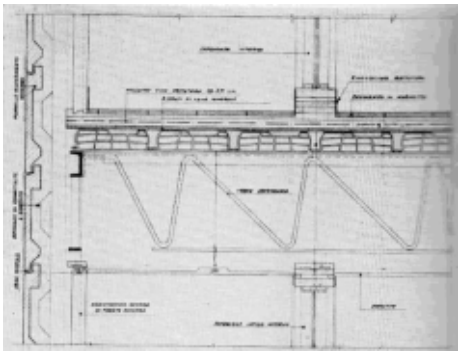




Figg. 3- 4 - Fase di esecuzione degli sbancamenti e della platea di fondazione. Le connessioni tra gli elementi strutturali sono assimilabili a cerniere. Sulla sinistra in evidenza le travi alveolari del laboratori



Fig. 5 - Immagine d'epoca del fronte





Figg. 6-7 - Dettaglio del sistema costruttivo con in evidenza la trave reticolare e la trave Joist (orditura secondaria). Il solaio è costituito da pannelli laterocementizi prefabbricati (da 12 cm) su cui è posato uno strato fonoisolante (2 cm di lana minerale, un massetto armato (5 cm) e la pavimentazione in marmette (3 cm.)

Istanze attuali

I circa quarant'anni intercorsi dalla data di costruzione dell'edificio rappresentano un ordine temporale sufficiente a valutare la rispondenza delle soluzioni tecniche adottate sia rispetto alle aspettative del programma ministeriale, sia alle attuali istanze di sicurezza, manutenzione e funzionalità dell'edificio.

Un'analisi condotta sullo stato conservativo evidenzia infatti la presenza di una serie di carenze e patologie di degrado di natura costruttiva e di ordine strutturale.

Su primo aspetto vi è una questione di carattere generale che investe buona parte del patrimonio edilizio pubblico realizzato prima dell'entrata in vigore della legge sismica 64/74. Le condizioni oggi richieste per le garanzie di sicurezza rispetto all'evento sismico (rappresentate anche dalle nuove disposizioni legislative come l'OPCM 3274 e succ.) inducono a valutare con attenzione il grado di pericolosità atteso, soprattutto nel caso delle tipologie specialistiche, come gli edifici scolastici. La scuola di Pesaro presenta una struttura puntiforme in acciaio con un sistema vincolare tra pilastro-fondazione e pilastro-trave a cerniera. Pertanto gli eventuali stati deformativi generati dall'azione sismica, possono essere sostenuti dalla presenza di idonei elementi di controventamento sia sul piano orizzontale che in quello dei portali. Il rilevo geometrico-costruttivo ha evidenziato una carenza di tali dispositivi, che trova giustificazione nell'assenza al tempo di prescrizioni di natura sismica in questa area[14].

A tale primario aspetto si correla poi un secondo che riguarda le modalità di realizzazione dei tamponamenti esterni a doppio strato, con specifico riferimento a quelli della palestra. I pannelli in calcestruzzo evidenziano estesi fenomeni di carbonatazione (con espulsione del copriferro in vari punti) e in aggiunta sono sostenuti a livello del solaio di piano, con un vincolo di semplice appoggio su mensole in acciaio in aggetto rispetto al filo del pilastro. Una soluzione tecnica che ovviamente pone dei seri problemi rispetto ad eventuali ribaltamenti sul piano della parete per effetto di oscillazioni dinamiche.

Una seconda rilevante patologia di degrado è invece rappresentata dai pannelli in gesso delle tramezzature e dalle



Fig .8 - Indicazione dei fenomeni di carbonatazione dei pannelli esterni della palestra



Fig. 9 - Indicazione del sistema fessurativo della parete interna in pannelli di gesso

contropareti interne. I dubbi sollevati dall'ISES e citati in precedenza, riferiti al graduale e progressivo scadimento prestazionale del gesso per effetto del processo di degrado fisico-chimico indotto dall'assorbimento del vapore acqueo di condensa, risultano pienamente confermati. Il monitoraggio condotto nel corso degli ultimi due anni ha infatti evidenziato una progressiva accelerazione dello stato fessurativo presente sulle contropareti della palestra ed anche sulle tramezzature interne[15].



Fig. 10 - Dettaglio della mensola di sostegno dei pannelli in calcestruzzo al livello del solaio di piano

Questioni aperte

Le questioni sopra evidenziate rappresentano una sintetica descrizione delle problematiche e delle attese della presente ricerca, indirizzata a cogliere l'importanza oggi assunta dallo studio delle vicende storiche che accompagnano il progetto e la costruzione di un'opera come fondamento indispensabile per ogni ipotesi attuale di intervento. Tale approccio, ampiamente condiviso ed accertato nel campo del restauro dei beni storici, richiede di essere applicato anche all'esteso patrimonio edilizio realizzato negli anni '50 e '60 del novecento, la cui peculiarità è proprio rappresentata dall'ampia eterogeneità delle soluzioni tecniche. Un patrimonio -come quello dell'edilizia scolastica- in gran parte ancora in uso e soggetto ad indispensabili interventi di riqualificazione, manu-



Fig. 11 - Composizione della parete della palestra: pannello interno in gesso, intercapedine con struttura metallica, pannello esterno in calcestruzzo schiumato internamente con vermiculite

tenzione ed adeguamento normativo. Per tale finalità, la conoscenza puntuale dei modi di costruire, espressione diretta del contesto tecnologico e produttivo del periodo, si pone come ausilio e guida per garantire una consapevole azione di salvaguardia dell'opera nel rispetto dei caratteri originari.

[1] Il giudizio di qualificazione investiva sia l'idoneità dei sistemi costruttivi adottati (qualificazione oggettiva), sia la capacità tecnica e produttiva delle ditte ad eseguire le opere (qualificazione soggettiva). Delle 24 ditte qualificate. Tre ricevettero osservazioni di piccola entità e venti prescrizioni di modifiche dipendenti da carenze di concezione, progettazione e prefabbricazione, ovvero attinenti a valutazioni di ordine estetico o di natura economica. La prima fase venne espletata il 15 dicembre del 1962, in una fase di rapida evoluzione della normativa dell'edilizia scolastica, mentre la seconda fase dell'appalto –concorso venne indetto il 1°giugno del 1962.

[2] L'affidamento dell'incarico alle 21 ditte che avevano ottenuto la qualificazione venne svolto fra l'aprile e il maggio del 1963. L'incarico della direzione dei lavori per tutte le opere commesse venne affidato mediante apposita Commissione, all'Istituto per lo Sviluppo dell'Edilizia Sociale (ISES) che aveva assolto analogo compito per l'attuazione del precedente programma di interventi nelle zone terremotate. Il 31 ottobre del 1965 (ovvero a circa 18 mesi dall'affidamento) vennero consegnati 339 edifici (comprendenti 2767 aule) per una spesa complessiva contrattuale di 18.623.629.015 (fonte Quaderni del Centro Studi per l'Edilizia Scolastica, N° 4-5 anno 1965).

Le ditte selezionate furono: 1. Bini; 2. Bortolaso; 3. Ceto medio; 4. Comansinder; 5. Coprefel; 6. Edilplast; 7. Elp; 8. Feal; 9. Grassetto; 10. Greppi; 11. IPI; 12. IRCOM; 13. Pasotti; 14. Pollice; 15. Saira; 16. Salvit; 17. Siaro; 18. Spred (Laingmet); 19. Spred (Gaburri); 20. Tecnosider; 21. Vibrocemento.

[3] Con la disposizione dello stesso art. 3 che autorizzò o stanziamento di 100 milioni di lire destinati espressamente al finanziamento di "studi di programmazione e razionalizzazione relativi all'edilizia scolastica prefabbricata".

[4] La localizzazione delle scuole venne così identificata: 1. VENETO - 4 scuole elementari: Salvezzano Dentro; Revolon; Rubano; Casale Scodosia (Padova); 5 scuole medie: Gazzo Padovano (Padova); Pieve di Sacco (Padova); Brugine (Padova); Rugliano (Vicenza); Rovigo. 2. UMBRIA – 2 scuole elementari: Citerna (PG); Montecastrilli (Terni). 3. LAZIO – 3 scuole elementari: Formello, Rocca Priora, Colonna (Roma). 4. MOLISE: 1 scuola elementare: Triveneto (Campobasso). 5: SICILIA: 1 scuola elementare a Catania. 6. SARDEGNA: 2 scuole elementari: San Gavino Monreale (Cagliari); Rione Eaddimanna (Sassari). 7. PIEMONTE: 1 scuola media: Castelletto Ticino (Novara); 8. LOMBARDIA: 3 suole medie: Lonato, Trenzano, Castrezzato (Brescia). 9. EMILIA: 1 scuola media: Comacchio-Porto Garibaldi (Ferrara); 10. TOSCANA: 1 scuola media: Pistoia. 11. MARCHE: 1 scuola media: Pesaro.

[5] Le 19 ditte prescelte furono: 1. Bortolaso – Verona; Cassinelli e Guercini – Roma; 3. Cofic – Roma; 4. Comasinder – Roma; 5. Curtain-wall (Bini) – Calliano (Trento); 6. Feal Sud – Roma; 7. Grassetto – Padova; 8. Greppi – Lomagna (Como); 9. IPI – Milano; 10. IRCOM – Roma; 11. ISCI – Milano; 12. IVAP – Bari: 13. Le onori –Roma; 14. Pascotti – Brescia; 15. Scac – Roma; 16. Sogene – Roma; 17. Soprefin – Roma; 18. Spred – Milano; 19. Tecnosider – Roma.

[6] Nella relazione tenuta dall'Ing. Antonio Franco - Presidente della 1° sezione del Consiglio dei Lavori Pubblici al "Convegno nazionale sui problemi dell'industrializzazione edilizia" svoltosi a Bologna del

1965, viene infatti posto l'accento sulla funzione espressa dalla committenza pubblica nel favorire lo sviluppo dei processi e metodi di industrializzazione del settore edilizio in Italia: "[…] tutta la recente esperienza europea converge ad indicare lo Stato come *committente per definizione* nei riguardi dell'edilizia industrializzata. In particolare nella situazione italiana è certo che soltanto lo Stato potrà determinare le condizioni di mercato capaci di produrre uno sviluppo nel senso qui auspicato: la committenza privata non potrà, in prima fase, che adeguarsi agli orientamenti che la produzione avrà assunto in relazione alle esigenze dell'intervento pubblico. […] L'esperienza effettuata nel campo dell'edilizia scolastica ha permesso di agevolare lo sviluppo di vari sistemi di prefabbricazione, ponendo le strutture in condizioni concorrenziali". In Atti del "Convegno nazionale sui problemi dell'industrializzazione edilizia", Bologna, 16-17 ottobre 1965

[7] Emblematica in tal senso la predisposizione di schede di valutazione dei risultati da parte dell'ISES in cui vengono registrate le seguenti valutazioni: A. Colloquio guidato al Sindaco del comune di realizzazione dell'opera e ad un insegnante della scuola; B. Elementi e valutazione sulla ditta e sul sistema; C. Scheda di indagine urbanistica.

[8] L'incarico della Direzione dei Lavori per tutte le commesse previste nell'appalto-concorso del 1963 venne affidato, mediante apposita Convenzione, all'ISES. I contratti di appalto prevedevano termini di consegna variabili dai sei agli otto mesi dalla messa a disposizione delle aree da parte dei Comuni che a loro volta avevano un termine di 60 giorni dalla data di notifica dell'assegnazione.

[9] La Grassetto e la Vibrocemento adottavano il sistema a pannelli portanti, la prima esclusivamente per edifici monoplano mentre la seconda anche per edifici a due piani. I sistemi a telaio venivano invece adottati dalle ditte ELP, Spred (nel sistema Gaburri e Laingmet) e Pizzarotti. Il primo era interamente a secco; quelli della Spred-Gaburri e Pizzarotti con collegamento umido ed incastro; quello della Spred- Laingmet con collegamento per precompressione.

[10] La soluzione a pilastri interrotti e travi passanti veniva ad esempio adottata dalla Tecnosider, mentre una soluzione mista era adottata dalla IPI con travi e pilastri interrotti, con collegamento a giunto a bicchiere ai quali connettere con giunti bullonati le travi.

[11] I materiali adottati dalla Ditte vengono così classificati: 1. Fibrocementi (Amianto, Glasal, Petralit); 2. Resine plastiche (poliesteri in forma di laminato); Fibrolegnosi; 4. Calcestruzzi; 5. metalli (lamiera in acciaio zincato, lamiera in acciaio verniciato o plastificato; alluminio)

[12] Secondo le direttive fornite al tempo dall'UEATc il controparamento era primariamente funzionale all'incremento di rigidezza e resistenza meccanica del pannello esterno. Le soluzioni proposte dalle ditte erano invece solo in qualche caso basate sull'impiego di un'armatura lignea a nido d'ape nell'anima del pannello.

[13] Una delle più diffuse lamentele da parte dell'utenza.

[14] La precedente nomativa sismica risale al Regio Decreto del 1927. Inopinatamente nel 1939 (Marche) e nel 1941 (Emilia Romagna) si operò un declassificazione delle aree che permase fino all'entrata in vigore della 64/74, che avvenne con i decreti attuativi solo nel 1983.

[15] Tali da indurre a decretare la non agibilità dello spazio della palestra e all'attivazione di uno studio preventivo per gli interventi di recupero e miglioramento sismico.

Laura Greco

La costruzione metallica nell'architettura dei punti ristoro autostradali del dopoguerra in Italia

L'architettura dei punti ristoro autostradali matura i suoi tratti salienti in un decennio circa, a partire dalla metà degli anni '50 e attraverso due fasi di sviluppo fondamentali, connotate da uno specifico repertorio tipologico: la prima serie dei padiglioni laterali e il gruppo dei manufatti a ponte[1]. Le due esperienze, seppure compresse in un arco temporale molto ristretto, che riduce la prima a un piccolo gruppo di realizzazioni sviluppate tra il 1958 e il 1959, mostrano specificità di ordine formale e costruttivo. I primi padiglioni laterali rappresentano interventi di piccole dimensioni, insediati sul bordo dell'autostrada e segnalati da strutture pubblicitarie imponenti che definiscono l'immagine stessa dell'edificio. I manufatti a ponte realizzati tra il 1959 e il 1972 sono una dozzina e comprendono sia interventi in calcestruzzo armato, ordinario e precompresso, sia in metallo, sia strutture miste[2].

I temi costruttivi che presiedono alla realizzazione di queste architetture, icone della nascente società di quegli anni, sono quelli del progetto moderno: trasparenza e leggerezza degli involucri, continuità spaziale degli interni. A questi si affianca, come tratto distintivo della produzione, la ricerca originale sulle articolate strutture pubblicitarie. Seppure presente quasi sempre all'interno di un'apparecchiatura costruttiva mista, che vede parte della struttura di elevazione realizzata in calcestruzzo, la costruzione metallica è partecipe con continuità della produzione complessiva, tanto da assumere un ruolo predominante nella connotazione dell'edificio ristoro e propulsivo nella formulazione di un'identità italiana rispetto al tema dell'architettura autostradale[3]. La preferenza accordata ai procedimenti metallici nella vicenda dell'edificio ristoro, da un lato, è collocabile nel panorama costruttivo nazionale del dopoguerra, come esperienza di interesse per la quantità e la sistematicità delle realizzazioni; dall'altro, per il ruolo che il registro costruttivo assume nella connotazione delle architetture, è riconducibile al percorso di sperimentazione sulla costruzione in acciaio avviato nell'alveo culturale milanese negli anni '30[4].

Impiegata prevalentemente nella realizzazione degli impalcati, delle chiusure e delle strutture di elevazione verticale, la costruzione metallica interviene nelle due espressioni tipologiche dell'edificio ristoro con caratteri peculiari. I padiglioni laterali, come i punti Pavesi di Ronco Scrivia, Lainate (1958) e Varazze (1959) progettati da Angelo Bianchetti[5], comprendono normalmente uno zoccolo seminterrato con una struttura di elevazione in calcestruzzo armato, su cui

si imposta il padiglione metallico vero e proprio. Questo è correntemente caratterizzato dall'invaso spaziale del ristorante, la cui continuità è garantita da coperture con un ordito di tralicci metallici e impalcato in lamiera grecata e da sottili intelaiature perimetrali che riquadrano le ampie vetrate.

Allo stesso modo la costruzione metallica contribuisce a caratterizzare le strutture pubblicitarie di questi interventi. Le "macchine inutili" progettate da Bianchetti per Pavesi in particolare, assumono il linguaggio della costruzione come riferimento, affidando i contenuti figurativi e pubblicitari a elementi di lamierone metallico saldati tra loro per comporre sezioni e tronchi di costruzione da assemblare in cantiere. Nella serie dei ponti la costruzione metallica è presente significativamente nella realizzazione di tre opere fondamentali, gli autogrill Pavesi di Fiorenzuola d'Arda (1959) e di Montepulciano (1967) e il Mottagrill di Cantagallo (1960), documentando l'evoluzione del ruolo della tecnica costruttiva nella trasformazione dei caratteri architettonici del punto ristoro.



Fig. 1 – Il punto ristoro Pavesi di Lainate

In questo secondo gruppo di realizzazioni la costruzione metallica è impiegata sia per la realizzazione degli orizzontamenti e delle coperture in lamiera, sia nelle facciate curtain wall. Queste sono assunte come elemento qualificante l'architettura dell'edificio ponte, proprio negli anni in cui in Italia si avvia una più cosciente sperimentazione sulle valenze espressive e sulle potenzialità costruttive dei sistemi di facciata continua.

Allo stesso tempo, in alcuni casi sono indagate le qualità espressive delle componenti strutturali, tanto da rendere questa traiettoria partecipe di quella più generale dell'espressionismo strutturale, che trova in quegli anni epigoni eccellenti anche nel campo delle costruzioni in acciaio[6].

Ai fattori suddetti di ordine culturale si affiancano le opportunità costruttive e cantieristiche offerte dalle tecniche a secco. La prefabbricazione parziale o totale di alcune delle componenti strutturali, dei sistemi di facciata, delle partizioni verticali, favorita dall'adozione della costruzione metallica, configura i caratteri di un cantiere che comincia a trasformarsi, seppure ancora condizionato da criteri di artigianalità nella gestione delle fasi di lavorazione, per evolvere verso la dimensione del cantiere a secco. Gli effetti più evidenti riguardano la rapidità dei tempi di lavorazione, che, soprattutto nel caso degli edifici a ponte, realizzati ad arteria già funzionante, richiedono di limitare l'interferenza del cantiere con il traffico automobilistico.

Quanto finora esposto trova riscontri puntuali in due opere che riassumono emblematicamente le espressioni tipologiche dell'edificio ristoro: il padiglione di Lainate e l'autogrill a ponte di Fiorenzuola d'Arda. Questi interventi, contemporanei, ma significativamente diversi per il rilievo architettonico e costruttivo dei manufatti, rappresentano i caratteri salienti dell'impiego dei procedimenti metallici negli anni di formazione della serie dei punti ristoro e anticipano, al contempo, i temi delle esperienze successive. Il punto Pavesi di Lainate, sulla Milano-Laghi, realizzato su progetto di Angelo Bianchetti nel 1958[7], rappresenta una delle prime esperienze sulle autostrade italiane[8].

L'edificio è costituito da un padiglione a pianta centrale di 22 metri di diametro e altezza libera interna di 7,90 metri, destinato al bar e alla tavola calda[9]. Lo spazio continuo è racchiuso da una struttura a montanti e traversi e tamponamenti vetrati. Nel piano seminterrato è impiegata una struttura in calcestruzzo armato. Qui sono collocati, su una superficie maggiorata, i servizi per il pubblico e il personale, i locali di deposito per gli alimenti, i vani tecnici per gli impianti. L'architettura del punto ristoro è completata dalla struttura pubblicitaria, costituita da tre archi parabolici che sovrastano il volume del ristorante.

Il padiglione adotta una struttura metallica di ventisei montanti, con sezione composta, costituita da profilati a C NP 160 e piatti di chiusura, irrigidita da traversi saldati in mezzeria. I montanti hanno giacitura inclinata sulla verticale di circa il 4% e sono ancorati al piede, mediante piastre metalliche, alle strutture in calcestruzzo armato[10]. La sezione cava dei montanti è utilizzata per il deflusso delle acque. Il solaio di copertura è composto da un ordito radiale di tralicci reticolari a briglia superiore inclinata[11], irrigidito da quattro collegamenti ad anello. La chiusura è completata da un impalcato in lamiera grecata, controsoffittato con una perlinatura in legno. Le vetrate impiegano lastre da 7/9 mm, la cui posa è risolta mediante un profilato in alluminio anodizzato, imbullonato al filo esterno del montante. La schermatura della vetrata è garantita mediante frangisole a lamelle orizzontali, appesi all'intradosso della copertu-

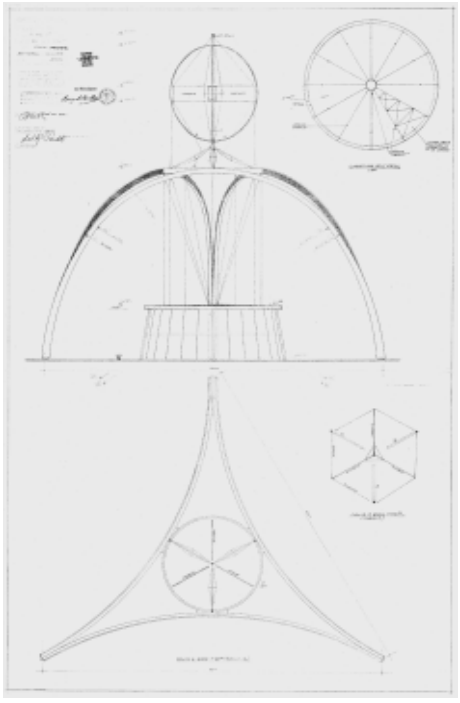


Fig. 2 – Prospetto e pianta della struttura pubblicitaria

ra e alloggiati in una tasca appositamente prevista al filo interno della trave di bordo[12].

La struttura pubblicitaria, che completa l'architettura dell'edificio, è costituita di tre archi in lamierone di ferro piegato e saldato con sezione scatolare rettangolare (1200x600), attrezzata, mediante una scala di servizio interna, per consentire l'ispezione dell'impianto di illuminazione predisposto lungo tutto il profilo delle arcate. L'impianto, pensato per rendere visibile il punto ristoro nelle ore notturne, fu successivamente dismesso a causa della manutenzione difficoltosa. Gli archi, disposti in modo da risultare inscritti in pianta in un triangolo equilatero, hanno luce a terra di 51 metri e altezza in chiave di 30[13]. Il loro ancoraggio è realizzato mediante plinti in calcestruzzo armato. Alla sommità i tre elementi sono collegati mediante un anello del diametro di 15 metri, al quale sono fissati per punti. Lo stesso disco sostiene l'antenna pubblicitaria vera e propria. L'asta, alta 15 metri, è posta all'intersezione di tre raggi, che funzionano da puntoni e tiranti, per sorreggere l'intelaiatura composta dai tre semicerchi ai quali sono infine fissati i pannelli pubblicitari. L'antenna è stabilizzata mediante una serie di controventi. Un gruppo di cavi completa l'installazione pubblicitaria. Questi sono inizialmente previsti negli elaborati progettuali, in verticale e secondo il sistema a raggiera della copertura del padiglione, ma in seguito sono disposti, nella fase esecutiva, secondo diverse direzioni nello spazio[14].

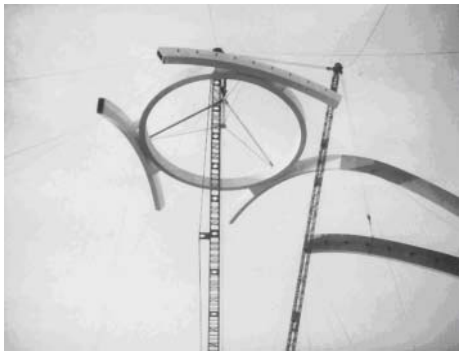




Fig. 3 e 4 – Gli arconi durante la fase di montaggio. In evidenza l'anello di collegamento



Fig. 5 – L'autogrill Pavesi di Fiorenzuola

L'autogrill di Fiorenzuola d'Arda che sorge nel 1959[15] lungo l'Autostrada del Sole, rappresenta il primo punto ristoro autostradale a ponte realizzato in Europa. L'intera costruzione è stata completata in cinque mesi. Il montaggio delle strutture metalliche e dei rivestimenti è stato terminato in meno di due mesi. Il traffico autostradale non ha subito interruzioni durante i lavori. L'edificio è costituito da due blocchi, articolati in un

piano seminterrato e uno rialzato, destinati ai servizi e alle hall di ingresso. I blocchi sono collocati sui lati dell'autostrada e su di essi è impostato, alla quota di 6,60 metri, un piano ponte, che ospita gli spazi per la ristorazione.

La parte sull'autostrada ha una luce di 27 metri. Lo sviluppo longitudinale complessivo è di 60 metri. La profondità del corpo di fabbrica è di 8 metri al piano terra e di 12 al piano ponte, in virtù dei due aggetti laterali. L'altezza libera all'intradosso è di 5,97 metri. Lo schema strutturale dell'edificio prevede l'impiego di sei portali in calcestruzzo armato a due piani, disposti in successione secondo interassi variabili, a sostegno delle due travature reticolari in acciaio alle quali sono sospesi, mediante un sistema di tiranti, i solai di calpestio e di copertura del piano ponte. I sei doppi portali hanno luce di 8 metri e sono incastrati al piede. Le campate definite hanno ampiezza variabile: 27 metri quella principale, 9 e 3 quelle disposte sui lati di ciascuna carreggiata. I portali di estremità sorreggono delle mensole di 4,50 metri.

Le travature reticolari, realizzate in tre tronchi poi assemblati in opera, poste a quota 11,25 e a un interasse di 7,50 metri, sono a briglie parallele e con un'altezza di 3 metri in corrispondenza della campata maggiore; a briglia superiore inclinata, con una pendenza di circa il 15%, in corrispondenza delle parti laterali. Le travature utilizzano profilati a C NP di altezza variabile per le briglie, i montanti e i diagonali. Le unioni sono bullonate, comprese quelle per ricomporre in opera i tre tronchi della trave. L'irrigidimento trasversale dei tralicci è risolto mediante una serie di crociere.Il solaio di copertura presenta un ordito metallico composto di travi stirate tipo TND 20/50 disposte a intervalli di 4,70 metri e con una luce libera tra i sostegni di 12 metri; di arcarecci con luce

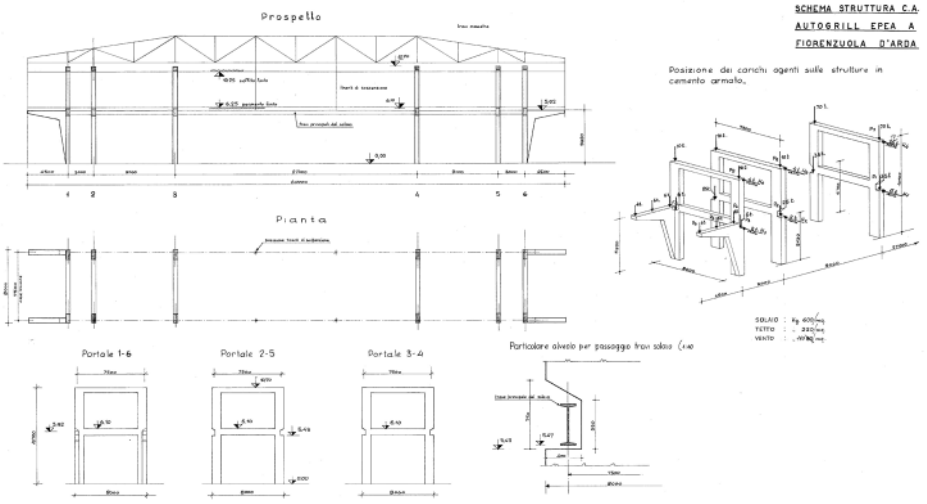


Fig. 6 - Lo schema della struttura in calcestruzzo armato

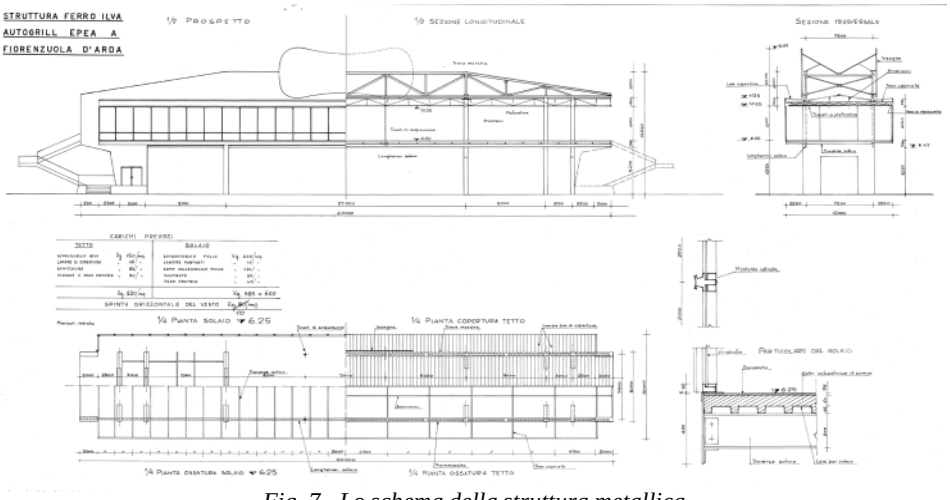


Fig. 7 - Lo schema della struttura metallica

tra gli appoggi di 4,70 metri e sezione a U, disposti a interassi variabili. La chiusura è completata da elementi in lamiera zincata e sagomata, da uno strato di isolamento termico e da una controsoffittatura in lastre di alluminio verniciato. L'ordito di copertura è rivestito all'esterno mediante pannelli metallici sostenuti da un'intelaiatura in profilati leggeri sagomati a freddo. Il solaio a quota 6,25, coincidente con il calpestio del piano ponte è realizzato con una doppia orditura metallica, composta di travi principali tipo IPE 400 con luci di 3, 9, 27 metri e interasse di 7,50 metri; travi secondarie tipo IPE 200 con luci di 12 metri e disposte a interasse di 2. La partizione è completata da lamiere sagomate e zincate dello spessore di 1 mm, disposte all'estradosso dell'orditura secondaria e dal successivo getto di uno strato di calcestruzzo[16]. I due impalcati suddetti, in corrispondenza della campata centrale, sono appesi alle travi di copertura a mezzo di quattro tiranti in acciaio disposti sui due lati. La vetrata continua, che collocata a circa 2 metri dal filo esterno dei portali chiude il volume del piano ponte, è composta di telai profilati a freddo e zincati. Le vetrate hanno altezza di 4 metri (pari all'altezza libera del piano ponte). Lungo i fronti sono presenti due tipologie di infisso, un modulo fisso e uno mobile con apertura a vasistas. Il secondo è costituito da uno zoccolo fisso, che raggiunge l'altezza di circa 80 cm e da un infisso a vasistas disposto superiormente[17].

L'architettura dell'autogrill è completata dalle due scale laterali, attestate all'esterno sui fianchi del ponte. Le rampe elicoidali, realizzate con travi rampanti ad asse curvilineo, sono ancorate a terra e a un sostegno centrale puntiforme a quattro braccia, posto in corrispondenza del pianerottolo di riposo e collegato alla struttura in calcestruzzo della parte seminterrata. La struttura pubblicitaria è inizialmente composta dai pannelli disposti sulla coper-

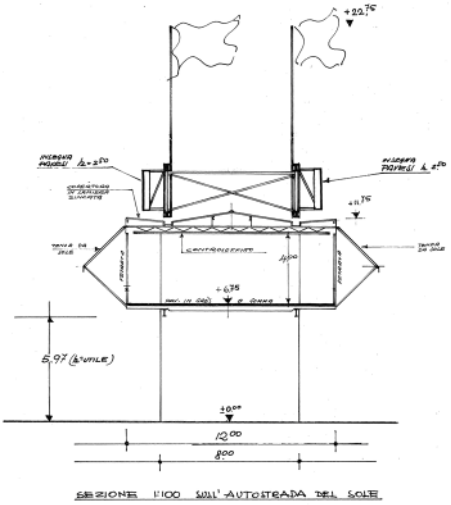


Fig. 8 – La sezione dell'autogrill sull'autostrada

tura e da due piloni in lamierone. Questi sono incernierati al piede, hanno sezione quadrata rastremata e altezza di 37 metri[18]. I piloni sostengono i dischi pubblicitari e sono stabilizzati mediante quattro cavi ancorati al terreno. L'installazione è stata successivamente rimossa per motivi di sicurezza.

L'esperienza italiana nell'architettura dell'edificio ristoro, distinguendosi per l'originalità della ricerca tipologica e della sperimentazione costruttiva, si sviluppa all'interno di un panorama internazionale che in quegli anni è concentrato in Europa sui temi della stazione di servizio, affrontati attraverso opzioni progettuali e costruttive di carattere seriale. La vicenda italiana del dopoguerra, favorita dalla committenza industriale e da progettisti come Bianchetti e Melchiorre Bega, si snoda invece attraverso la traiettoria segnata dalla ricerca dell'autonomia espressiva e costruttiva del singolo intervento, individuando nelle potenzialità espressive dei materiali e delle tecniche un valore identitario, come testimonia il ruolo svolto dalla costruzione metallica nell'evoluzione tipologica dell'edificio ristoro.



Fig. 9 – Il solaio di calpestio del piano ponte

[1] Le origini della ristorazione autostradale organizzata in Italia coincidono con la formazione di due condizioni determinanti per lo strutturarsi del fenomeno: la costruzione della rete autostradale del dopoguerra, avviata dal Piano Romita del 1955 e la trasformazione di alcune realtà artigianali del settore dolciario come Pavesi e Motta in soggetti industriali. La prima provvede a formulare in maniera diffusa, lungo le centinaia di chilometri della nascente infrastruttura, la domanda di punti ristoro per l'assistenza viaggiatori; la seconda inquadra l'offerta conseguente all'interno di un programma di promozione dei prodotti e dell'immagine aziendale, che fonda l'efficacia della propria comunicazione anche sul valore dei manufatti che emblematicamente la rappresentano, attraverso le peculiarità dell'architettura e delle tecniche moderne.

[2] Gli edifici a ponte sono gli autogrill Pavesi di Fiorenzuola d'Arda, Novara, Dorno, Sebino, Frascati, Feronia, Serravalle, Montepulciano, Soave, Nocera Inferiore, Brembo e i Mottagrill di Cantagallo e Limena.

[3] Diversamente dal contesto italiano, impegnato in particolare sull'edificio ristoro, la sperimentazione progettuale e costruttiva che accompagna la realizzazione delle stazioni di servizio tra gli anni '30 e '50 in Europa, indica nella prestazione ingegneristica delle pensiline in calcestruzzo il completamento costruttivo del programma di modernità ideologica associato a queste architetture.

Cfr. A.Sompairac, *Stations-service*, Supplementaires, Paris, Centre Georges Pompidou, 1993.

[4] Cfr. R. Vittorini, *La struttura metallica nella costruzione moderna in Italia*, "Rassegna di architettura e urbanistica", 1994-1995, 84-85, pp. 132-142.

[5] Angelo Bianchetti, architetto, è il progettista di riferimento della Pavesi, per cui cura la realizzazione di decine di punti ristoro. Bianchetti matura a partire dagli anni '30 una specifica esperienza nel settore dell'architettura pubblicitaria ed espositiva, partecipando con Cesare Pea alle Triennali e alle Fiere campionarie di Milano. Alla figura di Bianchetti si affianca nella caratterizzazione della vicenda dell'edificio ristoro quella di Melchiorre Bega che cura la produzione della Motta.

[6] La struttura metallica assume un ruolo qualificante il linguaggio architettonico già nell'autogrill di Fiorenzuola d'Arda, attraverso i blocchi scale attestati sui fianchi del ponte. Negli anni successivi questo ruolo diventa più evidente con l'imponente telaio in acciaio cor-ten nel punto ristoro di Montepulciano.

[7] L'autorizzazione per l'esecuzione delle opere viene rilasciata dal Comune di Lainate, su richiesta della E.P.E.A. (Esercizi pasticceria e affini) s.p.a., il 18 giugno 1958. Il cantiere, diretto dallo stesso Bianchetti, vede impegnata per le strutture in calcestruzzo armato l'impresa GE-DA di Lainate, mentre la parte metallica è progettata ed eseguita dall'Officina Villa Angelo di Lainate. Il calcolo delle strutture in calcestruzzo armato è eseguito dall'ing. Luca Gambaro, che coadiuva Bianchetti abitualmente nella progettazione strutturale. Il punto ristoro ha subito due interventi di ampliamento nel 1961 e 1968.

[8] Il primo chiosco Pavesi risale al 1947. Situato nei pressi dell'uscita autostradale di Novara, è ampliato nel 1952 per diventare un punto ristoro.

[9] La vicenda progettuale e costruttiva è stata ricostruita attraverso i documenti dell'archivio di Angelo Bianchetti, d'ora in poi AAB. Una prima serie di elaborati di progetto del 1958 documentano la sistemazione originaria del padiglione. La pianta del piano seminterrato è documentata nel disegno AAB Prog. 986, dis. 10039 del 14 maggio 1958. Non è invece presente la pianta del piano ristorante, i cui caratteri sono stati desunti dai disegni esecutivi dell'Officina Villa e attraverso l'analisi dei progetti di ampliamento.

[10] Parti della carpenteria sono illustrate nel disegno dell'Officina Villa, AAB n. 3727 del 5 luglio 1958, nel quale non è documentato l'ancoraggio dei montanti alle strutture in calcestruzzo armato. Le specifiche tecniche concordate tra l'Officina Villa e Bianchetti prevedono preliminarmente il collegamento a mezzo di piastre metalliche.

[11] L'altezza di gronda della trave è di 45 cm e di 85 cm all'estremità opposta. Cfr. Disegno AAB 3727.

[12] Successivamente gli schermi furono integrati con una serie di tende fissate in mezzeria all'esterno della vetrata.

[13] Le caratteristiche geometriche sono desunte dalle specifiche tecniche trasmesse dall'Officina Villa al progettista in data 18 giugno 1958 e dal disegno AAB 3716 del 30 giugno 1958.

[14] Nell'elaborato dell'archivio AAB, Prog. 986, dis. 10037, 14 maggio 1958, "Pianta e prospetti arcate pubblicitarie", la disposizione dei cavi è indicata nella pianta dell'ordito di copertura e nel prospetto dell'edificio. Cfr. Fig 2. Nella fase esecutiva le foto di cantiere evidenziano la diversa organizzazione dell'ordito di copertura e della serie di cavi pubblicitari.

[15] L'autorizzazione a costruire è rilasciata all'E.P.E.A. s.p.a. il 25 agosto 1959. Il progetto architettonico è curato da Angelo Bianchetti, mentre quello della struttura metallica è del Centro Costruzioni Metalliche dell'Ilva. Lo stabilimento ILVA di Vado Ligure è stato incaricato della realizzazione e del montaggio della struttura. L'esecuzione delle strutture in calcestruzzo armato è affidata all'impresa GE.DA di Novara. La ricostruzione della vicenda progettuale e costruttiva è stata effettuata attraverso la documentazione del progettista e dell'Ilva, conservata presso l'AAB.

[16] Cfr. *Moderno autogrill sull'Autostrada del Sole*, "Acciaio", 2, febbraio 1960, pp. 116-117.

[17] Il progetto e l'esecuzione delle vetrate è curato dall'ILVA. Il disegno dello stabilimento di Vado Ligure FN 2865 del 9 giugno 1959, "Particolari vetrate", custodito presso l'AAB, documenta l'abaco degli infissi previsti. Su ciascun fronte sono previsti di 24 moduli (2,35 x 4,00 metri) e quattro su ogni testata.

[18] Il progetto dei piloni è stato curato dal Centro Costruzioni Metalliche dell'Ilva.

FRANCESCO ROSA, EDOARDO ROVIDA

Patrimonio storico e catalogazione dei disegni

Introduzione

La storia della tecnica, intesa come sviluppo ed evoluzione di idee e realizzazioni, riveste un'importanza notevole dal punto di vista sia culturale, sia tecnico. I disegni tecnici sono una componente importantissima della storia della tecnica e non solo, essendo i "documenti ufficiali" delle realizzazioni.

Dal punto di vista culturale, l'esame dei disegni tecnici storici consente di studiare l'evoluzione delle idee e delle realizzazioni e di ricostruire la storia del pensiero, dell'organizzazione sociale e del lavoro.

L'importanza tecnica dei disegni storici si presenta in tutta la sua evidenza, se si pensa che gli archivi di disegni storici sono "collezioni" sia di soluzioni costruttive (e quindi rappresentano la memoria storica della progettazione e della realizzazione di manufatti) sia di modi di disegnare (e quindi sono raccolte di soluzioni ai problemi di rappresentazione).

Gli archivi di disegni storici, quindi, sono di grande importanza sia per la metodologia della progettazione, sia per la normazione nel campo del disegno.

Alla base della fruizione dei disegni storici sta, ovviamente, la loro conoscenza, la quale è fondata sulla conservazione e sulla catalogazione. A questo proposito, è importante la catalogazione sia degli archivi, sia dei disegni.

Archivi

In tabella 1 è riportato un esempio di scheda di catalogazione relativa ad archivi di disegni di macchine agricole [1] utilizzato da uno degli autori per costituire un data-base di archivi di tale genere.Tale data-base potrebbe essere considerato un riferimento per un'eventuale generalizzazione.

Disegni

Il criterio di catalogazione dei disegni deve tenere conto sia dei contenuti del disegno (cioè dell'oggetto rappresentato, in termini sia di funzione svolta, sia di soluzioni costruttive rappresentate), sia degli aspetti formali, relativi alle caratteristiche ed all'esecuzione dell'immagine. Dalle esperienze degli autori, una proposta di voci di catalogazione è riportata in Tabella 2.

Alcune Esperienze

Per quanto riguarda gli archivi, la già citata indagine sugli archivi di disegni di macchine agricole [1] è partita individuando su repertori commerciali 308 aziende costruttrici, che sono state contattate mediante un questionario. Sono pervenute risposte da 25 aziende (8%): di queste, 21 (84%) conservano archivi per un totale stimato di circa 160.000 disegni. Dei 21 archivi 14 (67%) sono consultabili da studiosi; degli stessi 21 archivi, 19 (90%) sono ordinati e catalo-

gati. In particolare, 2 sono microfilmati e 2 informatizzati.

○ Azienda
○ Anno di fondazione
○ Indirizzo
○ Persona di riferimento
○ Esiste un archivio di disegni tecnici ? SI NO ▪ Se SI, a quale anno risalgono i primi disegni? ▪ Se SI, approssimativamente quanti disegni sono conservati? ▪ Se SI, l'archivio è consultabile (per la parte riguardante solo i disegni storici) da studiosi interessati? SI NO ▪ Se SI, dove è ubicato l'archivio?
○ I disegni conservati sono: ▪ non ordinati ▪ ordinati in modo sistematico ▪ ordinati in modo alfabetico ▪ ordinati in modo cronologico ▪ solo cartacei ▪ microfilmati ▪ digitalizzati
○ I disegni conservati nell'archivio si riferiscono principalmente a: ▪ macchine agricole (indicare sommariamente quali) ▪ attrezzi agricoli (indicare sommariamente quali) ▪ impianti agricoli (indicare sommariamente quali) ▪ altro (fornire qualche indicazione)
○ Principale interesse dell'archivio: ▪ tecnico ▪ storico ▪ culturale ▪ altro…….
○ Altre eventuali informazioni sull'archivio

Tabella 1

Le epoche dei disegni conservati, sono riportate in tabella 3.

Un'altra esperienza riguarda l'archivio dell'AISA (Associazione Italiana per la Storia dell'Automobile) [2]. Questa associazione, fondata nel 1986, con l'obiettivo di contribuire alla conservazione ed alla valorizzazione del patrimonio storico automobilistico, ha concluso nel 1993 un importante accordo con l'Istituto Lombardo - Accademia di Scien-

○ Dati Generali ▪ epoca ▪ costruttore ▪ paese di produzione ▪ proprietà del disegno ▪ collocazione del disegno ▪ condizioni di conservazione ▪ dimensioni
○ Dati relativi all'immagine ▪ disegno o fotografia ▪ tipo di proiezione ▪ tipo di esecuzione ▪ assieme o disegno costruttivo ▪ presenza di quote ▪ presenza di tolleranze ▪ presenza di colore ▪ particolarità relative alla rappresentazione ▪ particolarità relative alla quotatura ▪ particolarità relative all'indicazione delle tolleranze ▪ scala ▪ firma dell'esecutore
○ Dati Relativi all'oggetto ▪ funzione generale ▪ funzioni componenti ▪ principi P1, P2,… delle varie funzioni F1, F2,.. ▪ soluzioni costruttive S1, S2, … delle varie funzioni F1, F2, …

Tabella 2

ze e Lettere, prestigiosa accademia fondata da Napoleone nel 1797 [3], [4]. Tale accordo ha l'obiettivo di costituire presso l'Istituto stesso, un "Fondo AISA", composta da documenti e libri di interesse storico riguardanti la tecnica e l'industria automobilistica, ceduti da Soci AISA i quali, così facendo, fanno donazione del materiale di loro proprietà, salvandolo dalla dispersione e dalla distruzione.

Fra il materiale già depositato presso il Fondo, è di notevole interesse una collezione di disegni tecnici e di fotografie provenienti dall'ing. Turrinelli, noto imprenditore e progettista di veicoli elettrici stradali. La consistenza della collezione è di circa 320 fotografie di autocarri ed autobus di costruzione Turrinelli, di 4 cartelle di disegni tecnici e di 2 raccoglitori con cataloghi, listini e pubblicazioni varie. I disegni, in totale, assommano a circa 200 ed abbracciano un arco di tempo che va dagli anni Trenta agli anni Cinquanta.

Epoca dei primi disegni	Numero di archivi
Prima del 1900	1
1901-1910	0
1911-1920	1
1921-1930	1
1931-1940	0
1941-1950	2
1951-1960	3
1961-1970	8
1971-1980	4
1981-1990	1

Tabella 3

Un'altra esperienza svolta da uno degli autori si riferisce alle celebrazioni del 2° centenario della nascita di un fisico ossolano, Giuseppe Belli, attivo a Pavia nella prima metà dell'800. Il Belli, nella sua attività di docente e di scienziato, fa largo uso di disegni. Per la celebrazione sopra ricordata, tali disegni sono stati in larga misura individuati e studiati [5].

Per quanto riguarda l'utilizzo dei disegni storici, uno degli autori ha collaborato alla realizzazione di un archivio informatizzato di disegni relativi a sospensioni per autovettura [6]. Tale lavoro, svolto con la collaborazione sia dell'AISA, sia dell'Istituto Lombardo, riguarda circo 500 casi, dalla fine del XIX secolo al 2002: ciascun caso è stato inserito in un data-base, le cui voci riflettono quelle della tabella 2 e sono anche chiavi di accesso all'archivio.

In figura 1 è rappresentato un esempio di videata da tale archivio.

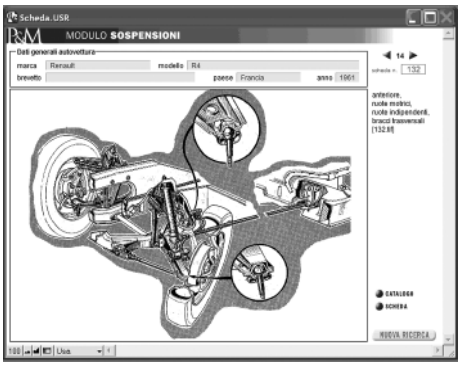


Fig. 1 – Un esempio di immagine ed indice del data-base dell'archivio di sospensioni

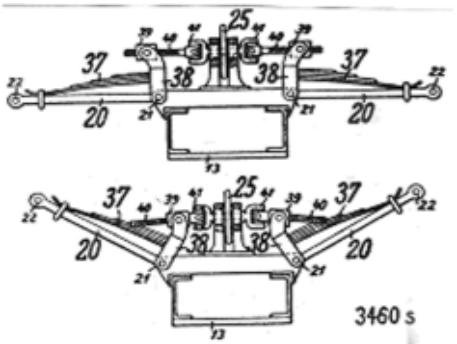


Fig. 2 – Brevetto tedesco risalente al 1940

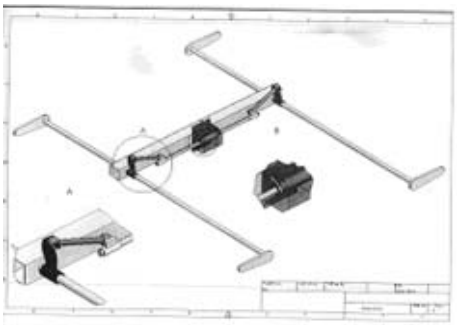


Fig. 3 – Soluzione innovativa derivata dal principio del brevetto tedesco di figura 1

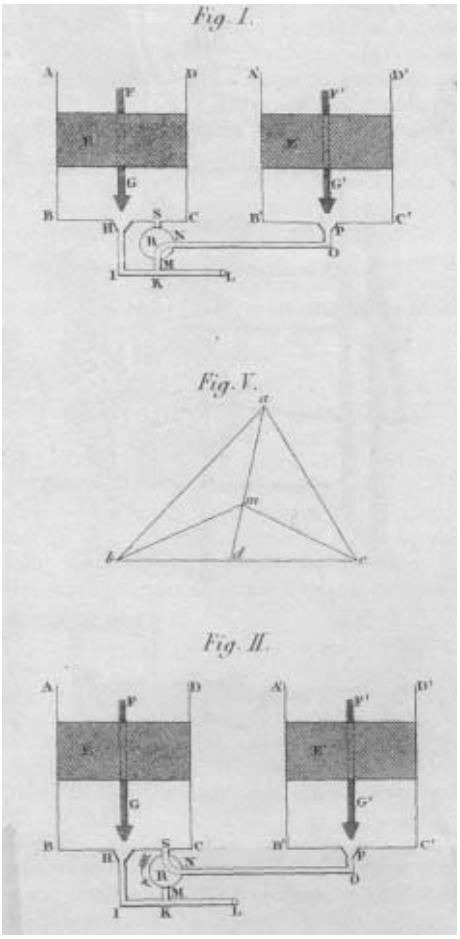


Fig. 4 – Disegni di una macchina pneumatica di G. Belli

Tale archivio è spesso usato come strumento dagli allievi del corso di laurea in Ingegneria Meccanica, come base sia per "lavori d'anno", sia per tesi e tesine di laurea.

Le soluzioni storiche possono essere una base per l'innovazione. Ad esempio, un principio applicato in una soluzione storica per svolgere una data funzione, può essere generalizzato e "calato" nella realtà attuale, dando luogo ad un principio moderno.

Ad esempio, si osservi il brevetto della figura 2, tratto appunto da [6]: esso si riferisce ad una sospensione per autovettura con la possibilità di variare l'altezza da terra del veicolo mediante un dispositivo puramente meccanico. Il principio generale è riconducibile al seguente: "variare la posizione del punto nel quale la molla di sospensione è collegata al telaio". Tale principio può essere attuato, in modo "moderno", nel caso di sospensione a barre di torsione, con la soluzione innovativa indicata in figura 3 [7], [8].

Per quanto riguarda i modi di disegnare, cioè la risoluzione ai problemi di rappresentazione grafica, la figura 4

mostra un'anticipazione di rappresentazione schematica, eseguita da Giuseppe Belli nelle sue opere.

Sempre del Belli è la macchina elettrica ("duplicatore") della figura 5. In essa si nota una rappresentazione in assonometria cavaliera e due in proiezioni ortografiche, che costituiscono le viste ottenute osservando l'assonometria di fronte e dall'alto. Le due proiezioni ortografiche sono in posizione generica e non nelle posizioni fissate da un particolare sistema di proiezione, come, ad esempio, quelli del primo diedro o del terzo diedro: in questo disegno si può quindi intravedere un'anticipazione del "metodo delle frecce" oggi di diffusione ampia e crescente nel disegno tecnico.

La figura 6 rappresenta un particolare del disegno di una pompa, tratto da un piccolo archivio, non ancora del tutto ordinato e catalogato, conservato presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano, di disegni di pompe e particolari idraulici.

Si osserva la parte sezionata ma non campita, poiché ciò non crea ambiguità. Tale modalità di rappresentazione, attualmente, non è prevista da una norma, ma potrebbe ispirarne futuri sviluppi.

Sviluppi futuri e conclusioni

In futuro, la ricerca si orienterà verso la definizione e l'implementazione di strutture dati in grado anche di consentire ricerche "incrociate", ad esempio di gestire la correlazione tra disegni appartenenti ad uno stesso ambito (tra disegni di particolari e di complessivi, diverse versioni dei disegni, ...).

Ulteriore aspetto che sicuramente merita un approfondimento sono tutte le problematiche inerenti le modalità per

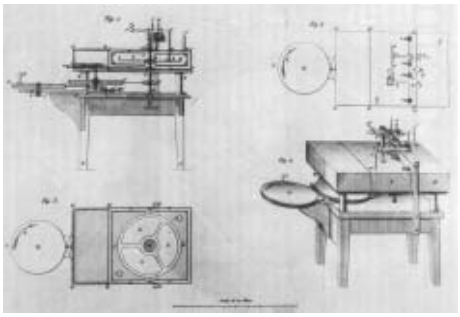


Fig. 5 – Disegni di un "duplicatore" di G. Belli

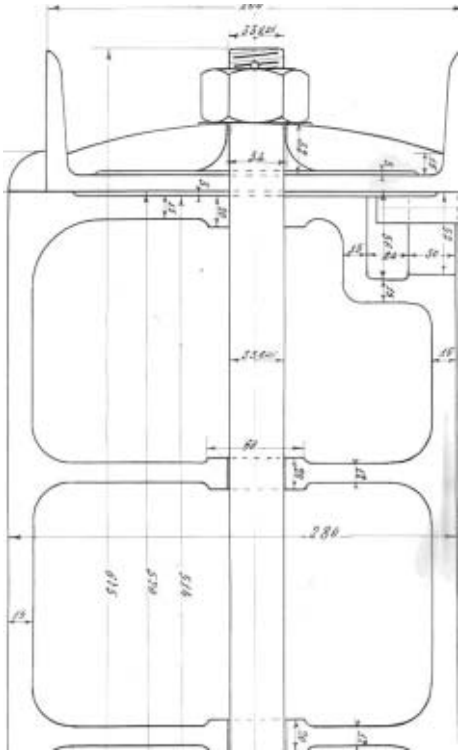


Fig. 6 – Disegno di particolare di pompa con la parte sezionata non campita

"restaurare" i disegni (attualmente esistono diverse procedure possibili, nessuna delle quali sembra però essere risolutiva).

In conclusione, gli archivi di disegni tecnici hanno una notevole importanza, non solo culturale, ma anche tecnica. Essi, infatti, possono essere considerati "collezioni" sia di soluzioni costruttive, sia di modi di disegnare. Le soluzioni costruttive del passato costituiscono la "memoria storica" della progettazione, dall'esame critico della quale possono scaturire idee "innovative".

I modi di disegnare del passato costituiscono la "memoria storica" delle soluzioni ai problemi di rappresentazione e, come tali, possono costituire la base della normazione moderna.

Ogni sforzo volto alla conservazione degli archivi di disegni storici deve quindi essere considerato auspicabile.

Bibliografia

[1] E. Rovida, "Archivi di disegni storici. Il caso delle macchine agricole", AMIA (Acta Museorum Italicorum Agricolturae), 19-20, 2000-2003

[2] www.aisastoryauto.it

[3] L. Amerio, "Breve storia dell'istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere", Relazione presentata al Rotary Club Milano Ovest, 31/01/1996

[4] "L'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere", I Storia Istituzionale, Libri Scheiwiller

[5] G. Bellodi, E. Rovida, "La fisica a Pavia nelle opere di Giuseppe Belli", Università degli Studi di Pavia, 1994

[6]Aa. Vv., "Evoluzione storica di soluzioni costruttive: il caso di sospensioni per autovettura", Dipartimento di Meccanica - Politecnico di Milano, 2003

[7] A. Arona, "Progettazione ed evoluzione storica di soluzioni costruttive per sospensioni di autoveicoli", Tesi di laurea, Università di Pavia, anno accademico 2003-04

[8] F. Rosa, E. Rovida, "The historical heritage: a tool in the abstraction process in the modern design", INTERNA-TIONAL DESIGN CONFERENCE – DESIGN 2006 – Dubrovnik – Croatia, May 15-18, 2006

CHIARA VERNIZZI

Strumenti e tecniche di rilevamento e restituzione grafica avanzate per la valutazione dei meccanismi di danno nell'architettura storica monumentale: il caso della chiesa di Santa Maria del Quartiere in Parma

In questi ultimi anni si è assistito, in tutti i campi della scienza, allo sviluppo di tecnologie strumentali sempre più avanzate, in gran parte basate sull'utilizzo del raggio laser; anche nel campo della diagnostica strutturale dell'architettura storica monumentale, sempre più frequente è il ricorso a questo particolare tipo di strumentazione per lo svolgimento di analisi di vario genere.

In particolare, attraverso l'utilizzo di strumenti basati sulla luce strutturata (i cosiddetti *laser scanner 3D*), è possibile effettuare in tempi sempre più rapidi rilievi di architetture molto complesse, rimandando alla fase di elaborazione e restituzione grafica dei dati ottenuti nel rilevamento, la discretizzazione degli elementi da rappresentare con più o meno accuratezza.

Questa considerazione apre il campo ad una serie di riflessioni profonde sulle differenti finalità del rilievo, da considerare sia nella fase di rilevamento che in quella di restituzione, perché proprio in funzione di queste differenze, molto diversi possono e

Questa ed altre considerazioni in merito, più approfondite, derivano da uno specifico caso applicativo: La chiesa secentesca di Santa Maria del Quartiere in Parma, nell'ambito del cui rilievo architettonico finalizzato alla valutazione della statica e del degrado, sono state compiute diverse scelte metodologiche ed operative, tese all'individuazione delle strumentazioni per le operazioni di rilevamento e degli esiti rappresentativi più adeguati per la finalità indicata.



Fig. 1 - Santa Maria del Quartiere in Parma

Gli elaborati grafici utili per la valutazione delle condizioni statiche e dei meccanismi di danno, da contrastare successivamente con interventi mirati, richiedono, infatti, l'evidenziazione di alcuni fattori a scapito, talvolta, di altri,



Fig. 2 - Localizzazione della Chiesa di Santa Maria del Quartiere su incisione di Gorge Cox del 1853 (Collezioni d'arte Cassa di Risparmio di Parma e Piacenza, n. 4791)

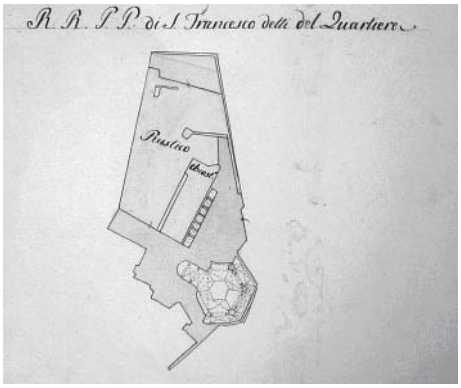


Fig. 3 – Pianta della Chiesa di Santa Maria del Quartiere di Alessandro Sanseverini. (Archivio di Stato di Parma, raccolta Sanseverini, vol. II, n. 22 b)

orientando le operazioni di rilievo e, soprattutto, di successiva restituzione grafica verso schematizzazioni talvolta molto spinte ma decisamente finalizzate, oggi prive di alcuna codifica e per questo oggetto di utilizzi molto personalizzati che, in alcuni casi, possono condurre a difficoltà di lettura o interpretazione.

Il disegno della chiesa di Santa Maria del Quartiere è stato attribuito dagli storici all'architetto ferrarese G. B. Aleotti, che l'avrebbe realizzato intorno ai primi anni del 1600, e sarebbe stato successivamente modificato dall'ingegnere parmigiano G. B. Magnani. Innalzato con il concorso popolare in una delle zone non ancora edificate *intra moenia*, il grande oratorio del Quartiere veniva a sostituire un'antica cappella dedicata alla Vergine. L'edificio progettato dall'architetto ferrarese presentava un andamento dinamico, a pianta rigorosamente esagonale molto prossima a quella pubblicata dal Serlio nel *Trattato di Architettura* tra il 1547 ed il 1551, pur con alcune differenze nella parte sommitale. L'impostazione planimetrica originaria era priva di coro, generando così un volume puramente prismatico.

Per quanto concerne l'impostazione centrica, notevoli esempi di autorevoli edifici a pianta centrale erano già presenti nella città di Parma: si pensi alla pianta ottagonale del Battistero; a pianta centrale, ma a forma di croce greca, era la chiesa di Santa Maria della Steccata, elevata quasi un secolo prima di Santa Maria del Quartiere da Bernardino e Francesco Zaccagni.

La scelta della pianta esagonale aveva una valenza simbolica ed una

funzione scenica. La citazione dei sei triangoli di cui è composto l'esagono esprimeva la perfezione in potenza, perciò la forza divina (rivelatasi nell'Hexéméron, i sei giorni della creazione). La funzione scenica era volta ad imprimere centralità allo spazio interno che ri-

spettava le tipologie francescane e congregazionali, favorendo la partecipazione dei fedeli.

La peculiarità dell'architettura dialogava con la funzione urbana che la chiesa finiva con l'assumere, ubicata come essa era in una porzione della città dove il tessuto edilizio era incompleto: l'edificio sorgeva, infatti, sul limitare della zona urbanizzata, in una parte di città ancora riservata agli orti.

In virtù della sua struttura prismatica, essa poteva fungere da fulcro funzionale, ottico ed urbanistico tra la parte di città costruita e quella non costruita, punto e luogo naturale di snodo di strade urbane disegnate dalla più importante espansione tre-quattorcentesca, ad andamento radiale e traverso, coincidente con una delle linee di difesa della città murata tardomedioevale. Alla Confraternita del Crocifisso, che aveva iniziato la costruzione della chiesa, subentrarono i terziari francescani che ne completarono la costruzione nel 1619.

L'ingresso della nuova congregazione provocò una variante al progetto iniziale, a cui lavorò appunto il Magnani, aggiungendo il profondo abside rivolto a sud ed il retrostante convento, mentre la costruzione degli avancorpi nella facciata risale ai primi anni del Settecento, per opera dell'arch. Pietro Righini.

La pianta centrale della chiesa si sviluppa su base esagonale e culmina nella volta a padiglione ben divisibile in sei spicchi, proiezioni in elevazione degli arconi sottostanti. La chiesa presenta oggi lesioni e fenomeni di degrado diffusi, sia all'interno - sulla cupola e sugli arconi sottostanti oltre che negli ambulacri - sia nei paramenti murari esterni.



Fig. 4 - Veduta aerea da nord della Chiesa e del Convento di Santa Maria del Quartiere

Per comprenderne i meccanismi di rottura e ipotizzare cause delle patologie riscontrate nel corso del rilievo strutturale dell'oggetto, preceduto e basato sul primo fondamentale rilievo architettonico di seguito descritto, si è partiti dallo studio della geometria della fabbrica.

La determinazione del progetto originario di una costruzione rappresenta, infatti, un passo preliminare alla sua comprensione, configurandosi come punto di partenza per la valutazione dei cambiamenti subiti nel tempo, oltre che degli eventuali dissesti.

L'identificazione dello schema geometrico sotteso alla costruzione di un oggetto architettonico può fornire importanti indicazioni sulle evoluzioni del quadro fessurativo e sulla storia dell'oggetto stesso, evidenziandone, attraverso il confronto con la geometria attuale, modificazioni e permanenze.

Per comprendere, quindi, geometria e proporzioni è fondamentale riportare i risultati ottenuti in fase di rilievo alle

unità di misura in vigore all'epoca della costruzione della fabbrica, confrontandole con quelle attuali per capirne i mutamenti ed i dissesti.

Il passaggio alle unità di misura dell'epoca della realizzazione della chiesa consente di svolgere importanti considerazioni sul metodo di costruzione eseguito e di avanzare ipotesi sulle serie geometriche utilizzate in fase di progetto, ricercando proporzioni e rapporti nell'utilizzo di multipli e sottomultipli di queste stesse unità.

Per comprendere geometria e proporzioni è dunque fondamentale ricondursi al *braccio da muro*, corrispondente a 52,54 cm (oltre che ai suoi multipli e sottomultipli, come la *pertica*, pari a 6 bracci e quindi a 327,12 cm).

Da un confronto con il rilievo architettonico eseguito si è risaliti ai rapporti dimensionali utilizzati nella costruzione della chiesa: la pianta esagonale circoscrive un cerchio di raggio pari a 14 bracci, ed è inscritta all'interno di una circonferenza di raggio pari a 16 bracci. Da spigolo a spigolo si misura una distanza di 32 bracci da muro, a cui si aggiungono i successivi moduli da 1 pertica (pari a 6 bracci) dello spessore degli arconi, di cui 4 bracci vuoti e 2 pieni, costituenti il muro più esterno.

A queste circonferenze concentriche fa da coronamento finale, disegnata in realtà solo per metà, la corona circolare di altri 6 bracci, che circoscrivono gli ambulacri nella parte dell'ingresso. Anche qui la ripartizione è di 4 bracci vuoti e 2 pieni.Volendo ricercare una continuazione in elevazione del tracciamento della pianta, emerge che il cerchio interno della chiesa viene ripetuto, attraverso sovrapposizioni radiali, per due volte e mezzo dall'imposta absidale fino al colmo, anche se la misura attuale non coincide perfettamente con quella ipotizzata mediante l'analisi grafica, a seguito dell'abbassamento della cupola per il meccanismo di collasso determinatosi nel tempo.

Le corrispondenze con la geometria originaria costituiscono un interessante punto di partenza per l'individuazione e la conferma dei meccanismi di collasso che nel tempo hanno determinato variazioni della geometria e delle dimensioni originarie, attraverso un continuo confronto con il rilievo dell'esistente.

Il rilievo architettonico per l'acquisizione dei dati dimensionali necessari alla descrizione planoaltimetrica della Chiesa di Santa Maria del Quartiere è stato effettuato mediante metodologie di rilevamento distinte, ma tra loro integrate, che hanno consentito, nella fase di restituzione grafica informatizzata, la ricostruzione e la definizione dei principali aspetti formali e dimensionali utili per una valutazione strutturale della consistenza dell'edificio.

Durante la prima fase del rilievo sono state prelevate le misure in sito, attraverso metodologie di rilevamento differenti, ma tra loro integrate: rilievo diretto e strumentale per gli interni e rilievo fotogrammetrico per il fronte principale.

In questa fase sono stati raccolti tutti i dati dimensionali volti ad una definizione geometrica e dimensionale del ma-

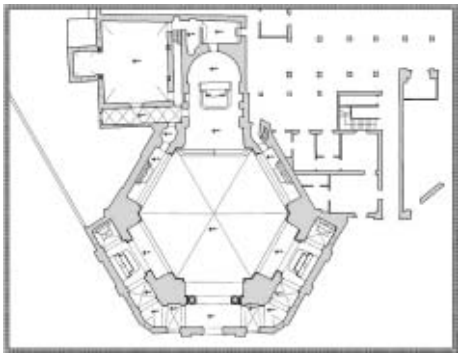


Fig. 5 – Planimetria della Chiesa di Santa Maria del Quartiere a quota + 1.50 ml, scala originale 1:50

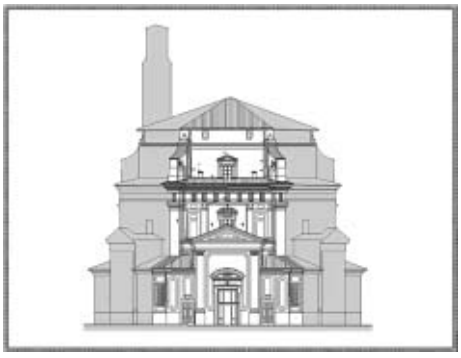


Fig. 6 - Prospetto nord della Chiesa di Santa Maria del Quartiere, scala originale 1:50

nufatto, utilizzando, soprattutto all'interno della chiesa, strumenti di misurazione di precisione come la stazione totale, (strumenti che si basano sull'emissione di un raggio laser che consente la lettura di angoli e distanze; grandezze che vengono registrate da un

calcolatore interno allo strumento stesso, consentendo di conoscere tutte le informazioni necessarie alla conoscenza planoaltimetrica di ogni singolo punto caratterizzante la geometria, e quindi la forma dell'edificio) con la quale è stato effettuato il rilevamento dell'aula della Chiesa per la definizione, mediante irraggiamento, della sua planimetria e della sezione verticale effettuata longitudinalmente lungo l'asse centrale che dalla porta di ingresso arriva all'abside fino al locale retrostante il coro.

All'esterno della chiesa si è invece proceduto attraverso fotogrammetria architettonica (insieme di tecniche che, partendo da fotografie metriche di un oggetto, successivamente elaborate per la loro correlazione, consente di definirne la forma, di misurare le sue dimensioni e di collocarlo nello spazio, consentendo, attraverso opportune sofisticate elaborazioni, di ottenere esiti restitutivi di grande precisione ed efficacia espressiva) al rilevamento del fronte principale della Chiesa, mediante l'acquisizione dei fotogrammi metrici stereoscopici e la realizzazione dei punti di appoggio fotogrammetrici e delle relative monografie.

Il rilievo dell'interno e quello del principale fronte esterno sono stati collegati mediante un rilievo topografico (teso



Fig. 7 – Sezione longitudinale della Chiesa di Santa Maria del Quartiere, scala originale 1:50

a riferire il rilievo esterno ad una rete topografica di primo ordine; anche il rilievo interno tracciando una rete topografica del secondo ordine e legandola quella esterna del primo ordine, costituisce, inoltre, la base di riferimento per le riprese fotogrammetriche), basato sull'utilizzo di una serie di stazioni tra loro collegate, in modo da riportare i punti rilevati sia all'interno che all'esterno in un unico sistema di riferimento.

Nella seconda fase è stata quindi effettuata la restituzione grafica informatizzata dei dati metrici, finalizzata alla descrizione geometrica, formale e dimensionale della Chiesa, attraverso elaborati grafici bidimensionali in scala 1:50. Tali elaborati, in dettaglio, sono: una pianta (sezione orizzontale eseguita a quota convenzionale); una sezione verticale longitudinale; il prospetto esterno del lato d'ingresso, restituito con punti quotati in ragione di almeno tre per ogni parametro di 10x10 alla scala di rappresentazione richiesta, e successivamente vettorializzato in ambiente CAD.

Tali elaborati sono stati, in un primo tempo, individuati come l'indispensabile supporto di minima sul quale effettuare le successive valutazioni sulla situazione statica e di degrado della Chiesa. Dall'analisi della struttura analizzata è emersa, però, la necessità di integrare i dati metrici e formali relativi, in particolare, all'intradosso della volta, in quanto i diversi spigoli costituenti la volta a padiglione, nonché i diversi fusi costituenti le superfici della stessa, presentano situazioni differenziate nei distinti lati dell'esagono, rendendo così necessaria una descrizione tridimensionale completa della Chiesa, al fine di effettuare in modo esauriente le valutazioni di tipo statico riferite alle varie parti della volta.

Attraverso l'esecuzione di un rilievo continuo, effettuato mediante tecnologie innovative di rilievo tridimensionale, i dati derivanti da questa prima campagna di rilievo discreto, sono poi stati implementati consentendo di descrivere, attraverso la definizione di un modello tridimensionale derivante da un rilievo effettuato con laser scanner 3D (strumento che utilizza, combinandole, due metodologie integrate: quelle dei distanziometri, con cui si ottengono le distanze dei punti raggiunti da un raggio di luce polarizzata; e quella della scansione, con cui si fa in modo di "ricoprire", scandendolo, l'oggetto in esame. Questo strumento genera, come risultato finale, immagini costituite da nuvole di punti) , tutti i profili necessari alle valutazioni puntuali sulle diverse parti della volta, il cui rilievo, con strumenti tradizionali, risulterebbe di difficile esecuzione in assenza di adeguate strutture di supporto (ponteggi, ecc.).

Per questo, è stato stipulato un accordo con il che il Centro dipartimentale DIAPReM per lo Sviluppo di Procedure Automatiche Integrate per il Restauro dei Monumenti (*Development of Integrated Automatic Procedures for Restoration of Monuments* - Credits*:* prof. Marcello Balzani Responsabile Scientifico; arch. Guido Galvani, Responsabile tecnico del rilievo laser

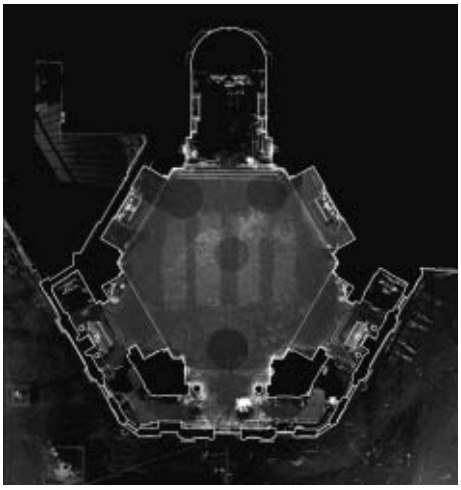


Fig. 8 - Elaborazione del rilievo tridimensionale: planimetria della Chiesa a quota + 1.50 ml, scala originale 1:50

scanner 3d integrato, elaborazione e restituzione dati; arch. Daniel Blersch, elaborazione e restituzione dati) dell'Università degli Studi di Ferrara, che dal 1997 svolge attività di ricerca e di formazione nell'ambito delle attività analitiche, diagnostiche e strutturali per il progetto di conservazione, restauro e recupero architettonico, urbano e paesaggistico, utilizzando tecniche di rilievo tramite laser scanner 3D.

Attraverso l'utilizzo di due distinti tipi di laser scanner è stato quindi effettuato il rilievo interno ed esterno della chiesa di Santa Maria del Quartiere.

Vista l'articolazione volumetrica dell'ambito di rilievo, è stata effettuata un'integrazione sinergica di diversi metodi di rilievo:

1) il *metodo con laser scanner 3D*, utilizzato per ottenere un modello tridimensionale metrico, utilizzando le seguente strumentazione: laser scanner 3D Leica HDS 3000, basato sulla tecnologia time-of-flyght, e laser scanner HDS 6000 basato sulla tecnica dell'interferometria.

Attraverso i laser scanner Leica HDS 3000 e Leica HDS 6000 è stato effettuato il rilievo dell'interno della chiesa, sia nella parte della navata principale, sia nella parte degli ambulacri.

Complessivamente, per il rilievo dell'interno sono state effettuate diverse scansioni, da 8 stazioni opportunamente individuate, sia al livello del piano terra sia dal balconcino situato alla quota d'imposta della volta, sul lato sito in corrispondenza dell'abside. Il rilievo dell'esterno della chiesa, nella parte rivolta su piazzale Picelli, è stato effettuato con il laser scanner Leica HDS 6000, mediante 9 distinte stazioni di scansione.

2) il *metodo topografico* è stato impiegato per la registrazione delle diverse scansioni, ed anche per la definizione di una rete di inquadramento complessiva in sistema locale.

Attraverso il rilievo topografico, effettuato con la stazione totale Leica Reflectorless TCR 1101, è stata definita la poligonale d'appoggio e collegamento tra i diversi target di riferimento, fissati in punti significativi e necessari per il successivo assemblaggio delle diverse scansioni, in un unico sistema di riferimento.

Con questo passaggio si è costruito il modello complessivo interno ed esterno delle nuvole di punti derivanti dalle diverse scansioni, che è stato poi oggetto di successive elaborazioni grafiche.



Fig. 9 – Elaborazione del rilievo tridimensionale della Chiesa di Santa Maria del Quartiere: sezione longitudinale, scala originale 1:50

3) Registrazione delle varie viste acquisite con il laser scanner, attraverso il software *Ciclone 5.6*, per la costruzione il modello 3D a nuvola di punti, che è avvenuta utilizzando tecniche iterative di ottimizzazione globale che correlano la deviazione standard all'accuratezza del digitalizzatore. Da tale modello è stato possibile estrarre sezioni metriche che hanno consentito di ottenere una pianta d'insieme della chiesa riferita al piazzale esterno, una pianta in scala 1:50 a quota convenzionale, una sezione longitudinale in scala 1:50, diverse viste assonometriche e prospettiche in scale diverse.

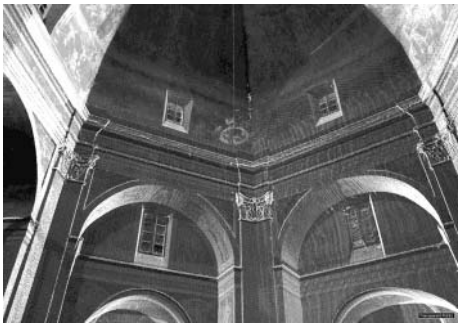


Fig. 10 – Vista prospettica interna dal basso della nuvola di punti estratta dal rilievo tridimensionale della Chiesa di Santa Maria del Quartiere

Per la realizzazione di questi elaborati in proiezione ortogonale si sono estrapolati i profili direttamente dalla nuvola di punti, senza passare attraverso ulteriori elaborazioni della stessa, al fine di verificare e confrontare gli esiti del rilievo effettuato nella prima fase, con strumenti tradizionali, con quelli del rilievo effettuato con il laser scanner 3D. In merito alla volta, vero principale

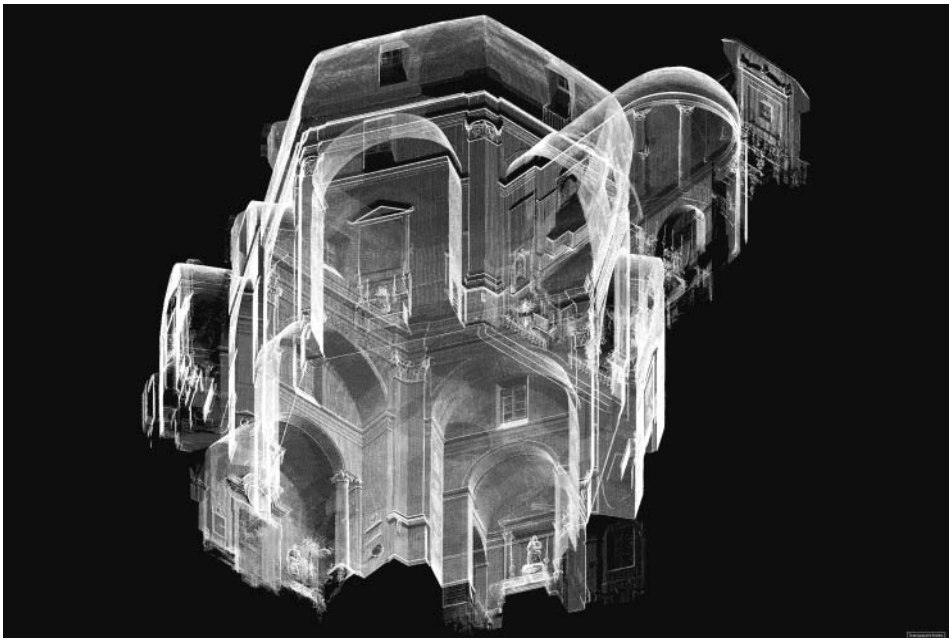


Fig. 11 - Vista assonometrica d'insieme estratta dal rilievo tridimensionale della Chiesa di Santa Maria del Quartiere

oggetto di questa operazione di analisi e verifica strutturale, sono state effettuate diverse elaborazioni per ricavare i profili verticali ed orizzontali presenti su ogni singolo spigolo così come quelli presenti al centro di ogni singolo fuso.

Alla ricerca di elaborazioni sempre più ricche di significato, in merito alle specifiche finalità sottese all'esecuzione del rilievo, il campo si apre ad una serie di riflessioni che vanno al di là delle mere problematiche di rilevamento, invadendo un campo molto vasto e complesso quale è quello della rappresentazione degli esiti delle misurazioni, comunque siano condotte ed ottenute.

Il rilievo per la valutazione strutturale, infatti, investe un campo molto ampio che comprende l'esigenza di visualizzare i meccanismi di danno presenti nelle architetture indagate, attraverso rappresentazioni di insieme che necessariamente sacrificano la resa di particolari minuti, ma che sono tese ad evidenziare mediante modelli tridimensionali schematici, quelle che sono dinamiche strutturali intrinseche all'architettura indagata.

Anche la rappresentazione delle lesioni più minute richiede una precisa modalità di rappresentazione adeguata ad una scala di riduzione più dettagliata, al fine di evidenziare e quantificare gli spostamenti.

Proprio questo ambito si rivela particolarmente ricco di spunti nonché bisognoso di indagini approfondite, volte a definire modalità di rappresentazione che possano costituirsi come linguaggio comune e univocamente interpretabile.

Bibliografia

B. ADORNI, *L'Architettura Farnesiana a Parma – 1545-1630*, Parma, 1974.

AA.VV., *Parma, la città storica*, Parma, 1978.

M. BALZANI, *Il rilievo morfometrico tridimensionale delle architetture albertiane*, in *Leon Battista Alberti e l'architettura*, a cura di M. BULGARELLI, A. CALZONA, M. CERIANA, Milano, 2006.

F. BAROCELLI, *Mirabili et stupende fabriche. Le chiese dei Farnese a Parma*. Parma, 2001.

MARIA TERESA COMO

Le perizie tecniche per la stabilità della tholos micenea

Introduzione

La tomba a cupola micenea, comunemente denominata *tholos*, è tra le più mirabili realizzazioni architettoniche della tarda Età del Bronzo. L'elemento architettonico caratteristico è la camera circolare ipogea, voltata a cupola muraria mediante elementi lapidei in progressivo aggetto disposti in corsi orizzontali, che ha raggiunto nel suo sviluppo dimensioni monumentali, come nel Tesoro di Atreo con un diametro alla base di 14,6 metri. La cupola muraria, per l'apparecchiatura in corsi orizzontali, viene usualmente definita come una *falsa cupola*, ovvero si intende che gli spicchi murari meridiani, in cui può essere idealmente suddivisa, siano strutturalmente separati tra loro e stabili autonomamente per trasmissione di sole azioni verticali. Tale definizione è stata indubbiamente favorita dalla condizione ipogea che rende complesso il rilievo e l'ispezione di tutte le parti.

I disegni di rilievo esistenti delle *tholoi* rappresentano generalmente solo il profilo della cupola all'intradosso e la proiezione di prospetto degli elementi lapidei, lasciando incogniti i dati relativi alle "parti nascoste" ipogee, che costituiscono informazioni necessarie alla conoscenza della costruzione e all'analisi del comportamento statico. Partendo dall'analisi della fattura tecnica e morfologica del monumento, e attraverso l'approfondimento di un caso reale, il Tesoro di Atreo, che ha consentito di definire un modello geometrico completo della struttura congruente con l'evidenza, si propone una revisione critica della validità del semplice modello di comportamento a *pseudocupola*, correntemente attribuito.

Si riconosce al termine che, le *tholoi* micenee sono nella storia del costruire prime sperimentazioni di strutture a cupola poiché con espedienti costruttivi coinvolgono nella statica i corsi anulari, nonostante la non acquisita disposizione inclinata dei letti di posa.

Descrizione del monumento

La *tholos* è struttura ipogea e insieme visibile nel paesaggio; realizzata tramite scavo e costruzione. La condizione ipogea è ottenuta attraverso lo scavo di un pozzo circolare in cui sono inseriti lo spazio della camera e la parte inferiore della cupola a perimetro e co-



Fig. 1 – Tesoro di Atreo

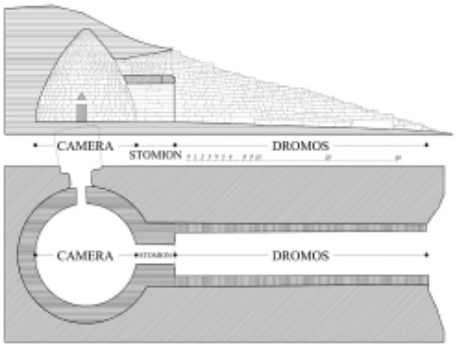


Fig. 2 – Tesoro di Atreo. Pianta e sezione longitudinale (elab. da Wace, 1921-23)

pertura, e si conclude con l'imposizione del tumulo all'estradosso.

Per tale rapporto con il suolo, le *tholoi* sono collocate, generalmente, lungo le pendici di una collina, in modo da ricavare il pozzo di impianto nella pendice. La profondità dello scavo, e pertanto l'altezza del pozzo, è generalmente pari all'altezza del vano di accesso. In tal modo le pareti perimetrali della camera fino alla quota dell'architrave sono controterra, mentre la restante struttura muraria, a copertura dello spazio, si eleva al di sopra del pozzo, generando con il tumulo sovrastante un volume emergente dal declivio della collina.

La pianta della camera occupa la base del pozzo di scavo, a meno dello spessore delle pareti perimetrali. Una monumentale rampa rettilinea, *dromos*, che si sviluppa come prolungamento entro il tumulo di uno dei raggi della camera, taglia la pendice della collina, in cui è ricavato il pozzo, e il tumulo sovrastante e conduce al portale di accesso alla tomba. Il *dromos* è pertanto contenuto lateralmente da pareti murarie progressivamente più alte, costituite direttamente dalla collina tagliata o da muri di contenimento.

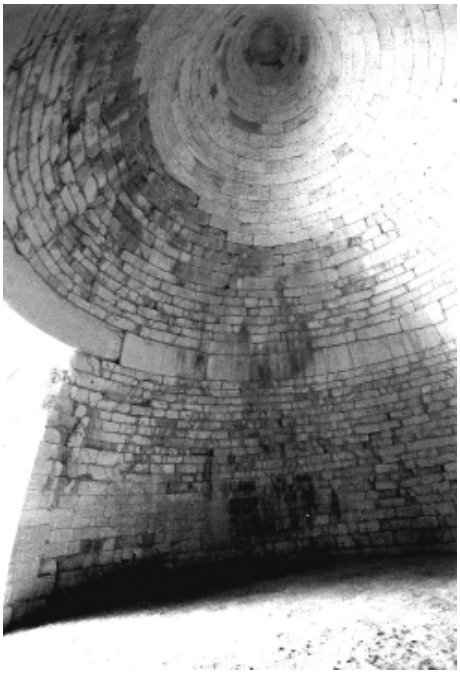


Fig. 3 – Tomba di Clitennestra. La muratura della cupola (da Stierlin, 2001)

All'intersezione del *dromos* con la camera è posto il portale di accesso, lo *stomion*. I terminali dell'arco di circonferenza muraria costituiscono i piedritti dell'apertura, e definiscono verso il *dromos* la facciata monumentale, tramite incremento di spessore. La parete muraria dello *stomion* sul *dromos* si eleva verticalmente, mentre sulla camera segue la curvatura della cupola muraria, integrandosi ad essa.

La camera circolare ipogea, voltata a cupola muraria mediante elementi lapidei in progressivo aggetto, e coperta

dal tumulo all'estradosso, è l'elemento architettonico caratterizzante la *tholos* micenea.

Le pareti perimetrali della camera vanno via via a chiudere verso l'alto lo spazio interno, generalmente già dal primo corso, generando all'intradosso una cupola di forma ogivale. Gli elementi lapidei sono apparecchiati, sia nel tratto controterra, inserito nel pozzo, sia in quello superiore, per anelli concentrici progressivamente in leggero aggetto verso l'interno, fino ad ottenere, all'apice, la completa copertura dello spazio. Generalmente l'intradosso presenta una medesima curvatura per la parte inserita nel pozzo, e poi, fino all'apice, una curvatura di minor aggetto. Pertanto, il profilo interno assume la forma di un'ogiva stirata verso l'alto (Fig. 4).

Dalle poche indagini in parti interne e dalle sezioni murarie esposte di *tholoi* parzialmente crollate possono descriversi sinteticamente la struttura della cupola all'estradosso, l'apparecchiatura e la connessione con il pozzo di scavo. La parte inferiore, inserita nel pozzo, cresce via via di spessore in relazione alla misura dell'aggetto, fino alla quota dell'architrave, e spesso si riscontra la presenza di un riempimento di pietre e argilla compattato tra le pareti del pozzo e la muratura della cupola. In alcune evidenze, l'ispezione di zone all'estradosso ha accertato una diminuzione dello spessore della cupola a partire dal bordo superiore del pozzo, per passi successivi, che determina una curvatura dell'estradosso non concentrica rispetto all'intradosso. Tra i pochi elaborati che descrivono l'apparecchiatura della muratura della cupola, di particolare interesse è la pianta dell'ultimo corso del Tesoro di Atreo (Fig. 5) realizzata quando, mancando la lastra di chiave in seguito ricostruita, era possibile visionare il corso in tutto lo spessore. Il rilievo illustra il corso orizzontale composto da blocchi lapidei di forma trapezoidale ad una fila, a contatto all'intradosso per una profondità di circa otto centimetri. Per la restante parte i blocchi sono tenuti

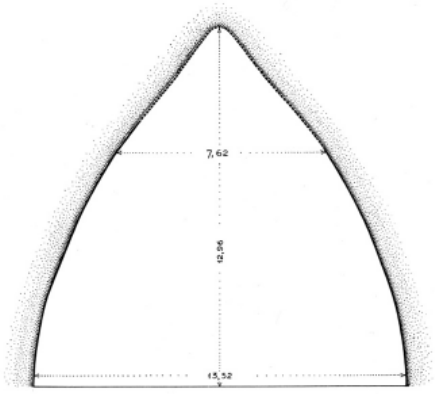


Fig. 4 – Rilievo del profilo interno della Tomba di Clitennestra (da Mylonas, 1966)

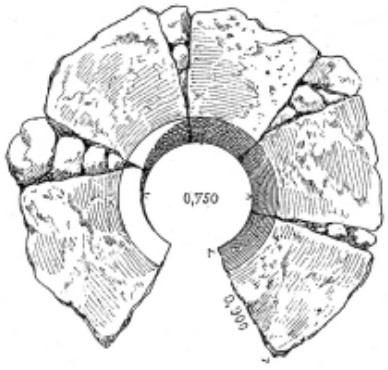


Fig. 5 – Tesoro di Atreo. Pianta dell'ultimo corso della cupola (da Blouet, 1833)

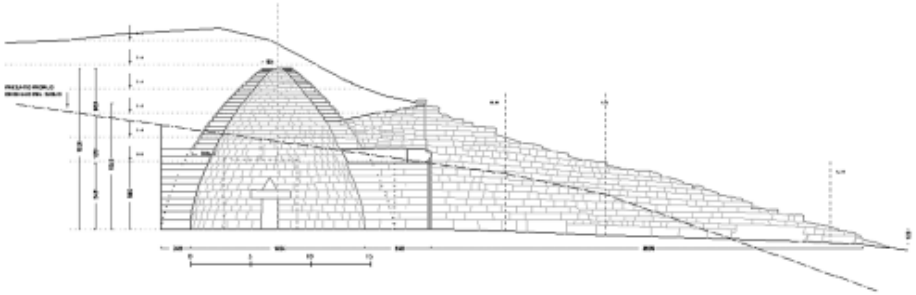


Fig. 6 – Tesoro di Atreo. Sezione del "rilievo interpretativo" (elab. da Wace,1921-23 e 1940)

solidali con l'inserimento in forza di pietre più piccole e argilla. Dal dettaglio costruttivo emerge l'attenzione posta nel realizzare i corsi orizzontali e l'intento di conferire ad essi un'efficiente capacità di resistere a compressione.

Definizione del modello geometrico

Come avviene per la totalità delle *tholoi*[1] i rilievi esistenti riguardano solo le parti visibili delle strutture, e non contemplano informazioni circa lo spessore e l'apparecchiatura della cupola muraria, le dimensioni del pozzo in cui si impianta la cupola, nonché la stratigrafia del tumulo sovrastante. Tali informazioni sono necessarie per elaborare un modello geometrico preliminare all'analisi statica. Con lo studio del Tesoro di Atreo, sviluppato attraverso l'esame delle descrizioni compiute a valle di saggi e l'elaborazione dei rilievi esistenti, si sono formulate delle ipotesi realistiche in merito alla reale configurazione del monumento (Como, 2005). I dati presenti sono stati integrati tra loro, e ove insufficienti a descrivere la struttura in tutte le sue parti, si è proceduto in base ad ipotesi fondate sull'evidenza. In tal modo si è costruito un rilievo "interpretativo" completo ove sono stati definiti il profilo originario del suolo, le dimensioni del pozzo di scavo, lo spessore e l'apparecchiatura della muratura della cupola, e la consistenza del tumulo. Dal "rilievo interpretativo" si è potuto costruire un modello geometrico congruente con l'evidenza su cui procedere all'analisi statica.

Equilibrio non ammissibile secondo il modello a falsa cupola

Sul modello geometrico si è in primo luogo analizzata la validità del modello di comportamento a *falsa cupola* (Cavanagh-Laxton, 1981 e Benvenuto-Corradi, 1990), esaminando la condizione di stabilità al ribaltamento verso l'interno della parte emergente dal pozzo di uno spicchio meridiano di estensione angolare 11,25°, sottoposto al carico della porzione relativa di tumulo.

Lo spicchio è stato considerato come composto dalla sovrapposizione di singoli blocchi lapidei. I punti all'intersezione del profilo interno della cupola con i letti di posa formano le cerniere dei possibili meccanismi di collasso che, per la parte emergente dal pozzo, sono in numero di 22, escludendo il meccanismo della lastra di chiave. La condizione di

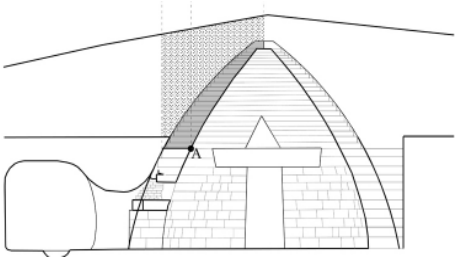


Fig. 7 – Aree delle masse coinvolte rispetto alla cerniera A nella sezione dello spicchio

equilibrio al ribaltamento, è stata esaminata per tutti i possibili meccanismi. Sono state calcolate, in relazione alle masse coinvolte, le forze peso applicate nei rispettivi baricentri, i valori dei momenti stabilizzanti e ribaltanti ed il rapporto tra di essi. Tale rapporto evidenzia come lo spicchio meridiano in esame non è in grado di sostenersi autonomamente (Como, 2005).

La condizione di equilibrio al ribaltamento è stata esaminata anche secondo il modello geometrico proposto da Cavanagh–Laxton (1981). Anche in tal caso è stata rilevata una condizione di instabilità. Tali risultati hanno evidenziato che il modello di comportamento a *falsa cupola* non è coerente con quanto si verifica nella realtà.

Va osservato inoltre che, per entrambi i modelli geometrici, e con riferimento al modello di comportamento a *falsa cupola*, l'ipotesi che ogni corso orizzontale sia composto da un'unica pietra costituisce un'approssimazione a svantaggio di stabilità per la struttura. Per il notevole spessore dei corsi infatti è poco realistico che ogni corso sia composto da un'unica pietra, e la condizione reale di frammentazione dei corsi orizzontali richiederebbe, nella ricerca dei possibili meccanismi di collasso, di individuare la parte di muratura svincolabile per la presenza di giunti verticali. Ciò comporterebbe per i modelli geometrici citati la diminuzione della parte di muratura e di tumulo concorrente all'esercizio del momento stabilizzante.

Equilibrio ammissibile secondo il modello a cupola/guscio

Dalle considerazioni svolte circa l'ipotesi di comportamento a *falsa cupola*, si deduce la necessità di individuare ulteriori fattori che concorrono a garantire la stabilità della struttura. La forma spaziale a geometria chiusa della cupola, a differenza del modello piano del *falso arco*, contribuisce alla stabilità del singolo spicchio meridiano: il ribaltamento di una parte muraria viene, per ciascun corso lapideo instabile, contrastato dai blocchi degli spicchi meridiani adiacenti, coinvolgendo la resistenza a compressione anulare dei corsi corrispondenti.

La cupola del Tesoro di Atreo raggiunge pertanto la presente condizione di equilibrio impegnando nella trasmissione degli sforzi gli anelli lapidei dei corsi orizzontali attraverso un regime di compressione radiale.

L'accurata apparecchiatura dei corsi orizzontali della cupola, grazie alla perizia tecnica di inserire in forza tra i giunti verticali pietre più piccole miste ad argilla che, come cunei, serrano l'anello lapideo orizzontale, abilita i paralleli della cupola all'esercizio di una compressione radiale.

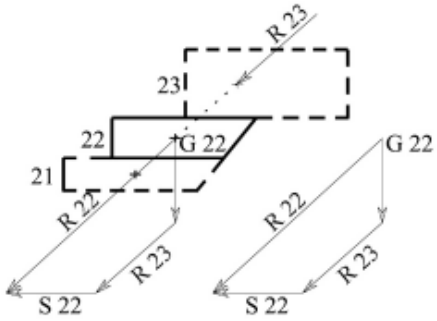


Fig. 8 – Determinazione grafica delle azioni al corso 22

La capacità di coinvolgere nella trasmissione dei carichi gli anelli paralleli con un'azione di contrasto costituisce il principio base del sistema resistente a cupola. Nel Tesoro di Atreo si può ipotizzare pertanto l'effettivo comportamento statico di una *vera* cupola. Secondo tale modello di comportamento gli anelli orizzontali, compressi in ogni sezione orizzontale, esercitano delle azioni orizzontali tali da riportare la risultante delle azioni soprastanti lo spicchio lungo il suo asse mediano. Ogni blocco lapideo, dello spicchio meridiano in esame, trasmette al blocco sottostante una risultante obliqua, somma del carico verticale e di una forza orizzontale.

Per l'equilibrio è possibile determinare graficamente l'intensità delle azioni competenti ciascun blocco lapideo dello spicchio meridiano in esame (Fig. 8).

Con tale procedimento, per l'equilibrio secondo il modello di comportamento a cupola/guscio, si sono ottenuti i valori delle azioni oblique N_φ agenti lungo la curva meridiana e delle azioni orizzontali N_θ esercitate dai corsi orizzontali sui blocchi dello spicchio meridiano

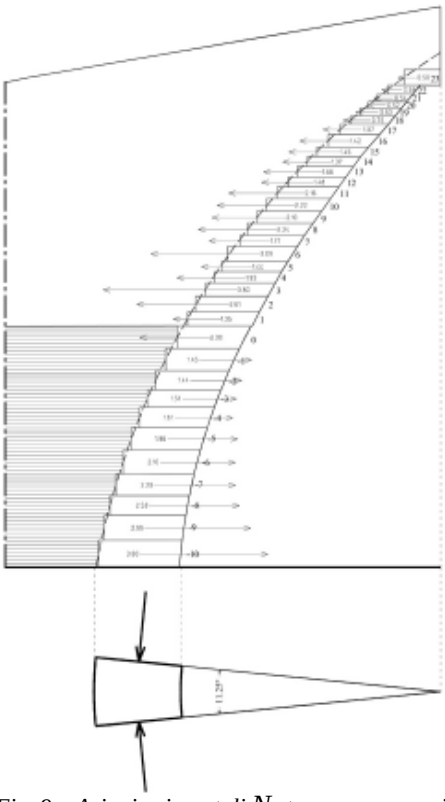


Fig. 9 – Azioni orizzontali N_θ trasmesse a ogni blocco dello spicchio dal corso corrispondente

in esame (Figg. 9 e 10)[2]. Si verifica di seguito la compatibilità delle azioni inclinate N_φ e orizzontali N_θ con la fattura della cupola. In particolare si intende verificare se, nella morfologia della *tholos*, nonostante l'apparecchiatura in corsi orizzontali, la struttura sia in grado di contrastare le azioni spingenti verso l'esterno consentendo il mantenimento di una condizione di equilibrio.

Dall'esame delle forze necessarie per l'equilibrio, si osserva in Fig. 9 che, procedendo dall'apice verso il basso, la componente orizzontale N_θ necessaria a riportare la risultante delle compres-

sioni sulla tangente baricentrica dei conci progressivamente si inverte di segno, e l'inversione avviene in corrispondenza del corso architrave inferiore.

Ciò comporterebbe lo sviluppo di sollecitazioni di trazione negli anelli lapidei orizzontali, del tutto incompatibili con le caratteristiche resistenti del tessuto costitutivo della muratura dei corsi. Tale circostanza, caratteristica del comportamento delle cupole in muratura ove, a causa del prodursi di trazione negli anelli nella zona inferiore si sviluppano fessurazioni lungo i meridiani, trova nella cupola della *tholos* micenea un'efficace risoluzione per la condizione ipogea, interna al pozzo di scavo, della parte inferiore della cupola. L'inversione di segno si verifica infatti nelle zone inferiori, realizzate all'interno del pozzo, con le murature della cupola a stretto contatto con esso. Pertanto, le pareti del pozzo esercitano il necessario contenimento degli anelli murari alle imposte, inducendo alla permanenza del regime statico a cupola/guscio in tutti i paralleli della cupola.

Esaminando la azioni oblique N_{φ} (Fig. 10), si osserva che, nel momento in cui viene ad innescarsi un regime di compressione anulare, tali azioni, trasmesse dai blocchi lapidei ai sottostanti, assumono una direzione non ortogonale ai letti di posa, che va a coincidere, in analogia con l'equilibrio dei gusci, con la curvatura media della cupola. Tale condizione può rilevarsi senza dubbio critica per la configurazione orizzontale dei letti di posa dei corsi, in particolar modo per la parte superiore della cupola.

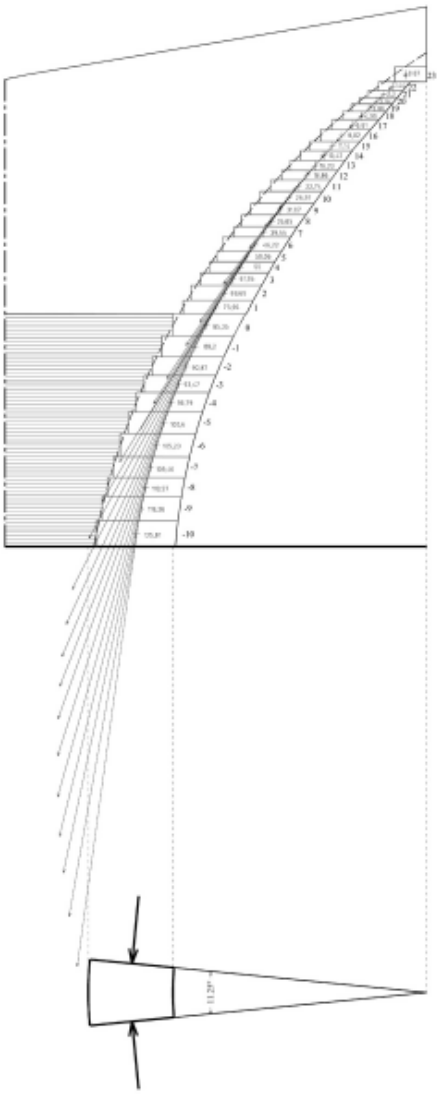


Fig. 10 – Azioni inclinate N_{φ} trasmesse da ogni blocco dello spicchio al blocco sottostante

Lo sforzo meridiano N_{φ} che ciascun blocco lapideo dello spicchio trasmette al sottostante, inclinato secondo la curvatura media dello spicchio stesso, implica un'azione orizzontale che sollecita il blocco a slittare verso l'esterno lungo

il suo letto di posa, ed è la resistenza di attrito radente, presente tra i giunti orizzontali di contatto, a contrastare lo slittamento.

Poiché la curva delle pressioni corrisponde alla curvatura media della cupola, la geometria della cupola incide fortemente sull'intensità delle forze orizzontali di slittamento.

Se φ è l'angolo che la direttrice dello sforzo meridiano N_φ forma con la retta orizzontale passante per il letto di posa, $N_\varphi \cos\varphi$ costituisce la componente orizzontale di slittamento.

La forma della cupola della *tholos*, ad ogiva stirata verso l'alto, trova giustificazione per ridurre alla minore intensità possibile la componente orizzontale di slittamento. A tale scopo interviene ancora più efficacemente il terminale superiore "a collo di bottiglia", attribuito al modello geometrico della *tholos* micenea: il flesso terminale del profilo all'intradosso in adiacenza all'apice riporta gli anelli orizzontali della cupola in prossimità dell'apice ad un angolo di colatitudine φ prossimo a 90°. La disequazione *forza di slittamento<resistenza d'attrito*, richiesta per l'equilibrio del blocco dello spicchio meridiano, espressa in funzione dell'angolo di colatitudine relativo, diviene $N_\varphi \cos\varphi < f\, N_\varphi \sin\varphi$, da cui si ottiene $\cot\varphi < f$, che individua la relazione esistente tra la geometria della cupola e il coefficiente d'attrito necessari all'esistenza di una condizione di equilibrio. Si comprende pertanto che è solo la geometria della cupola che contribuisce a minimizzare il pericolo di slittamento dei blocchi, mentre un incremento del carico agente fa crescere egualmente sia la resistenza di attrito che la forza di slittamento.

Se l'incremento di carico verticale determinato dal tumulo superiore non interviene a contrastare lo slittamento dei blocchi in funzione della resistenza d'attrito, dall'altro esso assume un importante ruolo nel contenere lateralmente i blocchi.

La disposizione a mantello del tumulo sull'estradosso della cupola comporta infatti che lo slittamento dei blocchi venga impedito dalle azioni orizzontali del terreno del tumulo, mediante un contenimento al perimetro.

La scelta di una curvatura adeguata della cupola e la messa in opera del tumulo costituiscono pertanto gli espedienti utilizzati dai costruttori per garantire stabilità alla struttura in corsi orizzontali della parte della cupola emergente dal pozzo, secondo il regime statico di una *vera* cupola.

Si riconosce nella fattura della cupola della *tholos* micenea il tentativo di sfuggire alle problematiche connesse con la disposizione orizzontale dei corsi. Nella parte superiore della cupola un'adeguata geometria e l'azione di contenimento al perimetro esercitata dal tumulo evitano l'instaurarsi di una condizione critica riducendo l'intensità delle azioni di slittamento. Nella parte inferiore l'inserimento nel pozzo di scavo funge da cerchiatura a frenare le azioni spingenti alle imposte, inducendo la permanenza di un regime statico cupola/guscio in tutti i paralleli della cupola.

Conclusioni

L'analisi morfologica del monumento ha portato a riconoscimento della tipologia architettonica della *tholos* micenea e dei caratteri salienti della costruzione, evidenziando che la condizione ipogea costituisce un carattere distintivo della tipologia architettonica; l'esame del Tesoro di Atreo, attraverso lo studio delle descrizioni a valle di saggi e l'elaborazione dei rilievi esistenti, ha posto le basi per formulare delle ipotesi realistiche sulla reale configurazione geometrica del monumento, e per costruire un modello adeguato all'analisi della stabilità.

L'analisi statica del modello geometrico ha rilevato che la cupola della *tholos* presenta l'effettivo comportamento di una *vera* cupola cerchiata ai fianchi, ottenuto, nonostante l'orizzontalità dei corsi, grazie a diversi espedienti tecnico costruttivi e di forma: la sapiente apparecchiatura dei corsi orizzontali, la geometria della cupola ad ogiva stirata verso l'alto, la messa in opera del tumulo all'estradosso e l'inserimento della parte inferiore in un pozzo di scavo.

L'analisi costruttiva e statica evidenzia le capacità costruttive dei costruttori micenei e gli espedienti tecnici sapientemente utilizzati per garantire stabilità alla struttura.

Pertanto, lo studio fa luce sugli sviluppi delle conoscenze tecniche, sui passaggi intermedi e le sperimentazioni empiriche che condurranno, mediante l'essenziale espediente di disposizione inclinata dei corsi, all'arco e alla cupola nella storia del costruire.

Riferimenti bibliografici

P. BELLI, *L'architettura della tholos*, in M. Tsipopoulou-L. Vagnetti edd., *A-chladia. Scavi e ricerche della Missione Greco-Italiana in Creta Orientale (1991-1993)*, Roma 1995, pp.89ss.

O. BELLUZZI, *Scienza delle costruzioni*, vol. 3, Bologna 1980.

E. BENVENUTO-M.CORRADI, *La statica delle false volte*, in A. Ambrosi (et al.) edd., *Architettura in pietra a secco*, Atti del I Seminario internazionale, Noci–Alberobello, 1987, Fasano 1990, pp.93ss.

G.A.BLOUET, *Expédition scientifique de Morée. Architecture et sculptures*, vol. 2, Paris 1833.

W.G. CAVANAGH-R.R. LAXTON, *The Structural Mechanics of the Mycenaean Tholos Tomb*, BSA 76, 1981, pp. 109ss.

W.G. CAVANAGH - R.R. LAXTON, *The Mechanics of Prehistoric Corbelled Buildings*, in M. S. Balmuth ed., *Nuragic Sardinia and the Mycenaean World*, BAR 387, 1987, pp.39ss.

W.G. CAVANAGH - R.R. LAXTON, *Problem Solving and the Architecture of Tholos Tombs*, in E.B. French-K.A. Wardle edd., *Problems in Greek Prehistory*, Manchester, 1986, Bristol 1988, pp. 385ss.

M. COMO, *Un antico restauro statico della cupola di S. Pietro a Roma*, in C. Conforti ed., *Lo specchio del cielo*, Milano 1997, pp.245ss.

M. COMO, *Costruzione e forma statica del Pantheon*, Restauro 151, 2000, pp.149ss.

M.T. COMO, *Aspetti costruttivi e statici delle tholoi micenee*, in M. Marazzi ed., *Centro Mediterraneo Preclassico. Studi e ricerche I*, Napoli 2004, pp.13ss.

M.T. COMO, *L'architettura delle tholoi micenee: analisi degli aspetti compositivi, costruttivi e statici*, Tesi di dottorato, Università degli Studî Suor Orsola Benincasa, Napoli 2005.

M.T. COMO, *Analysis of the Statics of the Mycenaean Tholoi*, in Proceedings of The *Second International Congress on Construction History*, Cambridge 2006, vol.1, pp.777ss.

V. CREMASCO-R. LAFFINEUR, *The Engineering of Mycenaean Tholoi-The Circular Tomb at Thorikos Revisited*, in P. P.Betancourt (et al.) edd., *Meletemata*, Aegeum 20, 1999, vol. I, pp.139ss.

W. FLÜGGE, *Stresses in Shells*, Berlin 1962.

H. GASCHE - J. SERVAIS , *La Tholos Circulaire*, in H.F. Mussche (et al.) edd., *Thorikos 1968: rapport préliminaire sur la cinquième campagne de fouilles*, Bruxelles 1971, pp.21ss.

J. HEYMAN, *The Stone Skeleton*, Cambridge 1995.

L.B. HOLLAND, *Architectural Notes*, BSA 25, 1921-23, pp.396ss.

G. E. MYLONAS, *Mycenae and the Mycenaean Age*, Princeton 1966.

O. PELON, *Tholoi, tumuli et cercles funéraires. Recherches sur les monuments funéraires de plan circulaire dans l'Égée de l'âge du Bronze*, BÉFAR 229, Paris-Athènes 1976.

G. PERROT-CH. CHIPIEZ, tomo 6 di *Histoire de l'Art dans l'Antiquité*, Paris 1894.

R. SANTILLO-B. SANTILLO FRIZELL, *The Construction and Structural Behaviour of the Mycenaean Tholos Tomb*, OpAth 15, 1984, pp.45ss.

R. SPARACIO, *La scienza e i tempi del costruire*, Torino 1999.

J. STUART-N. REVETT, *Antiquities of Athens and other Places in Greece Sicily etc*., Supplementary to the Antiquities of Athens 5, vol.4, illustrated by T. L. Donaldson, London 1830.

F. THIERSCH, *Die Tholos des Atreus zu Mykenae*, AM 4, 1879, pp. 177ss.

A.J.B. WACE, *The Tholos Tombs*, BSA 25, 1921-23, pp.283ss.

sury of Atreus, Antiquity 14, 1940, pp.233ss.

A.J.B. WACE, *Mycenae. An Archaeological History and Guide*, Princeton 1949.

A.J.B. WACE, *Mycenae, 1939-55 Parte I, 5. The Treasury of Atreus*, BSA 51, 1956, pp.116ss.

N.C. WILKIE, *The MME Tholos Tomb*, in W.A. McDonald – N.C. Wilkie edd., *Excavations at Nichoria in Southwest Greece*, vol. 2, Minneapolis 1992, pp.231ss.

[1] a meno del caso emblematico della *tholos* circolare di Thorikos (Gasche-Servais, 1971).

[2] a causa delle variazioni degli spessori dei corsi le azioni orizzontali N_θ sono discontinue.

Si ringrazia il Prof. Massimiliano Marazzi per il costante supporto nel corso dello svolgimento della ricerca e l'Arch. Paolo Belli per gli stimolanti colloqui sul tema dell'architettura delle *tholoi* micenee.

Gigliola Ausiello

L'ultima città. Ricerca formale ed elementi costruttivi nelle necropoli etrusche

Se è vero che i romani sono i più grandi ingegneri della storia, e che questo assunto è documentato da costruzioni di rilevanza unica e insuperabile, è altrettanto vero che gli etruschi, come altre popolazioni cosiddette preromane, hanno offerto un tributo alla storia del costruire che solo più di recente tende ad essere valutato, nel quadro dell'Italia antica, con caratteri culturalmente autonomi. Quali che siano gli apporti esterni con i greci e, più in generale con l'oriente, il fenomeno etrusco rivela un'appartenenza al nostro territorio ben solida e, al tempo stesso, palesa interessanti connessioni con altre civiltà coeve che, nell'insieme, vengono definite italiche.

La complessità dei modi di vivere e di costruire appare attraverso singolari documenti materici che attestano conoscenze di urbanistica, di architettura e di tecniche costruttive, di dimensioni tali da evidenziare che le opere romane, fermo restando la loro eccezionalità, si strutturano secondo un continuum, che è la dinamica stessa del costruire.

Le necropoli etrusche dell'Italia centrale vantano un impianto urbano che è una città a tutti gli effetti e che, anche nello spirito, è così rivolto verso la vita, da lasciarne prefigurare un'altra. La struttura urbana è, dunque, testimone di una pianificazione sviluppata per creare una spazialità che garantisca l'abitare nella sua tipica organizzazione di unità residenziali e di percorsi esterni. Sentieri, strade e incroci introducono in uno spazio costruito progettato alla scala urbana, in cui la casa, più che l'ultima dimora, è quella di sempre. Queste singolari unità residenziali si succedono all'interno di un sistema urbano con un ordine, che è la stessa struttura urbana, e che sottintende precise scelte di tipo urbanistico. La struttura dell'abitato dichiara un linguaggio architettonico fortemente caratterizzato e di tale continuità da lasciare intuire l'adozione e il rispetto di codici di espressione e scelte formali studiati in relazione al contesto naturale e alla sua dotazione infrastrutturale.

"Al di là di sei fiumi e tre catene di montagne sorge Zora, città che chi l'ha vista una volta non può più dimenticare. Ma non perché essa lasci come altre città memorabili un'immagine fuor del comune nei ricordi. Zora ha la proprietà di restare nella memoria punto per punto, nella successione delle vie, e delle case lungo le vie, e delle porte e delle finestre nelle case, pur non mostrando in esse bellezze o rarità particolari. Il suo segreto è il modo in cui la vista scorre su figure che si succedono come in una partitura musicale nella quale non si può cambiare o spostare nessuna nota."[1]



Fig. 1 - Tumulo della Banditaccia di Cerveteri



Fig. 2 - Tombe a dado a Cerveteri



Fig. 3 - Necropoli del Crocifisso a Orvieto



Fig. 4 - Tomba rupestre a Castel d'Asso

Come l'immaginaria Zora di Italo Calvino, anche le necropoli della Banditaccia di Cerveteri, di Crocifisso del Tufo a Orvieto e di Castel d'Asso a Viterbo appaiono indimenticabili perchè ciascuna costruzione, nella sua semplicità e nel suo susseguirsi, appartiene ad una struttura urbana in perfetto equilibrio.

Più che tombe in successione, oggi, sono percorsi di vera avventura per chi aggiunge passione al fascino e alla curiosità e soprattutto spazi urbani proiettati verso l'eternità. Il senso della vita che pervade questa spazialità è così forte e coinvolgente che la differenza tra città dei vivi e città dei morti si fa trascurabile e si ha la percezione di una struttura urbana per continuare a vivere più che dell'*ultima città*, come la ragione tende a rimarcare.

La dimensione urbana delle necropoli etrusche non è solo ricchezza per una pagina di archeologia che raramente raggiunge toni di tale grandezza, ma è anche un singolare modo di antropizzare un paesaggio naturale in cui armonizzano il verde, la pietra naturale e i segni del costruito. Si tratta di particolari contesti ad elevato valore ambientale, in cui non c'è soluzione di continuità tra "paesaggio urbano" e "natura costruita".[2]

Il costruire acquista in questi monumenti archeologici la valenza di "un far abitare privilegiato"[3], che è proprio di poche costruzioni. "Esse sono luoghi che fanno posto a spazi. È per questo che il costruire, in quanto erige luoghi, è un fondare e un disporre (*Fügen*) spazi."[4]

L'urbanistica delle necropoli dichiara scelte subordinate alla topografia del-

la zona e ai tracciati stradali principali, da cui dipende l'ubicazione, all'interno delle mura di cinta, in posizione satellite rispetto ai borghi e ai templi. Obiettivo è il ridisegno del paesaggio attraverso una singolare umanizzazione che si esplicita in un costruito a metà tra scultura e architettura.

La caratterizzazione architettonica e costruttiva si relaziona, invece, al tufo e al nenfro, materiali vulcanici formatisi dalle eruzioni di antichi crateri, riconducibili a formazioni successive. Si tratta in entrambi i casi di ignimbriti stratificate in facies massiva, cineritica e omogenea, di colore variabile dal marrone rossastro, al rosso violaceo, a seconda del luogo. Il nenfro, a struttura compatta e di colore grigio scuro, è di formazione più recente.

La costruzione, nel relazionarsi alla roccia tufacea, diventa un vero e proprio blocco da scolpire, o meglio da scavare sottraendogli materia, fino a delineare ambienti ipogei che sono le celle residenziali dell'*ultima città*. A questo principio si affianca, con integrazioni e sovrapposizioni, quello più propriamente costruttivo che si avvale della stessa roccia, posta in opera in blocchi di grandi dimensioni, di forma sia squadrata che irregolare.

Tumuli e tombe a dado (Figg. 1 e 2) sono le due tipologie di architetture funerarie più ricorrenti in numerose aree archeologiche dell'Italia centrale, che in alcuni contesti interagiscono fortemente con il paesaggio, aggiungendo alla valenza naturale il segno di un'urbanizzazione fatta di grande armonia e ca-



Fig. 5 - Tomba a dado a Castel d'Asso

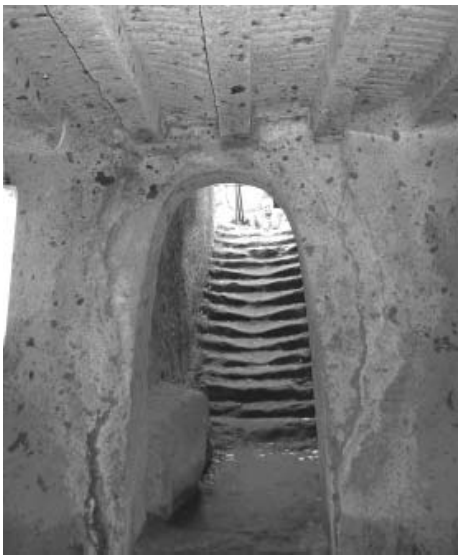


Fig. 6 - Dromos del tumulo Maroi a Cerveteri



Fig. 7 - Tamburo a opera quadrata

ratterizzazione. Il primo modello risale all'VIII-VI sec. a.C. mentre il secondo, più recente, si protrae fino al II sec. a.C.

Piccola altura inerbita a pianta circolare, realizzata con terreno di riporto, il tumulo è delimitato perimetralmente da un tamburo in pietra tufacea, interamente scavato, o completato da elementi lapidei riportati, che si conclude superiormente
con una cornice, anch'essa scolpita o parzialmente costruita. Le dimensioni minime sono dell'ordine dei 10 m di diametro, mentre quelle maggiori si attestano intorno ai 40 m di diametro, a cominciare dal tumulo del Re della Doganaccia nella necropoli di Monterozzi a Tarquinia, fino ai 60 m di diametro del gigantesco tumulo II nella necropoli della Banditaccia a Cerveteri. Il più grande tumulo di tutta l'Etruria, con il suo diametro di circa 65 m, si trova nella necropoli di Ponte Rotto a Vulci ed è denominato la Cuccumella, che nel dialetto locale significa notevole rigonfiamento rispetto a un piano.

Quelli più grandi comprendono all'interno diversi *alloggi*, ciascuno costituito da più vani ipogei, o completamente scavati nel tufo, oppure scavati nella parte inferiore e costruiti con grossi blocchi squadrati in quella superiore. A Cerveteri nella necropoli della Banditaccia e a Tarquinia si sviluppano su un unico livello, mentre ancora a Cerveteri nella tomba Torlonia della necropoli di Monte Abetone si ritrovano anche ambienti su due livelli sovrapposti. Diversamente le tombe a dado, a pianta quadrangolare, sono quasi completamente costruite e raggruppate in isolati delimitati da strade impostate su assi ortogonali, come le vie sepolcrali della necropoli del Crocifisso di Orvieto, (Fig. 3) oppure le vie dei Monti Ceriti e dei Monti della Tolfa che si innestano perpendicolarmente sulla via degli Inferi, nella parte più recente della necropoli della Banditaccia di Cerveteri. Ma mentre la tipologia a dado di Cerveteri, come il tumulo, comprende più sepolcri, quella della necropoli del Crocifisso è a cella unica, destinata ad una sola famiglia. Uno strato di terreno dal profilo piano è posto sulla copertura di ciascuna costruzione che dà luogo, nel relazionarsi all'altimetria, ad una serie di terrazzamenti.

Terza tipologia è quella rinvenuta a Castel d'Asso, costruzione monumentale articolata su tre livelli, completamente scavata e scolpita nella roccia tufacea (Figg. 4 e 5). Risalente al VI-II sec. a.C. è costituita da un volume interrato dove erano ubicati i sarcofagi, un piano intermedio con un porticato delimitato da colonne, anch'esso scavato nel tufo, ed un dado superiore dominante, costituito da un unico blocco pieno scolpito nella facciata, con cornice di coronamento, dove è impressa a bassorilievo una finta apertura. Si tratta della porta dell'aldilà che, essendo solo un simbolo, non ha accesso. Inoltre il dado è un falso volume, in quanto è scolpita nella roccia la sola facciata, mentre dei lati non è presente che una parte o appena il risvolto. Pertanto, a questo monumento funebre viene attribuita la definizione di

tomba di facciata, in quanto il dado non è isolato sui quattro lati. La ricorrenza di questo tipo edilizio urbanizza il paesaggio in modo da realizzare schiere di costruzioni a ridosso delle alture, creando effetti di eccezionale suggestione, per quanto oggi questa città, unica più delle altre, si presenti come un insieme di giganteschi blocchi fratturati e sconnessi all'indomani di un terremoto. Tipico paesaggio di tombe rupestri in due o tre ordini di altezza, poste su gradoni tufacei, in parte naturali, in minima parte costruiti, rimodellano il profilo altimetrico che caratterizza sia Castel d'Asso che Norchia.

Elementi architettonici e costruttivi si fondono insieme agli arredi e alle suppellettili negli spazi interni riproducendo un'atmosfera di quotidianità eterna.

Primo elemento architettonico comune alle suddette tipologie funerarie è il corridoio di accesso in discesa ai volumi interrati, che si innesta nella costruzione. Configurato a scala, il *dromos* (Fig. 6), presenta i gradini scavati nella roccia, come le pareti verticali, che, a volte, nella parte superiore sono completate con una muratura in blocchi di tufo. L'accesso alle celle funerarie della necropoli del Crocifisso avviene, invece, attraverso qualche gradini in discesa, per un dislivello di 60-70 cm, il cui ingombro in pianta corrisponde allo spessore del muro. Tale percorso è completamente o parzialmente coperto e solo raramente è a cielo aperto.

La parte costruita di queste peculiari architetture si limita a parte del volume esterno e in particolare alla sommità delle pareti verticali e alla copertura parziale di alcuni ambienti, individuando soluzioni costruttive studiate e codificate.

La tecnica muraria è quella della tipica opera quadrata con grandi blocchi tufacei sovrapposti e a giunti sfalsati, posti in opera a secco, con cui si realizzano pareti verticali di tamburi (Fig. 7), corridoi di accesso, tombe a dado e fortificazioni che cingevano l'intera città. Anche l'apparecchiatura muraria ad opera incerta appare, sia pur raramente, caratterizzata da grossi blocchi di forma irregolare ma ben lavorati in modo da realizzare un ammorsamento serrato tra le parti. In entrambi i casi colpisce l'accurata lavorazione delle singole unità lapidee che presentano le facce ben compianate. La stessa tecnica è impiegata anche nella realizzazione della cornice nel coronamento delle tombe a dado e di parte di quella del tamburo nei tumuli, in cui a volte è solo scolpita nella roccia vulcanica.

Questo elemento architettonico è arricchito da numerose modanature, in cui si inserisce il contributo di un'altra roccia di colore chiaro, il macco, abbastanza tenera e facilmente lavorabile pur essendo calcarea, che, specialmente nella costruzione a dado, offre singolari effetti cromatici insieme a interessanti raccordi d'angolo. "Le modanature e le cornici scultoree delle tombe rupestri etrusche sono concordemente considerate di stile 'egizio'. Alcuni grandi tumuli, come la Cuccumella di Vulci, presentano più di un'analogia con le piramidi egizie."[5]

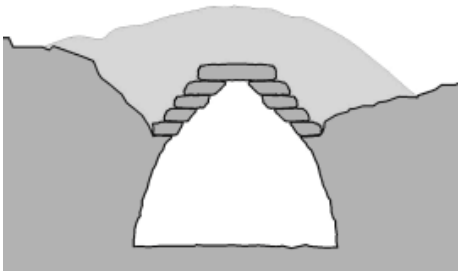


Fig. 8 - Falsa volta ogivale



Fig. 9 - Copertura dromos tomba dei Capitelli



Fig. 10 - Copertura tombe necropoli di Orvieto

La matrice orientalizzante affiora in diversi aspetti della cultura etrusca, ma la corrispondenza con le piramidi, in particolare, si deve alle ricostruzioni e alle ipotesi di studiosi, secondo cui gli attuali monticelli di terra erano in origine sagomati a forma di cono. Dunque, l'immagine del paesaggio con tante collinette artificiali, i "*Monterozzi*", che a Tarquinia hanno condizionato la denominazione della necropoli, apparterrebbe solo ai nostri giorni.

Alcune camere funerarie sono parzialmente scavate nella roccia tufacea con una sezione quasi "ogivale" che si va chiudendo verso l'alto. Solo la parte culminante presenta una copertura costruita con lastre tufacee, che vengono a realizzare così una volta a botte per metà scavata e per metà costruita, come nelle coperture delle camere funerarie dei tumuli di Tarquinia (Fig. 8).

Lastre di nenfro di grosse dimensioni e ben squadrate, poste in opera a secco con giacitura orizzontale, vengono sovrapposte per alcuni strati in modo che quelli superiori siano in aggetto rispetto a quelli inferiori, fino a chiudere la volta con un'unica lastra centrale. Tale soluzione, che si avvale dell'estensione del principio del trilite o dell'architrave, è quella cosiddetta della *falsa volta* in pietra da taglio. Esaminando la sezione trasversale, la serie di aggetti successivi riduce sempre più la luce dell'architrave, mentre il peso della parte appoggiata, che deve essere di lunghezza superiore alla sporgenza, ha un'azione stabilizzante, cui si aggiunge quella del carico sovrastante.

Questa copertura con profilo a gradoni è impiegata anche a chiusura parziale dei *dromos* più lunghi, nel tipo a tumulo (Fig. 9). Adottata anche nella realizzazione delle aperture nelle cinte murarie delle architetture megalitiche e ancora nelle camere funerarie greche e macedoni a chiusura degli ambienti a pianta circolare, questa pseudo-volta con profilo continuo ogivale quasi triangolare, assume una caratterizzazione costruttiva ancor più spinta nelle coperture dei sepolcri a dado della Necropoli del Crocifisso (Fig. 10). L'intera copertura, che dall'interno, per forma, ricorda le due falde del tetto a capanna, è ordinata da quattro file di grossi blocchi disposte simmetricamente, ciascuna in aggetto rispetto a quella sottostante, sulle quali si poggia una fila di blocchi di colmo. Ogni filare presenta giacitura di appoggio piana ed una sezione sagomata secondo un piano inclinato verso l'interno. Ad eccezione di quelle in sommità, le singole unità lapidee, preformate a pie' d'opera, sono rigorosamente uguali nei vari filari, con differenze minime dovute alla lavorazione artigianale.

La stessa tecnica struttura anche la copertura dei sepolcri a impianto circolare, le *tholos*, rinvenute nella zona di Volterra e di Vetulonia, con una paleocupola ad anelli orizzontali costituiti da conci lapidei, di forma allungata e piuttosto schiacciata, ciascuno dei quali sporge sull'anello sottostante. Al comportamento statico si aggiunge l'effetto del contrasto laterale degli elementi lapidei che accresce la rigidezza di ciascun anello. Si tratta della cosiddetta *falsa cupola*

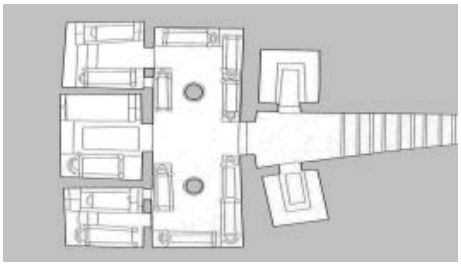


Fig. 11 - Pianta tomba dei Capitelli



Fig. 12 - Tomba degli Scudi a Tarquinia



Fig. 13 - Tomba dei Tori a Tarquinia



Fig. 14 - Tomba del Fior di Loto a Tarquinia

in pietra da taglio, appartenente alla cultura costruttiva micenea e macedone, che, ricoperta di terra, assume l'aspetto di una collinetta come il tumulo.

Il principio dell'architrave acquista particolare connotazione spaziale nella definizione dei vani di apertura negli accessi alle tombe della necropoli del Crocifisso. L'elemento costruttivo si triplica e tende ad assumere un profilo scalettato nel delimitare superiormente il vano stesso. Sulla parte più sporgente, giacente nello stesso piano di facciata, spesso è inciso il nome della famiglia di appartenenza.

Se l'esistenza di queste tecniche è comprovabile attraverso documenti materici, molti altri elementi costruttivi, e relativi principi ad essi corrispondenti, erano ben noti ai costruttori etruschi, come attestano travi, travetti, pilastri, basamenti, capitelli, piattabande e cornici, completamente scolpiti negli interni delle tombe.

I sepolcri scavati nella roccia tufacea presentano una caratteristica pianta a croce, piuttosto allungata, articolata distributivamente attraverso un dromos di accesso ed uno spazio sepolcrale più o meno
ampio. Questa ricorrenza formale diviene caratterizzazione tipologica sotto il profilo distributivo, allorché appare un nuovo elemento spaziale, il vestibolo, con funzione di atrio e di disimpegno rispetto a tre celle funerarie (Fig. 11). A questo tipo appartengono molte tombe della necropoli della Banditaccia di Cerveteri, tra cui quelle dei Capitelli e della Cornice. Ancor più grande e rappresentativa del ceto aristocratico appare, invece, la tomba della Nave che vanta ben cinque ambienti.

L'intradosso delle varie celle è configurato a falde oppure con soffitto piano, dichiarando la consapevolezza di soluzioni tecniche interrelate con i principi costruttivi del trilite, del telaio e dell'arco, che, si avvalgono della scultura a rilievo o della semplice pittura. Dunque, sia pur con linguaggi diversi, l'esistenza degli elementi costruttivi è per così dire *virtuale*, nel senso che il loro comportamento statico è raccontato e con tale dovizia di particolari da non lasciare dubbio alcuno sulla conoscenza del comportamento stesso.

La carpenteria del tetto a due spioventi, con pendenza molto lieve, negli ambienti scavati nel tufo, mette in risalto la presenza di una trave centrale, emergente e a sezione squadrata, nelle tombe in cui la roccia si conserva a faccia vista, come in varie tombe di Cerveteri ed in quella degli Scudi di Tarquinia (Fig. 12), oppure è semplicemente dipinta in modo da acquistare rilevanza rispetto agli altri elementi costruttivi, come nelle tombe del Barone e dei Tori di Tarquinia (Fig. 13).

La riconoscibilità dei vari componenti sembra quasi un obiettivo fondamentale da perseguire con la terza dimensione, oppure con l'impiego della pittura. In questo caso ci si avvale soltanto di un unico colore, oppure, si sfruttano diversi cromatismi, con bordure in prossimità degli spigoli che esaltano una lievissima emergenza, se presente, ed i motivi geometrici circolari o spiraliformi

ricorrenti all'intradosso. Il messaggio costruttivo è così chiaro e preciso che, se pur soltanto dipinta, la trave principale poggia su un mensolone, raffigurato al centro dei timpani, arricchito da volute, che dichiara anche il materiale (Fig. 13). Si allude al legno, utilizzato nella realizzazione delle carpenterie e dell'alzato nelle abitazioni, mentre l'impiego della pietra si limita alle sole fondazioni. Particolarmente vistosa è la mensola di appoggio della trave centrale, dipinta nel timpano della tomba del Fior di Loto a Tarquinia (Fig. 14). E ancora in legno sembra la *finta* trave di colmo, a sezione circolare, che partisce le due falde del tetto scolpito nella tomba della Capanna di Cerveteri, che, nell'immagine tridimensionale, ricorda il tronco appena scortecciato (Fig. 15).

La soluzione del tetto a due falde prevede, nella narrazione che ogni contesto spaziale esegue, una struttura secondaria che poggia sulla trave centrale e sul muro perimetrale, realizzata plasmando la roccia tufacea per conferire a questi elementi una terza dimensione. Nella tomba dell'Alcova di Cerveteri e in quella degli Scudi di Tarquinia sono scolpite delle travi a sezione rettangolare con una base tanto larga da sembrare tegoli prefabbricati, appoggiati alla trave centrale principale (Fig. 12). E, oltre a dare una precisa idea della soluzione costruttiva, comunica una sensazione di stabilità che si confà ad una dimora da abitare per sempre.

La carpenteria lignea raffigurata attraverso la scultura nella tomba della Nave dell'antica Caere, l'attuale Cerveteri, riproduce la struttura di un tetto a padiglione, con un fitta serie di travetti che si dipartono da una finta trave lignea a sezione circolare. E ancora una serie di travi secondarie, ordite in entrambe le direzioni, realizza la copertura a due falde della tomba dei Leoni Dipinti, a Cerveteri, in modo che la scultura realizzi virtualmente un caratteristico cassettonato ligneo.

Nella tomba della Pulcella a Tarquinia, invece, i travetti che seguono l'inclinazione delle falde sono dipinti a intervalli fitti e regolari, direttamente sulla roccia, secondo la tecnica più antica, avvalendosi di un linguaggio egualmente incisivo che fa uso di parole diverse, al contrario di come direbbe Mario Botta, per dire ogni volta la stessa frase.

I due differenti linguaggi, della scultura e della pittura, raccontano vari momenti della cultura estrusca, in quanto risposta a necessità connesse all'attività lavorativa, all'abitare e al costruire.

Il tetto a due falde ricorda nella scelta formale l'abitazione terrena, che esiste nella mente e nella psiche di ognuno, e poi materializza fisicamente il bisogno di un luogo che abbia le prerogative di riparo e di conforto. E, per essere momento di identificazione di valori, simboli e dati esistenziali, è uno spazio che fa parte del proprio habitat culturale. In verità "ogni spazio veramente abitato reca l'essenza della nozione di casa"[6] e, come nei disegni dei bambini, la sua icona è il tetto a capanna per i riflessi che ha sull'inconscio umano. Dunque, la "casa" che avrebbe accompagnato gli etruschi nella nuova vita non poteva

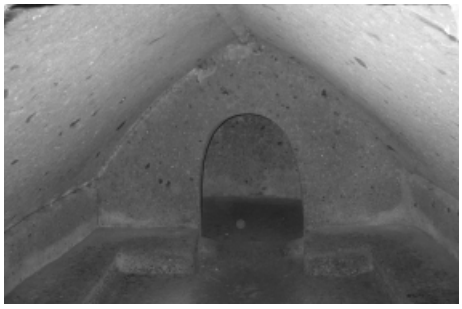


Fig. 15 – Tomba della Capanna a Cerveteri



Fig. 16 - Tomba dei Capitelli a Cerveteri

che continuare ad essere lo specchio di valori e di significati fisici e psicologici. La documentazione della struttura in legno del tetto, nell'interazione con la compagine muraria verticale, attesta la consapevolezza del principio del trilite, che si può ritenere incontrasse applicazioni materiali in altre costruzioni.

Il soffitto piano degli ambienti ipogei delle tombe di Cerveteri è scolpito riproducendo una carpenteria, ancora in legno, che consente di leggere un crescendo di elementi costruttivi in cui si coglie un ordine gerarchico. Una trave principale, a sezione rettangolare, poggia su due sostegni intermedi nella tomba dei Capitelli di Cerveteri. Trasversalmente ad essa, è ordita una serie di travi secondarie parallele, emergenti, anch'esse a sezione squadrata. Infine, un'altra serie di travetti a spessore di solaio, di nuovo trasversalmente, con un'incannucciata disposta secondo le due diagonali, completa l'impalcato piano Il risultato è un'immagine che riproduce una soluzione costruttiva fedele a quella utilizzata nelle residenze dei vivi, con la sola differenza che la riproduzione in pietra è divenuta documento stabile nel tempo di una cultura costruttiva fondata su regole e principi, mentre la versione in legno non ha lasciato memoria fisica.

Simile si presenta l'intradosso del soffitto della tomba nel tumulo Maroi, in cui il vestibolo trasversale al corridoio di accesso, a campata unica, presenta una sola orditura di travi. Per quanto attiene agli elementi portanti verticali, negli ambienti scavati, si legge il riferimento al muro portante che perimetra la costruzione. Tuttavia negli ambienti di luce maggiore sono presenti, sia pur nella versione scultorea, elementi isolati, le colonne, con funzione di sostegno intermedio di travi "portanti". La già citata tomba dei Capitelli (Fig. 16) evidenzia, nel vestibolo a due campate, due colonne poligonali che vanno rastremandosi verso l'alto, con basi della stessa forma e tozzi capitelli, appena lavorati in su-

perficie. La forma della colonna ricorda il tronco in legno, appena scortecciato, e la sua interazione con travi principali e secondarie documenta la conoscenza del principio del telaio alla base delle costruzioni in legno nelle residenze dei vivi.

Ancora due pilastri a sezione quadrata con capitelli sovrastanti fungono da sostegno nella tomba dei Rilievi a Cerveteri, ambiente a camera unica, sul cui perimetro l'apertura di nicchie determina porzioni murarie della stessa dimensione dei pilastri, anch'esse sormontate da capitelli. La decorazione con stucchi policromi, che è la peculiarità di questo ipogeo, interessa tutti i pilastri. Nei due centrali riproduce oggetti di uso quotidiano, scudi e attrezzi di lavoro, mentre in quelli perimetrali simula la scanalatura della colonna. I dodici capitelli, che arricchiscono la camera, anch'essi rivestiti con stucchi, evidenziano nel rilievo un sottile riferimento allo stile ionico (Fig. 17).

Altri due pilastri, a sezione quadrata, con fusto scanalato e tozzo capitello, riproducono lo stesso impianto a camera unica, piuttosto grande, con due sostegni intermedi, sia nella tomba delle Cariatidi, che in quella delle Colonne Doriche e in quella dell'Alcova. A questa tipologia a camera unica appartiene anche la tomba del Tifone, con unico pilastro centrale, in cui con la tecnica dell'affresco è riprodotto Tifone, divinità del mare e delle tenebre, che, nell'atteggiamento di sorreggere la copertura piana, ricorda il mito di Atlante. Base e capitello sono decorati da una cornice



Fig. 17 - Tomba dei Rilievi a Cerveteri

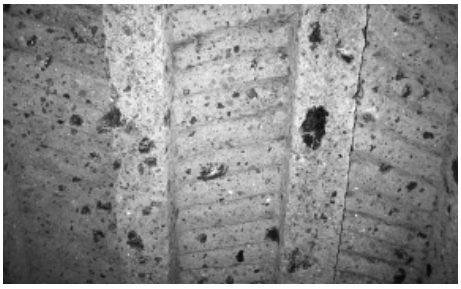


Fig. 18 - Copertura tumulo Maroi a Cerveteri



Fig. 19 - Tomba della Cornice a Cerveteri

con motivi policromi a greca. Elemento rigorosamente decorativo è la cornice che cinge, a circa due terzi di altezza, il vestibolo a campata unica della tomba di Cerveteri, cui conferisce la denominazione. Questo elemento pensile, che ricorre anche in altre tombe ceretane, ritorna anche nel contesto di Tarquinia, in cui è semplicemente dipinta con fasce di vari colori in corrispondenza del-

le imposte delle falde di copertura. Particolare rilievo acquista nella tomba del Fior di Loto e in quella dei Tori (Figg. 13 e 14), dove si raddoppia ricorrendo sia alla sommità delle pareti verticali, che in corrispondenza delle piattabande delle porte di accesso ai sepolcri veri e propri.

I vani di apertura di porte e di finestre, sempre scavati nella roccia, presentano una forma leggermente trapezia che si va allargando verso il basso. Le soluzioni più ricercate mostrano una cornice, semplice o doppia, su tre o quattro lati, che superiormente allude alla piattabanda ben ammorsata nella muratura. Detta cornice nelle tombe ceretane è ricavata mediante scultura nella roccia tufacea (Fig. 19), mentre negli ipogei di Tarquinia non è a rilievo ma dipinta con colori diversi. Porte e finestre pongono in comunicazione i vari ambienti ipogei della stessa tomba, come nelle comuni abitazioni. Il passaggio dalla vita terrena all'aldilà, invece, avviene attraverso una finta porta, scolpita al centro del dado superiore nelle tombe rupestri di Castel d'Asso (Fig. 4), o dipinta al centro della parete frontale negli ipogei di Tarquinia. In particolare nella tomba degli Auguri, con la sola pittura si raffigurano oltre alla piattabanda e ai piedritti, la porta in legno completa di borchie dorate.

La presenza di un arco cieco sui vani di apertura rettangolari, appena impressa nella pietra (Fig. 19), testimonia la conoscenza della funzione dell'arco di scarico sull'architrave, come criterio di ripartizione dei carichi verticali. È evidente che il principio dell'arco fosse noto per definire superiormente le aperture dei vani, sia di accesso alle tombe (Fig. 6), che di partizione interna.

Dall'estensione dell'arco, linearmente, nella terza dimensione, viene fuori la volta a botte che costituisce la definizione superiore della cupa camera funeraria, scavata nel tufo di colore grigio-scuro, della tomba Campana di Veio e ancora degli ambienti ipogei di varie tombe a camera di Vulci. Di particolare interesse sotto l'aspetto formale, è la copertura con volta a vela scolpita nella camera della Tomba delle Anatre, di Veio, in località Riserva del Bagno.

Sedie, scudi, letti e cuscini sono tra gli arredi fissi, scolpiti nella roccia, quelli più ricorrenti. Più che di sedie, si tratta di vere e proprie poltrone, complete di poggiatesta, braccioli e poggiapiedi, che si limitano a due nella tomba della Cornice e sono ben cinque in quella cui danno il nome.

Non si contano gli scudi che sono intagliati sulle pareti tufacee delle camere funerarie ceretane, oppure riprodotti a stampo nell'intonaco nella tomba dei Rilievi (Fig. 17), oppure semplicemente dipinti negli ipogei di Tarquinia, e con grande realismo, come tanti altri oggetti di uso comune, scene di vita, persone, banchetti, musici, danzatori, animali e piante.

"È una pittura falsamente naturalista anche se può apparire tale. Animali, alberi, sorgenti, figure umane non furono dipinti per imitare la natura o raccontare storie di vita quotidiana, ma per onorare il grande mistero del ciclo vita-

le, che si manifesta nella dinamica bipolare di vita e morte, luce tenebre, maschile e femminile e ogni altra coppia di elementi complementari e opposti."[7]

Alla tecnica più antica, consistente nella posa della pittura direttamente sulla roccia levigata, subentra la soluzione dell'affresco parietale, basata sull'applicazione del colore, vegetale o minerale, sull'intonaco ancora fresco. L'immagine materico-costruttiva della casa della città dei vivi ritorna in un'altra dimora, che ha molto della residenza, forse di più, perché destinata ad essere la dimora di sempre. Il linguaggio della costruzione individua una singolare macchina, che trascende la lecorbusiana accezione di macchina per abitare e oltrepassa la gotica macchina per pregare. Gli elementi architettonici e costruttivi disciplinano luoghi e spazi, nel senso di concepire in maniera armonica il costruire, alla scala urbana ed edilizia. Si tratta di una macchina per continuare a vivere, in cui il senso della vita ed i valori simbolici interagiscono con i principi del costruire, producendo un clima di tale tensione da scatenare un'esperienza spaziale in cui il tempo non ha più valore.

[1] I. Calvino, *Le città invisibili*, Mondadori, Milano, 1993, p. 15.

[2] B. Zevi, *Paesaggi e città*, Newton, Roma, 1995, p.10

[3] M. Heidegger, *Saggi e discorsi*, Mursia, Milano, 1976, p. 106.

[4] M. Heidegger, *op. cit.*, p.106.

[5] G. Feo, *Pittura segreta etrusca*, Nuovi Equilibri, Viterbo, 2005, p. 14.

[6] G. Dorfles, *Facciate come facce*, in AA. VV. Il libro delle case, Sarin, Pomezia (Roma), 1989, pp. 169,170.

[7] G. Feo, *op. cit.*, p.4.

Andrea Ghiretti

Lo studio del comportamento statico delle strutture antiche e le nuove tecnologie per il rilievo e la modellazione tridimensionale: la cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma

È ormai idea consolidata che il rilievo architettonico, inteso come processo di acquisizione di conoscenza, sia in ogni caso operazione soggettiva e contestuale legata ai fini, ai modi ed ai tempi della elaborazione. Non esiste quindi un rilievo di una opera che si possa considerare definitivo o che restituisca una opera con assoluta oggettività ed esaustiva completezza.

Il risultato di un'indagine conoscitiva è quindi strettamente correlato all'oggetto stesso del rilievo, ai metodi e agli strumenti impiegati, oggetto di una rapidissima evoluzione tecnologica, nonché agli obbiettivi che in fase preliminare si sono posti. La molteplicità e la complessità dei temi possibili da restituire attraverso documenti basati sull'immagine ha portato alla creazione di un gran numero di carte tematiche o meglio alla specializzazione del rilievo in funzione delle necessità di intervento sull'opera rilevata. Parallelamente a questo si è avuto un notevole aumento dei possibili modi di restituzione, già dalla nascita della prospettiva ma soprattutto dall'introduzione della fotografia e oggi dei modelli informatici, oltre ad un enorme incremento dei dati metrici, dato dalla maggiore precisione offerta dai nuovi strumenti tecnologici, e dei dati qualitativi acquisibili nella fase precedente alla restituzione stessa.

Dall'incrocio di queste due problematiche nasce l'esigenza di ricercare e quindi definire nuove metodologie da applicare ad un rilievo funzionale alla valutazione strutturale di un'architettura storica ed a successivi interventi di consolidamento. Il rilievo, opportunamente aggiornato nelle sue espressioni grafiche ma anche nelle modalità di acquisizione del dato, deve essere un efficace strumento per l'analisi del quadro fessurativo, per il confronto delle lesioni su pareti lontane fra loro, per l'individuazione delle dinamiche di dissesto e quindi per la visualizzazione delle forze di spinta, per l'individuazione di cedimenti fondali ecc. Il rilievo deve essere considerato, oltre che come risultato o espressione dell'indagine storico-critica, come vero e proprio strumento per la "pre-diagnosi" sullo stato di salute di un bene architettonico e quindi come particolare forma di indagine non distruttiva di sintesi.

In un progetto di consolidamento statico di un'architettura storica, in cui la fase creativa è assai limitata, la fase di lettura, analisi, diagnosi, dovrebbe portare direttamente all'elaborazione di ipotesi di intervento.

Sarebbe interessante immaginare un processo lineare che porti dal dato rilevato con strumenti tecnologici di alta precisione, all'elaborazione attraverso software di analisi geometrico-formale e quindi direttamente ad analisi di tipo statico attraverso l'utilizzo software FEM. Se nel recente passato il salto di astrazione che consentiva di trasformare un rilievo in uno schema da analizzare nel suo comportamento statico era reso ovvio dall'impossibilità di trasportare automaticamente in un sistema di calcolo i dati raccolti con un rilievo diretto, oggi questa possibilità esiste.

Attraverso il rilievo 3D effettuato con un laser scanner è possibile elaborare un modello tridimensionale estremamente fedele alla realtà ed importarlo mantenendo tutta la sua complessità formale in un software che consenta l'identificazione di processi di dissesto strutturale mediante tecniche di simulazione numerica agli Elementi Finiti (FEM). Il lavori di rilievo e di analisi condotti sulla cupola di Santa Maria del Quartiere a Parma hanno fornito un'occasione per mettere a confronto il classico metodo che impone un approfondito rilievo preliminare, l'elaborazione di uno schema o meccanismo di funzionamento statico semplificato e quindi la verifica attraverso simulazioni numeriche delle ipotesi formulate con una metodologia che tenta di non distaccarsi mai dal dato acquisito sul campo ma di elaborarlo in un modello, che dopo le opportune semplificazioni consenta di effettuare le medesime simulazioni per capirne le possibili evoluzioni e le forze in gioco.

La cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma

Santa Maria del Quartiere a Parma, chiesa a pianta centrale con un'ampia aula centrale coperta da una cupola esagonale a padiglione, presenta lesioni e fenomeni di degrado diffusi, sia all'interno - sulla cupola e sugli arconi sottostanti oltre che negli ambulacri - sia nei paramenti murari esterni.

Il quadro fessurativo principale è però concentrato nella cupola, composto da lesioni, passanti e non, variamente distribuite sulle singole vele e sugli spigoli. Il complesso strutturale della fabbrica sembra concludersi, infatti, proprio nella cupola a padiglione a base esago-



Fig. 1 - La chiesa di Santa Maria del Quartiere



Fig. 2 - La cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere



Fig. 3 - Pianta con in evidenza l'esagono d'imposta della cupola

nale, che, indagata geometricamente e attraverso una precisa mappatura del degrado, si è imposta come elemento caratterizzante nel quadro complessivo di dissesto della costruzione. E quindi anche come oggetto principale della successiva analisi statica. La cupola a base esagonale, interamente affrescata, realizzata in mattoni, spicca, al centro della costruzione, dalla quota del primo cornicione interno, innalzandosi per circa 9 metri. Lo spessore varia con l'altezza, partendo da circa 30 cm alla quota di imposta, fino a raggiungere 20 cm alla sua sommità.

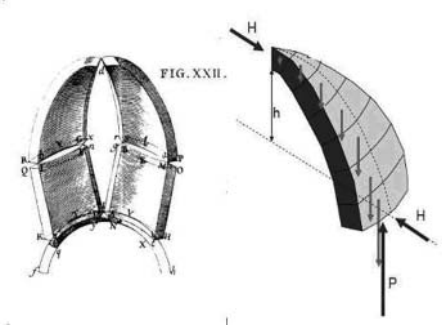


Fig. 4 - Giovanni Poleni ,Comportamento delle cupole in muratura e semplificazione del calcolo "lo spicchio della cupola è assimilato ad un arco diviso in conci. Di ogni concio si considera il peso, applicato nel baricentro"

L'esagono di base, così come emerso dal rilievo, presenta alcune evidenti irregolarità, discostandosi dalla figura geometrica ideale inscritta in un cerchio di diametro di circa 18 metri: le diagonali interne presentano infatti uno scarto massimo di 12 cm. Per identificarne i meccanismi di dissesto si è analizzato il quadro fessurativo, composto principalmente, sulla Cupola, da sei lesioni passanti sugli spigoli, che si sviluppano, dalla quota di imposta proprio sopra il cornicione, fino circa a 2/3 dell'altezza complessiva. Sono presenti altre quattro lesioni principali, sulle vele I, III, IV e V ad andamento prevalentemente verticale, che dall'imposta proseguono fino a superare le finestre che si aprono al centro di ogni vela. L'analisi comparata del rilievo geometrico e del quadro fessurativo della costruzione, ha rappresentato il primo fondamentale passo per l'analisi statica del monumento, permettendo di avanzare ipotesi sul meccanismo di dissesto, valutando modalità e schemi di intervento per uno studio strutturale della fabbrica.

Una volta identificato nel meccanismo di spinta della cupola la causa principale del quadro fessurativo che affligge la fabbrica di Santa Maria del Quartiere, l'analisi statica procede per gradi, basandosi sulle indicazioni fondamentali fornite dal rilievo geometrico e delle lesioni.

La verifica del meccanismo ipotizzato avviene parallelamente secondo i due metodi tra loro in continuo dialogo. Il primo indaga la cupola reale sfruttando quelle semplificazioni che, a partire da considerazioni di simmetria della struttura e dalla letteratura in materia, permettono di risolvere il problema di spinta di una cupola assimilandola ad un arco, secondo precise discretizzazioni basate sulla conoscenza empirico-sperimentale del comportamento classico delle cupole in muratura ed elaborando quindi un modello virtuale di tale cupola, che prescindendo dalle reali irregolarità geometriche riscontrate, si astrae in una geometria assolutamente regolare e simmetrica. Considerata la semplice struttura della cupola, la geometria ideale consiste in una struttura a base esagonale regolare, simmetrica, che si sviluppa in altezza seguendo i profili circolari degli spigoli della cupola stessa, così come rilevati, e formata da una singola calotta di spessore variabile da 30 cm alla base, fino a circa 20 cm al colmo.

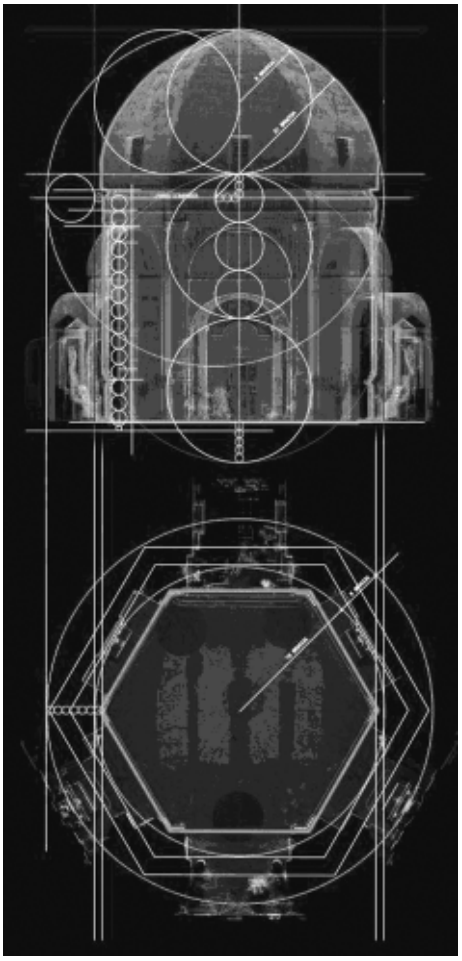


Fig. 5 - Sezione trasversale e pianta su base laser scanner con individuazione della geometria di progetto

Le misure del modello, sfruttano una semplificazione geometrica basata su una media delle misure rilevate, in considerazione dei minimi scarti esistenti tra le diagonali dell'esagono (12 cm di scarto massimo) e delle esigue differenze di spessore rilevate nelle diverse vele della calotta. Le condizioni di simmetria permettono di semplificare il calcolo del modello agli elementi finiti, riportando la cupola a una ideale costruzione primigenia che possa simulare un andamento iniziale delle fratture. Il secondo trasla i risultati di un accurato rilievo geometrico sul piano numerico, a seguito di una minima semplificazione del volume, per ottenere una modellazione virtuale del comportamento della cupola, attraverso l'uso di un programma agli elementi finiti.

Per perseguire il primo metodo sulla Chiesa si era preliminarmente condotto un rilievo con l'ausilio di stazioni totali e di strumenti classici per il rilievo diretto

che aveva evidenziato un quadro fessurativo complesso ed aveva fornito le coordinate sufficienti per sintetizzare la geometria della cupola individuandone la curvatura a sesto acuto e ribassato e lo spessore della muratura. Per poter invece elaborare un modello virtuale che rispecchiasse fedelmente tutte le deformazioni intervenute nei secoli così come gli eventuali errori di costruzione che allontanavano la forma reale da una geometria perfetta, era indispensabile avvalersi di apparecchiature in grado di acquisire un enorme numero di punti con un estrema precisione.

Si è quindi effettuato un rilievo completo delle strutture della volta attraverso un laser scanner Leica HDS 3000. Questo strumento è uno scanner che utilizza una tecnologia detta "a tempo di volo". La maglia fissata per la scansione è di 2 cm con un "probe" a 20 m. Si è ritenuto opportuno non ridurre troppo la misura della maglia di scansione avendo constatato la necessità di operare da almeno 5 stazioni per un'efficace copertura di tutti i coni d'ombra e quindi con una conseguente notevole sovrapposizione di punti soprattutto nella parte alta. Il metodo utilizzato per l'unione delle singole scansioni è quello della georeferenzazione su target. Per aumentare il livello di precisione e le possibilità di verifica incrociata, questo metodo prevede l'uso di dati topografici. Si procede al rilevamento delle coordinate cartesiane xyz, tramite teodolite o stazione totale, dei target opportunamente posizionati sull'oggetto e già scansiti dal laser. Le coordinate di tutti i target utilizzati, presenti nel numero minimo di tre su ogni scansione parziale dello scanner laser, sono utilizzate come scheletro su cui montare le singole nuvole di punti.



Fig.6 - Il laser scanner Leica HDS 3000 al lavoro sul poggiolo della cupola

Questa operazione di assemblaggio è stata effettuata con l'ausilio di Cyclone 5.6 un software che consente di verificare e mantenere al minimo l'errore ricercando, attraverso opportuni algoritmi, lo scarto quadratico medio esistente tra il centro dei vari target acquisiti automaticamente durante le scansioni e i corrispondenti punti rilevati topograficamente.

I software di calcolo FEM, in questo caso ABAQUS, analizzano modelli costituiti da volumi virtuali a cui è possibile associare, oltre alle dimensioni geometriche di ogni punto anche una massa ed un materiale con le proprie caratteristiche fisiche. Per poter quindi importare in un software FEM il dati ricavati da un laser scanner si è dovuto trasformare la nuvola di punti prodotta da quest'ultimo prima in un insieme di superfici poi in un modello virtuale costituito da volumi.

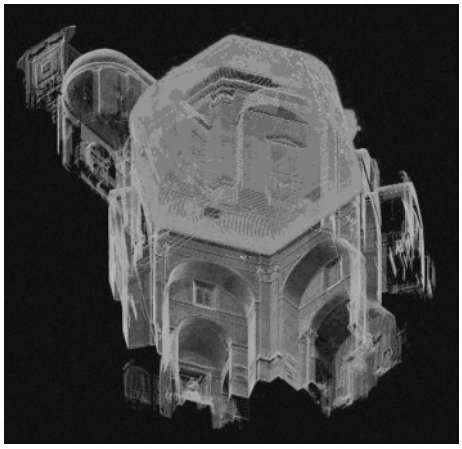


Fig.7 - La nuvola di punti acquisita con il laserscanner

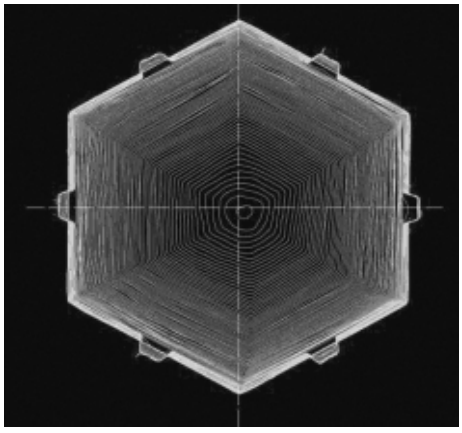


Fig.8- La cupola descritta attraverso linee di livello ogni 10 cm. Sono evidenti le asimmetrie e le deformazioni rispetto alla geometria ideale

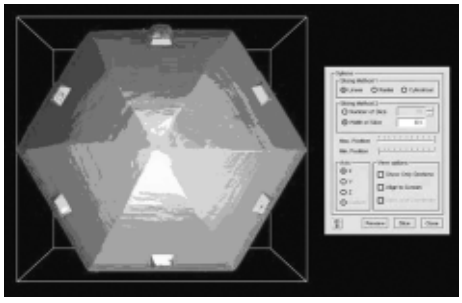


Fig.9 - La nuvola di punti trasformata in superficie continua

I problemi più rilevanti che si incontrano in questa fase sono legati alle dimensioni del file prodotto da uno scanner Laser che nel nostro caso arrivano a sfiorare i 7 gigabyte. Per questo motivo, attraverso l'uso di opportuni Reference plane e Cut plane si sono isolati i punti appartenenti alla cupola da quelli del resto della chiesa. Inoltre la deviazione standard dello scanner produce del "rumore" nella nuvola di punti che è necessario filtrare e ridurre quanto più possibile salvaguardando naturalmente la complessità e la risoluzione dell'acquisizione ma riducendo ulteriormente la pesantezza del file.

Una volta unificato il modello è stato quindi sottoposto ad un filtraggio che ne ha ridotto la densità ad un punto ogni 3 cm. Dopo questa operazione la "nuvola di punti" è stata importata da Cyclone all'interno di Rapidform un software specifico che consente di lavorare sulle nuvole di punti, per la fase di editing post digitalizzazione. In Rapidform la nuvola di punti è stata triangolarizzata e trasformata in oggetto poligonale. La prima fase consiste nella chiusura dei piccoli fori che si presentano inevitabilmente dopo la trasformazione in mesh poligonale attraverso un comando specifico denominato Fill Holes. Lo scopo finale è quello di ottenere una matematica Nurbs da integrare successivamente in Rhinoceros, software più adatto alla creazione di volumi. Per la realizzazione della superficie Nurbs, Rapidform integra un avanzato sistema di gestione delle curve e superfici. In Rapidform si possono creare superfici rigate, Loft, su-

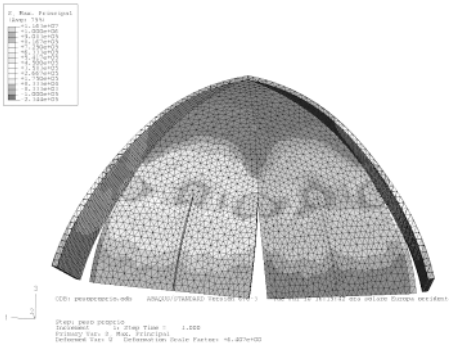


Fig.10 - Elaborazione del modello numerico. La cupola non fratturata sottoposta a peso proprio. Rappresentazione delle tensioni massime principali

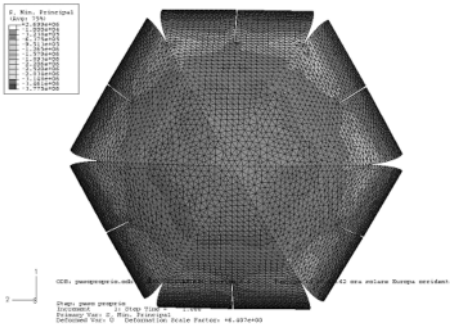


Fig. 11 - Modello della cupola con inserimento delle fratture sugli spigoli e a metà delle vele, sottoposta al solo peso proprio. Visualizzazione delle tensioni minime principali

perfici di Coons, Superfici da una rete di curve, Blending di superfici in continuità, Match di superfici e molto altro ancora. Vista la natura complessa dell'oggetto in esame è stato utile in questo caso affidarsi all'Auto Surfacing che crea in modo quasi automatico le Patch necessarie a realizzare l'intera superficie.

Spostandosi sul piano numerico, il calcolo si svolge attraverso l'utilizzo di un programma agli elementi finiti (ABAQUS), che si basa sull'analisi statica di un modello virtuale della cupola che deve rispecchiare la realtà non solo nella sua componente volumetrica ma anche nei punti di discontinuità o di possibile di rottura. A questo punto della modellazione si ha nuovamente la necessità di un intervento del progettista per decidere come suddividere e spezzare l'unico volume creato individuandone le zone di fratturazione.

In questo secondo metodo il processo, che come si è visto anche nel paragrafo precedente nel caso della necessità di eliminare alcuni difetti di acquisizione, è ben lungi dall'essere automatico. Anche in questo tipo di procedura è sempre presente la necessità di una preliminare ipotesi di meccanismo strutturale e quindi la necessità di un continuo rapporto di verifica e controllo tra la proiezione virtuale e la situazione reale rilevata, facendo eventualmente riferimento a risultati ottenuti da un calcolo manuale semplificato.

La risoluzione di strutture complesse, come in questo caso, è ottenibile infatti utilizzando dei sistemi di calcolo a elementi finiti, per mezzo dei quali si può avere un quadro analitico degli sforzi e delle deformazioni della struttura in ogni punto, ma solo una volta adeguatamente discretizzata la figura nei singoli elementi. Le potenzialità della metodologia sono essenzialmente basate sulla possibilità di descrizione in modo accurato della geometria della struttura da studiare. Una precisa restituzione del rilievo geometrico così come una corretta semplificazione del volume costituisco-

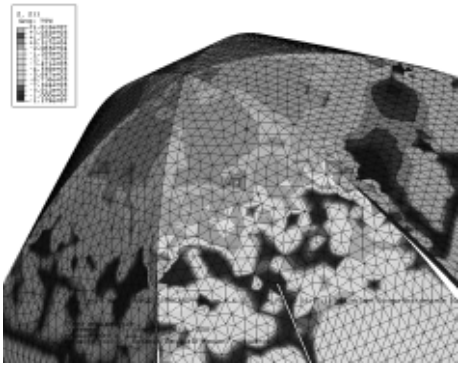


Fig.12 - La cupola fessurata e modellata secondo la reale geometria derivante dal modello laser scanner

no la condizione indispensabile per poter effettuare valutazioni affidabili su sforzi e deformazioni della struttura. A questo si aggiunge l'attenzione nella scelta del tipo di suddivisione dei volumi modellati in singoli elemento da utilizzare per la modellazione della struttura e una precisa analisi dei carichi sugli elementi.

A monte della costruzione del modello tridimensionale della cupola è il rilievo architettonico, qui condotto anche con l'ausilio di specifica strumentazione laser-scan, con il quale si è acquisita la geometria e la morfologia dell'organismo strutturale a cui riferirsi.

Per ritornare infine a quanto anticipato all'inizio e quindi alla necessità di riportare tutte le analisi oggi effettuabili all'interno di un sistema in grado di metterle in relazione con valutazione di tipo storico-culturale, il rilievo può essere visto anche in questo caso come lo strumento privilegiato per includere e consentire di analizzare i processi e lo stato di degrado o di dissesto di un manufatto.

Le sempre maggiori possibilità offerte hai ricercatori dagli strumenti tecnologici utilizzabili per effettuare approfondite indagini sulle caratteristiche geometriche, materiche e quindi statiche di un bene architettonico, tendono a favorire una visione del monumento come materialistica sommatoria di componenti fisiche.

Questa semplicistica visione porta spesso a relegare l'indagine storica e più in generale la conoscenza storico-architettonica dell'oggetto ad una esercitazione meramente "filologica" destinata a non incidere minimamente sul futuro progetto di consolidamento che seguirà rigorosamente invece le indicazioni dell'economia, della funzionalità e della "inventiva" del progettista.

Questa premessa, apparentemente lontana dal tema centrale di questo contributo, vuole sottolineare da subito che la ricerca di nuove metodologie che sfruttano i nuovi strumenti messi a disposizione dalle più recenti evoluzioni tecnologiche, non vuole essere la ricerca di un'alternativa ma piuttosto un'integrazione ed uno sviluppo delle metodologie di rilievo e di analisi statica delle strutture architettoniche che per secoli si sono evolute e consolidate.

L'imprescindibile importanza di un'approfondita ricerca degli orientamenti teorico-concettuali e dei fondamenti storico-critici che hanno portato alla nascita di un'architettura è ben esemplificata dal ruolo assunto da una corretta analisi grafica della geometria di progetto nell'individuazione delle deformazioni avvenute nel tempo.

Comprendere l'originaria geometria costruttiva di un edificio è un aiuto indispensabile per individuare i dissesti e le deformazioni che si sono manifestati nei secoli e quindi per identificare le patologie della struttura e formulare delle ipotesi sui meccanismi strutturali. La possibilità di importare direttamente una forma complessa in un software di calcolo e verifica strutturale rende, se possibile, ancora più importante possedere la base conoscitiva per poter interpretare e discretizzare la complessità di un'architettura storica.

Bibliografia

AA.VV., *Parma, la città storica*, Parma, 1978.

G. Carbonara, *Avvicinamento al restauro, teoria, storia, monumenti*, Liguori, Napoli 1997

C. Blasi, E. Coisson, *"Sesti e Dissesti"*, in *"Le forme della tradizione in architettura. Esperienze a confronto"*, a cura di Paolo Bertozzi, Agnese Ghini, Luca Guardigli, Franco Angeli editore, Milano, 2005

C. Blasi, E. Coisson. *Studi sulla stabilità del Panthéon di Soufflot a Parigi*. WONDERmasonry 2006. 6 aprile 2006. (pp. 181-192).

M. Balzani, *Il rilievo morfometrico tridimensionale delle architetture albertiane*, in *Leon Battista Alberti e l'architettura*, a cura di M. Bulgarelli, A. Calzona, M. Ceriana, Milano, 2006.

Allen P.K., Stamos I., Troccoli A., Smith B. Leordeanu M. Hsu Y.C., *3D Modeling of Historic Sites Using Range and Image Data*, in ICRA 2003 proceedings, IEEE, Los Almitos, 2003.

Beraldin J.A., Blais F. Cournoyer L. Godin G., Rioux M., *Active 3D Sensing, Modelli e Metodi per lo studio e la conservazione dell'architettura storica*, in Quaderni 10 Centro Ricerche Informatiche per i Beni Culturali, Scuola Normale di Pisa, n, X, 2000.

Beraldin J.-Angelo e Gaiani Marco, *Valutazione delle prestazioni di sistemi di acquisizione tipo 3D active-vision: alcuni risultati*, in DDD rivista trimestrale di Disegno Digitale e Design edita da Poli.Design. Anno 2, n. 5. Gen.-mar. 2003.

Gaiani M., *Strategie di rappresentazione digitale: modelli per la conservazione e il restauro*, in Quaderni 10 Centro Ricerche Informatiche per i Beni Culturali, Scuola Normale di Pisa, n. X, 2000.

Anna Natale

L'influenza dell'evoluzione territoriale moderna sulle grandi infrastrutture del passato: il caso dei Regi Lagni in Campania

Si ripercorrono in questa nota le vicende relative al corso d'acqua torrentizio, tortuoso e paludoso, che scorre ad oriente e a settentrione delle campagne Campane e che fu chiamato dagli antichi *Clanis, Glanis, Glanius o Clanius* e prese poi il nome prima di *Lanio* e poi di *Clanio*, fino ad arrivare ai nostri giorni con il nome di *Regi Lagni*.

Un fiume, il Clanio, che ha arrecato non pochi danni nel corso dei secoli, a causa dei frequenti fenomeni alluvionali che hanno per lungo tempo ostacolato lo sviluppo urbanistico della *Campania Felix* per i fenomeni di impaludamento.

Come è possibile appurare leggendo il *Registro del Serenissimo Re Roberto*[1], già nel 1311 il Re affermava di essere venuto a conoscenza da tempo che "*l'alveo per il quale defluisce l'acqua del Laneo, da Torre Fillo del distretto di Nola, per i territori di Cicala, Nola, Marigliano, Acerra, Napoli, Capua di Aversa, tortuosamente e non scorrendo liberamente, sporco di fanghi e di altre lordure che l'azione pulente delle acque spinge in quello, nonché per palizzate e altri ostacoli costruiti in esso, per l'umana malizia che ne è causa tanto è occupato e ripieno che negli stessi territori si verifica nel tempo delle piogge un grande accumulo di acque che, avvelenando l'aria, genera epidemie, porta via ed occupa i confini separati e certi delle proprietà e proibisce pregiudizialmente ai suoi possessori l'uso per la coltivazione nei tempi dovuti…"* e dava disposizione al Giustiziere di Terra di Lavoro, a cui era indirizzato il documento di imporre alle "*Università delle terre, dei luoghi e dei Casali.…a ripulire di ogni marciume il predetto alveo e a togliere qualsiasi ostacolo, che impedisca il libero corso del detto Laneo*".

Questo editto mette bene in evidenza come i criteri fondamentali per la conservazione e lo sviluppo del territorio fossero non solo ben noti e sanciti ma anche particolarmente a cuore a quelli che oggi potremmo individuare come gli Organi Centrali dello Stato.

L'editto è anche un'utile testimonianza storica grazie alla quale possiamo elencare quelle che all'epoca erano le terre toccate dal Laneo: Nola, Cicala, Marigliano, Acerra, Afragola, Caivano, Crispano, Cardito, Nullito, Casolla Valenzana, San Nicandro, Sant'Arcangelo, Sagliano, Aiola, Cordicella, Campicito, Capodrise, Marcianise, Musicilo, Vico del Gaudio, Villa Nova, San Castrense, Trentola, Loriano, Grumo e Capua.

Nonostante i dettagliati imperativi dell'editto reale, esso non ebbe conseguenze rilevanti ai fini del miglioramen-

to delle acque del fiume. Infatti per lungo tempo il corso d'acqua rappresentò una barriera di delimitazione insormontabile, che impedendo l'espansione dei centri dislocati lungo il suo tracciato, delineava di fatto il confine nord del ducato napoletano.

È questa un'antica testimonianza del prevalere di modesti interessi locali su una corretta strategia di conservazione del territorio. Tra l'agosto del 1466 e ottobre del 1469 anche gli Aragonesi si adoperarono alla ricerca di una soluzione al problema degli allagamenti, attivando interventi di riserbo degli alvei, di ricavo di canali di scolo e di riempimento degli argini. Purtroppo però le prime vere opere di bonifica risalgono al 1539 quando, per iniziativa del viceré spagnolo Don Pedro di Toledo, furono realizzati i primi lavori di ingegneria idraulica relativi alla regolarizzazione del deflusso delle acque del fiume.

I lavori intrapresi, che prevedevano tra l'altro il prosciugamento delle paludi ed il risanamento della *Campania Felix*, furono notevolmente contrastati dal ceto baronale, non interessato alla riqualificazione della zona. Si sosteneva artatamente che si stesse attuando uno sperpero inutile di investimenti per la risoluzione di una problematica ritenuta di poco conto, in funzione dei loro prevalenti interessi. La conseguenza fu che i lavori vennero quasi del tutto abbandonati, le aree tornarono ad essere invase dalle acque paludose e ben presto si verificò lo spopolamento della zona, con l'inesorabile migrazione di buona parte della popolazione verso la capitale. In meno di un secolo la popolazione cittadina arrivò così quasi a triplicarsi con gravi problemi di sovraffollamento per i centri urbani. Divenne quindi imperiosa ed urgente la risoluzione della problematica inerente il recupero delle aree paludose, ormai quasi del tutto deserte.



Fig. 1 – Blaeu J. - Terra di Lavoro olim Campania Felix - Amsterdam 1664

Nel 1612 ebbe inizio quindi la realizzazione di quella che può senza dubbio definirsi come una delle più importanti opere ingegneristiche attuate durante il viceregno spagnolo: *I Regi Lagni.* I lavori di ingegneria idraulica nacquero dalla necessità di catturare e canalizzare le acque di Mefito, dei monti d'Avella, della valle di Quindici e delle falde del Somma, tutte confluenti nella piana di Nola, e farle defluire a mare attraverso un collettore.

Le opere furono realizzate, sotto la direzione di Giulio Cesare Fontana, figlio del più noto Domenico Fontana, in circa sei anni, e furono poi continuamente potenziate nel corso dei secoli con realizzazioni di nuovi canali, nuovi percorsi di aggiramento degli abitati, nuove diramazioni, atte a favorire l'irrigazione dei campi e l'alimentazione dei mulini

ad acqua diffusi nelle zone attraversate dai Lagni. I Borboni furono coloro i quali, per primi, intuirono l'importanza di programmare una regolare manutenzione del Canale dei Regi Lagni, e sotto il loro governo può dirsi che l'opera sia stata perfezionata. Carlo di Borbone diede, tra l'altro, disposizione di collocare pioppi su entrambi i lati dei Regi Lagni. La sistemazione ebbe inizio nel 1750 e andò avanti per alcuni anni con la piantata di seimila piante l'anno.

Da quel momento, tale misura, dettata dalla opportunità di assicurare maggior stabilità alle sponde degli alvei, fu praticata con continuità tanto che gli alberi sono stati rinnovati fino alla metà del nostro secolo, associandosi indissolubilmente all'immagine dei canali.[2] Bisognerà attendere, tuttavia, il 1838, perché si dia inizio a seri studi sul problema della bonifica dei terreni malsani in provincia di Terra di Lavoro; in particolare, furono effettuati lavori di prosciugamento e canalizzazione fra i Regi Lagni ed il lago di Patria, lavori diretti dall'ing. Vincenzo Antonio Rossi. [3] Ciò anche grazie alla istituzione da parte del governo Borbonico, con decreto 11 maggio 1855, della Amministrazione Generale di Bonificazione, che assunse come compito primario quello di bonificare le contrade paludose dei domini reali.

Attualmente il corso artificiale si presenta come una delle emergenze più gravi della provincia. La sua recente ed inopportuna cementificazione ha distrutto gli ecosistemi ripariali interrompendo il ricambio fra acque superficiali e la falda sottostante e attenuandone la funzione auto depurativa. La qualità delle acque è quindi notevolmente peggiorata negli ultimi decenni, grazie anche alla trasformazione dei Regi Lagni in sversatoi di acque reflue e di scarichi abusivi di materiale altamente inquinante.



Fig. 2 – Immissione diretta di acque reflue nei Regi Lagni

Nel contempo i sei impianti di depurazione realizzati a servizio delle acque: ad Acerra, a Cuma, alla Foce, a Marcianise, a Napoli Nord e a Nola, sono quasi del tutto fuori uso o malfunzionanti. Ne è testimonianza uno studio effettuato di recente dal Ministero dell'Ambiente in collaborazione con l'ENEA e dal titolo: "*Analisi di specifiche situazioni di degrado della qualità delle acque in Campania, in riferimento ai casi che maggiormente incidono negativamente sulle aree costiere*", studio che conferma l'estrema gravità ambientale e di rischio igienico sanitario in tutta l'area attraversata dai Regi Lagni e che mette in evidenza la necessità di effettuare interventi di potenziamento e adeguamento infrastrutturale per il raggiungimento dei limiti di sicurezza.

Nel corso dello studio è stata inoltre rilevata: l'incompletezza dei sistemi di collettamento fognario e depurativo; la



Fig. 3 – Stralcio cartografico. Impianto depurativo di Napoli-Nord



Fig. 4 – Stralcio cartografico. Impianto depurativo di Acerra



Fig. 5 – Canalizzazione nell'agro aversano



Fig. 6 – Stato di degrado in cui versano attualmente i Regi Lagni

presenza diffusa di scarichi non autorizzati recapitanti nelle acque dei Regi Lagni; un uso improprio sia del canale che delle sue sponde per la presenza di vere e proprie discariche di rifiuti di vario genere; la completa mancanza di manutenzione degli argini e del resto delle opere idrauliche.

Il Comune di Caivano, uno dei centri lambiti dai Regi Lagni, preso atto dello stato di degrado in cui versano le acque dei lagni e le aree ad essi limitrofe, si è attivato per un recupero delle stesse attraverso la realizzazione di un *"Parco Agricolo dei Regi Lagni"*[4]. Il progetto prevede, tra l'altro, un intervento che pur non risolvendo il problema dell'interscambio tra acque superficiali e quelle profonde, tende ad accrescere la presenza di vegetazione sulle sponde e a migliorare la qualità del paesaggio. L'intervento consiste nel posizionamento, sugli argini cementificati dei Regi Lagni, di rivestimenti vegetativi a materasso in rete e diaframmi con terriccio e geostuoie tali da favorire la costituzione di vegetazione riparia ed evitare la manutenzione dell'alveo. Il progetto, previsto nell'area a confine con il comune di Acerra, in linea di massima prevede: la realizzazione di un'area attrezzata per le attività ricreative all'aria aperta; uno stagno; un centro equestre; un museo del paesaggio; un Garden Centre; un'area floro-vivaistica; una forestazione lineare lungo la linea TAV e l'autostrada A1; una rete di siepi lungo i percorsi ciclopedonali ed equestri; la riconversione delle coltivazioni verso l'agricoltura compatibile.



Fig. 7 – Area di progetto del Parco Agricolo dei Regi Lagni

È importante rilevare quanto sia stato fatto nel corso dei secoli per bonificare l'area paludosa della Campania Felix, nel contempo occorre porre l'accento su quanto invece si sta facendo in questi ultimi anni nella stessa zona: uno sviluppo selvaggio di strade e ponti a servizio della linea ferroviaria veloce e dei tanti ipermercati, che pur rappresentando una risorsa economica per il territorio si stanno rivelando ai fini dell'impatto ambientale delle vere e proprie calamità.

Di contro, ci si augura che il progetto sopra esposto possa rappresentare un primo passo verso quella salvaguardia del territorio che si è aggravata negli ultimi decenni, ma anche contro la quale da sempre si sono esercitati i più disparati interessi.

[1] Registro del Serenissimo Re Roberto, *contrassegnato a. 1311, e 1312 X foglio 140.*

[2] G. Fiengo, *I Regi Lagni e la bonifica della Campania Felix durante il viceregno spagnolo,* Firenze, Leo S. Olschki Editore, 1988.

[3] G. Novi, *Relazione intorno alle principali opere di bonificamento intraprese nelle province napoletane e letta al Real Istituto d'incoraggiamento nella tornata del 12 febbraio 1863,* Napoli,1863.

[4] B. Cillo , *Relazione progettuale del Parco Agricolo dei Regi Lagni,* Napoli, 1998.

Storia dell'Ingegneria

Atti del 2° Convegno Nazionale

Napoli, 7-8-9 aprile 2008

tomo secondo

a cura di

Salvatore D'Agostino

comitato di redazione

Alfredo Buccaro
Giulio Fabricatore
Lia M. Papa

Comitato scientifico:

Vito Cardone
Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria
Edoardo Cosenza
Università di Napoli Federico II
Salvatore D'Agostino
Università di Napoli Federico II
Felicita De Negri
Archivio di Stato di Napoli
Giuseppe Galasso
Università di Napoli Federico II
Vittorio Marchis
Politecnico di Torino
Giuseppe Marrucci
Università di Napoli Federico II
Andrea Silvestri
Politecnico di Milano
Paolo Stefanelli
Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Comitato organizzatore:

Alfredo Buccaro
Università di Napoli Federico II
Giulio Fabricatore
Università di Napoli Federico II
Lia M. Papa
Università di Napoli Federico II
Vittoria Rinaldi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Luigi Verolino
Università di Napoli Federico II
Luigi Vinci
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Armando Zambrano
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno

Segreteria scientifica e organizzativa:

C.I.Be.C.
Centro Interdipartimentale di Ingegneria
per i Beni Culturali dell'Università di Napoli
e-mail: cibec@unina.it
fax: 0817682106

Facoltà di Ingegneria
Piazzale V. Tecchio, 80
80125 Napoli

Enti Sostenitori:

Centro Interdipartimentale di Ingegneria
per i Beni Culturali (Ci.Be.C.)
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno

Progetto grafico:

Maria Ines Pascariello

Collaborazione all'impaginato:

Carolina Graziani

Si ringraziano le signore Carmela Allagrande e Luciana Sepe per la collaborazione prestata.

Per le immagini pubblicate l'editore resta a disposizione degli eventuali aventi diritto.

Sommario

Tomo primo

Il percorso continua: una nuova tappa
Salvatore D'Agostino 19

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

Una 'sistematica' per la Storia dell'Ingegneria
Vittorio Marchis 25

Il ruolo dell'ingegneria nell'osservazione della Terra dallo Spazio
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti 35

Le stazioni spaziali
Raimondo Fortezza, Rodolfo Monti, Giuseppe De Chiara 47

L'ingegneria dei trasporti:
da ingegneria ferroviaria a ingegneria dei sistemi
Ennio Cascetta, Francesca Pagliara 63

Ingegneria e beni culturali: una storia difficile
Salvatore D'Agostino 73

Gli sviluppi della Teoria dei Giochi e le sue applicazioni
nel campo dell'ingegneria
Giuseppe Bruno, Gennaro Improta, Lina Mallozzi, Antonino Sgalambro 87

L'evoluzione dei Linguaggi di Programmazione
Antonino Mazzeo, Flora Amato 99

La computazione e comunicazione quantistica: dall'idea alla realizzazione tecnologica
Alberto Porzio, Salvatore Solimeno 109

La Teoria dell'elasticità tra Fisica e Ingegneria
Ermenegildo Caccese, Federico Guarracino 117

La scoperta dell'acqua calda (storia dei dispositivi per lo sfruttamento dell'Energia Solare)
Dario Assante, Luigi Verolino 125

Breve storia della chimica
Francesco Branda 135

Il ruolo dell'acciaio nella rivoluzione industriale
Walter Nicodemi, Carlo Mapelli, Cristian Corna 145

Le tecnologie metallurgiche nello sviluppo dell'ingegneria
Walter Nicodemi, Carlo Mapelli, Silvia Barella 155

Una storia degli strumenti di analisi strutturale
Nicola Augenti 165

Logica ed evoluzione delle strategie descrittive
Lia M. Papa 175

Il ruolo dell'ingegneria strutturale nella creazione di nuove spazialità
Zaira Dato, Stefania Di Pietro, Antonio Perretti 185

La storia dei materiali cellulari nell'ingegneria
Salvatore Iannace, Letizia Verdolotti, Stefano Colini 195

La geotecnica e l'evoluzione della progettazione nell'ingegneria civile
Giovanni Calabresi, Giuseppe Scarpelli 205

La lampadina elettrica: una storia anche italiana
Giulio Fabricatore 211

L'elettrificazione delle ferrovie italiane.
Una storia di coraggiosa intraprendenza e di incapacità
a seguire una coerente politica industriale
EMILIO MARAINI 223

La Storia della Radio nella mostra di Cassino
sulla Storia dell'Ingegneria delle Telecomunicazioni
MARCO DONALD MIGLIORE, FRANCO CREMONA, FULVIO SCHETTINO, CIRO D'ELIA 237

Il Radar e la sua storia.
Il museo del Radar di SELEX Sistemi Integrati
ANTONIO PUGLIA 247

Sviluppo di automi in Italia
MARCO CECCARELLI, MICHELA CIGOLA, CESARE ROSSI 257

Storia dell'Ingegneria Forense
NICOLA AUGENTI 267

Le comunicazioni mobili: una storia in movimento
ERMANNO TURCO, PASQUALE FEDELE 277

La sicurezza stradale per una mobilità responsabile
ANTONIO COPPOLA 297

Ingegneria e beni culturali: interdisciplinarietà
in una collaborazione recente e in continua evoluzione
SILVIA PENNISI, RAFFAELLA RIVA SANSEVERINO 309

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Innovazione tecnologica e innovazione formale nell'architettura:
l'evoluzione nelle costruzioni in calcestruzzo armato
ROSALBA LA CRETA, LUIGI ALINI 321

Ingegneria e architettura nel modernismo italiano:
strutturalismo e realismo
SERGIO PORETTI 331

La teoria della consolidazione fra Terzaghi e Fillunger: una disputa accademica nell'Austria degli anni '30
Carlo Viggiani 339

Costruire con la terra cruda: un esempio dall'antichità
Giovanna Greco 349

Breve storia dell'evoluzione dei modelli per il suono nelle grandi sale
Carmine Ianniello 361

Il progetto e la costruzione degli apparati radioelettrici durante il secondo conflitto mondiale: diverse filosofie
Sigfrido Leschiutta 377

Origini filosofiche del principio delle velocità virtuali
Anna Sinopoli 389

Principio delle velocità virtuali e trasformazione per analogia degli 'oggetti' della meccanica
Anna Sinopoli 399

Il meccanismo di Anticitera: un oggetto fuori tempo o un prodotto dell'età classica?
Cesare Rossi, Ferruccio Russo, Flavio Russo 409

Per una storia dell'ingegneria idraulica nell'antichità
Maria Letizia Conforto, Silvia Nicolucci 421

Il porto dell'antica Puteoli: evoluzione dell'ingegneria marittima in età romana
Marida Salvatori 431

Malte per il restauro di opere d'arte antiche
Riccardo Sersale 441

Traiettorie tecnologiche nell'invenzione dell'orologio meccanico nel Medioevo
Giuseppe Zollo 449

Alcune tappe verso l'automazione
CESARE ROSSI, MICHELA CIGOLA, MARCO CECCARELLI 461

Aspetti della costruzione dei ponti nel Settecento
LUCIANO MARIA MONACO 471

'Misurando'. Storia delle misure dal XVII secolo ad oggi attraverso la collezione privata di un appassionato ingegnere
ORONZO MAURO 477

La Statica degli Edifici *dell'ingegnere napoletano Vincenzo Lamberti: un trattato teorico-pratico del tardo XVIII secolo*
MARIA LIPPIELLO 487

Dalla cultura tecnica settecentesca alla meccanica di Navier
LUCIANO BOSCOTRECASE 497

Note sulla diagnosi dei dissesti strutturali tra XVIII e XIX secolo
BIANCA GIOIA MARINO 509

I sistemi di misura nel Mezzogiorno verso l''eguaglianza': da due pesi e due misure al sistema metrico decimale
FRANCESCA M. LO FARO 521

Un disegno per l'ingegneria ottocentesca
CRISTINA CÀNDITO 541

Saint-Venant prima del 'problema di Saint-Venant'. Studi sulla resistenza dei materiali (1837-1853)
FEDERICO FOCE 551

Materiali costruttivi nell'architettura napoletana di fine Ottocento tra tradizione e nuove conoscenze tecniche
CLAUDIA AVETA 563

Stazioni ferroviarie: disegno e tecnologie tra XIX e XX secolo
PIERPAOLO D'AGOSTINO 573

I cicli tecnologici del trasporto terrestre delle merci
PAOLO FERRARI 583

Evoluzione dei traffici e degli impianti portuali
EDOARDO BENASSAI 595

Un manoscritto anonimo di esperienze idrauliche
FILIPPO NIEDDU 607

Sviluppo della valorizzazione irrigua nel Mezzogiorno
ROBERTO CARRAVETTA 615

Dismissione e rinascita del trasporto tranviario. Il caso di Napoli
GIOVANNI FRESA 629

La cassaforma nella costruzione italiana del Novecento
STEFANIA MORNATI 639

Prime applicazioni del calcestruzzo armato
nella trasformazione di antichi edifici a Napoli
RAFFAELE AMORE 649

Consolidaciones históricas.
Las fábricas tradicionales y su consolidación mediante
sistemas y técnicas constructivas 'modernas'
SUSANA MORA ALONSO-MUÑOYERRO 661

Relazione tra forma e struttura
nella recente storia dei ponti italiani
STEFANIA PALAORO, ENZO SIVIERO 671

L'edilizia scolastica prefabbricata in Italia.
La sperimentazione degli anni '60
RICCARDO GULLI 681

La costruzione metallica nell'architettura
dei punti ristoro autostradali del dopoguerra in Italia
LAURA GRECO 691

Patrimonio storico e catalogazione dei disegni
FRANCESCO ROSA, EDOARDO ROVIDA 701

Strumenti e tecniche di rilevamento e restituzione grafica avanzate per la valutazione dei meccanismi di danno nell'architettura storica monumentale: il caso della Chiesa di Santa Maria del Quartiere in Parma
CHIARA VERNIZZI 707

Le perizie tecniche per la stabilità della tholos micenea
MARIA TERESA COMO 717

L'ultima città. Ricerca formale ed elementi costruttivi nelle necropoli etrusche
GIGLIOLA AUSIELLO 727

Lo studio del comportamento statico delle strutture antiche e le nuove tecnologie per il rilievo e la modellazione tridimensionale: la cupola esagonale di Santa Maria del Quartiere in Parma
ANDREA GHIRETTI 741

L'influenza dell'evoluzione territoriale moderna sulle grandi infrastrutture del passato: il caso dei Regi Lagni in Campania
ANNA NATALE 751

Tomo secondo

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

L'insegnamento delle discipline umanistiche e sociali nella formazione degli ingegneri
VITO CARDONE 781

Ingegneria tra scienza e arte: il Codice Corazza *e la permanenza del modello vinciano nella cultura napoletana*
ALFREDO BUCCARO 797

Il disegno illuminato dal testo
PIER GABRIELE MOLARI 811

Il disegno degli ingegneri, tra metodo e ragion pratica
Maria Ines Pascariello 819

Il constructeur*: la tradizione ingegneristica francese del XIX secolo nella storiografia architettonica del Novecento*
Andrea Maglio 829

L'ingegneria dei ponti in ferro nella manualistica ottocentesca
Anna Bottini 839

Il ruolo del disegno nella formazione e nella professione dell'ingegnere: uno sguardo al passato
Licio Pavan 849

Una dissertazione di laurea presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Napoli
Tommaso Esposito, Raffaele Mauro 855

L'insegnamento dell'ingegneria chimica: storia e prospettive
Gianni Astarita, Giuseppe Marrucci 861

La didattica del disegno di architettura tra Otto e Novecento
Maura Boffito 867

L'insegnamento della scienza delle costruzioni in Italia
Riccardo Barsotti, Stefano Bennati, Danilo Capecchi, Giuseppe Ruta 875

Evoluzione dei modelli di termoregolazione del corpo umano
Francesca Romana d'Ambrosio 887

Un sogno durato un secolo: il Politecnico di Palermo
Antonio Cottone, Tiziana Basiricò 901

Donne e tecnologia: il caso del politecnico di Torino tra la fine dell'Ottocento e gli anni Cinquanta
Margherita Bongiovanni 915

Camillo Guerra e i "Quaderni di Architettura e di Urbanistica": didattica e costruzione nella Napoli degli anni Trenta
Francesco Viola 921

Da "Casabella" a "Costruzioni-Casabella": la rivista di Giuseppe Pagano e il trait d'union *con la cultura dell'ingegneria*
GABRIELLA MUSTO 931

L'ingegnere oggi tra azienda e società
MARIO RAFFA 945

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Luigi Giura: il primo ingegnere di Stato nell'Italia in costruzione
EDOARDO COSENZA, ROBERTO PARISI 959

Gli ingegneri del granduca di Toscana e i terremoti del Seicento: una nota sull'eredità dell'osservare e del descrivere
EMANUELA GUIDOBONI 971

Sulla storia del restauro statico della cupola di San Pietro in Roma eseguito da Poleni e Vanvitelli
MARIO COMO 981

Eugenio Miozzi, un ingegnere tra tradizione e modernità
ENZO SIVIERO, ILARIA ZAMPINI 991

Santo Domingo de la Calzada: l'ingegnere del Camino de Santiago
GIULIO FABRICATORE 1001

Obras de ingeniería en el Próximo Oriente en la Antigüedad
AMPARO GRACIANI GARCÍA 1007

La trasformazione dei porti e degli arsenali del Regno di Napoli nel passaggio dalla propulsione remica a quella velica
MARIA SIRAGO 1017

L'approvvigionamento idrico della città di Napoli. L'acquedotto del Serino e il Formale Reale in un manoscritto della Biblioteca Nazionale di Madrid
GIUSEPPE MARIA MONTUONO 1029

Niccolò Tartaglia, matematico e ingegnere
Emilio Chirone, PierLuigi Pizzamiglio 1051

Luigi Vanvitelli e la cultura tecnica del Settecento
Aldo Aveta 1061

L'Acquedotto Carolino: il sistema produttivo dei mulini
Riccardo Serraglio 1073

Sulle orme di Luigi Vanvitelli.
Cultura tecnica e architettura in Terra di Lavoro
Maria Gabriella Pezone 1081

Il regio ingegnere Giuseppe Giordano
nella cultura borbonica tra '700 e '800
Giuseppina D'Errico 1095

Le fucine della Valle Trompia alla base della metallurgia bresciana
Massimo Persico, Carlo Remino 1107

I progetti del Borgo Murattiano della città di Bari:
confronto fra ingegneri e architetti
Claudio Mazzanti 1117

L'ingegneria idraulica in epoca borbonica:
il sistema produttivo del Regio Canale di Sarno
Francesca Castanò 1129

Luigi Oberty
e il progetto di riduzione dell'antico castello di Montesarchio
Giuliana Ricciardi 1139

Ignazio Gardella sr. e le 'terrazze di marmo' a Genova
Stefano Poli 1145

Raffaele Pareto (1812-1882). Il contributo al dibattito sull'arte
e il restauro nella cultura italiana del secondo Ottocento
Serena Pesenti 1155

L'ingegneria del ferro nei mercati del XIX secolo a Barcellona
Carlos Alberto Cacciavillani 1165

Un ingegnere all'opera nel Grande Archivio di Napoli (1835-1864): Ercole Lauria
Fausto De Mattia, Felicita De Negri 1175

Storia dell'illuminazione a gas nella città di Napoli
Andrea Lizza 1183

Illuminare le coste: i fari del golfo di napoli nel XIX secolo
Ornella Cirillo 1193

La pianificazione stradale in Sicilia prima dell'Unità d'Italia
Marco Guerrieri, Roberta Marino, Alessandro Crisafulli 1205

Infrastrutture ottocentesche della costa tirrenica orientale della Sicilia
Mario Manganaro 1215

La via della Libertà a Palermo
Orazio Giuffrè, Marco Guerrieri, Anna Granà 1225

Dalla relazione Possenti ai primi provvedimenti postunitari per il completamento e l'adeguamento della rete stradale siciliana
Marco Guerrieri, Anna Granà, Alessandro Crisafulli 1235

La prima pianificazione postunitaria della rete ferroviaria della Sicilia
Marco Guerrieri, Tullio Giuffrè, Alessandro Crisafulli 1245

Sviluppo urbano della città di Campobasso dopo l'Unità d'Italia: l'edilizia pubblica e il ruolo degli ingegneri
Nina Maria Margiotta 1255

Persistenze e segni delle infrastrutture nel paesaggio del sud Piemonte
Maria Paola Marabotto, Nadia Fabris, Giulio Capriolo 1265

Ponti in muratura di fine ‘800 nell’Italia meridionale
PAOLO BELLI 1275

Le infrastrutture storiche della Valsugana
ANNA VILLANOVA 1281

Alle origini dell’ingegneria ferroviaria in Campania: la costruzione della linea Avellino-Ponte S. Venere (1888-1895) e gli attuali problemi di conservazione
ANDREA PANE 1291

Infrastrutture territoriali ed urbane in Costiera Amalfitana tra Otto e Novecento
MARIA RUSSO 1301

Prime funicolari: binari, freni, funi, rulli
GIOVANNI FRESA 1311

Alle radici di una difficile coesistenza nella città stratificata: elaborazioni e progetti per la Funicolare Centrale e il cinema-teatro Augusteo in Napoli
VALENTINA RUSSO 1321

Il contributo di Ercole Bottani e del Politecnico di Milano alla ricostruzione postbellica nel settore elettrico
ANDREA SILVESTRI 1331

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell’ingegneria del primo Novecento. Parte I: il profilo del professionista, dall’architetto all’ingegnere
ENZO SIVIERO, MARCELLO ARICI, FRANCESCA ARICI 1341

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell’ingegneria del primo Novecento. Parte II: il profilo dell’ingegnere
ENZO SIVIERO, MARCELLO ARICI, FRANCESCA ARICI 1351

Cento anni di solitudine nell’Irpinia balcanica. Emigrazione, capitali ed elettrificazione a Greci
CARLO MEOLA 1359

Puentes colgantes entre las estructuras metálicas de la arquitectura venezolana en la década 1920
Mónica Silva Contreras 1371

Struttura e rivestimento in un'opera di ingegneria civile di Gaetano Minnucci
Luigi Stendardo 1383

Il Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo in Napoli di Camillo Guerra
Renato Iovino 1393

Il Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli di Camillo Guerra
Flavia Fascia 1403

Camillo Guerra e gli aspetti strutturali del restauro architettonico
Renata Picone 1413

Ingegneri a Torino tra fascismo, guerra e avvio della ricostruzione (1925-1946)
Andrea Villa 1429

Il dibattito sul consolidamento della cupola di San Gaudenzio a Novara (1931-1945): un contributo alla storia della dinamica delle costruzioni in Italia
Chiara Calderini, Luisa Pagnini 1437

Stazioni della prima metà del '900 tra rappresentatività pubblica e ridisegno urbano: Afragola e Benevento
Carolina De Falco 1447

Carlo Pradella ingegnere
Enzo Siviero, Giorgio Pradella 1457

La fábrica de cemento ENCI de Maastricht y sus ampliaciones tras la Segunda Guerra Mundial
Rafael García 1465

Carlos Raúl Villanueva
Pionero en la construcción de la modernidad venezolana
NANCY DEMBO 1475

Ingegneria e restauro nella ricostruzione postbellica.
Gli studi di Piero Sanpaolesi
per la copertura del Camposanto Monumentale di Pisa
ARIANNA SPINOSA 1487

Il boom dell'ingegneria italiana:
il ruolo di Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso
TULLIA IORI 1501

Strutture di accosto nei porti marittimi
EDOARDO BENASSAI 1511

ELENCO DEGLI AUTORI 1525

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Vito Cardone

L'insegnamento delle discipline umanistiche e sociali nella formazione degli ingegneri

L'inserimento di discipline umanistiche e sociali nei piani di studio per allievi ingegneri è questione ricorrente in Italia, ove però quasi mai è stata affrontata con approccio corretto e visione strategica. E a parte la significativa eccezione, in anni recenti, dei Politecnici di Torino e di Milano, in genere il problema è stato liquidato con malcelato fastidio. Eppure in tutto il mondo, da sempre, l'insegnamento di queste discipline ha avuto uno proprio spazio nella formazione degli ingegneri.

Alcuni fanno risalire al rinascimento le radici di una formazione complessiva, non parcellizzata né settoriale. Se è vero però che all'epoca non esisteva ancora la separazione tra cultura tecnica e cultura umanistica, è vero anche che gli ingegneri rinascimentali non sono tecnici nel senso moderno del termine.

Per Bernard Gille, gli ingegneri del rinascimento - artisti e artigiani, architetti, militari e organizzatori di feste - «ne sont point créateurs du véritable progrès technique. Ils ne firent souvent que suivre un mouvement dont ils n'avaient pas été les initiateurs, dont ils ne furent pas même en bien des cas les propagateurs. Dan la réalité, leur rôle apparaît, en dernière analyse, comme très faible. […] leur goût pour la technique, leur recherche de "l'invention" se montrent à nous comme une sorte de passe-temps, parfois même comme une sorte d'amusement ou de jeu d'esprit»[1].

L'approccio ai problemi tecnici è ancora globale e gli apporti più originali vengono proprio da coloro dotati di una visone complessiva sulle cose della vita, se non proprio da un'ampia cultura, che consente loro di cimentarsi con successo nella soluzione di problemi concreti: dalla messa a punto di macchine idrauliche o belliche alla realizzazione di fortificazioni. Ma come ha notato Bruno Jacomy, storico delle tecniche, «cette globalité voulue, glorifiée, annonce déjà les segmentations des domaines du savoir qui prendront leur véritable dimension avec la révolution industrielle de la fin du XVIII^e^ siècle»[2]. Già alla fine del rinascimento si verificherà la separazione tra l'artista e il tecnico, che precede di qualche decennio quella tra ingegnere e architetto.

All'epoca, per altro, non esistevano ancora studi specifici per ingegneri, avviati solo alla metà del '700, con la costituzione delle scuole dei Corpi dello stato per la formazione degli ingegneri che in essi dovevano lavorare. Secondo alcuni è proprio con l'istituzione di queste scuole che prese forma il processo di specializzazione dell'ingegnere che ha condotto alla netta separazione tra formazione tecnica e formazione umanistica. In realtà tale fenomeno si affer-

merà solo alla metà del ‘800, ché all’inizio la formazione continuò a essere abbastanza ampia.

Nell’École des Ponts et Chaussées, ad esempio, sulla base del Regolamento predisposto nel 1775 da Jean-Rodolphe Perronet (1708-1794), erano previsti corsi obbligatori di matematica, idraulica, disegno (che comprendeva anche elementi di carpenteria, taglio delle pietre, determinazione di terrazzamenti), cartografia, architettura civile e altri facoltativi di chimica, fisica, idrodinamica, scienze naturali. Presto si aggiunsero insegnamenti complementari quali calligrafia, lingua, equitazione, nuoto e, soprattutto, insegnamenti di carattere filosofico: tutti volti alla definizione del profilo professionale, ma anche della personalità, di un tecnico al quale era riservato un posto di riguardo nella società, con un ruolo ben definito[3].

La valutazione delle conoscenze acquisite in campo non tecnico era - al pari delle altre - graduale e continua, basata su una vasta gamma di prove, di carattere teorico o pratico, di difficoltà crescenti, il cui momento più alto era costituito dai *concours*. E un ruolo fondamentale svolsero anche i *concours de style*. «Ce qui frappe tout d’abord à la lecture des concours de style, c’est le caractère global de la doctrine des ingénieurs. Ces derniers empruntent en effet à la philosophie certaines de ses notions générales, à commencer par la nature dont tout semble procéder»[4].

In effetti l’insegnamento delle discipline umanistiche non è connesso solo all’esigenza di dotare i futuri ingegneri di adeguata “cultura generale” e a quella - esplicitamente dichiarata - che l’ingegnere debba essere in grado di redigere in maniera chiara, le relazioni, le memorie e i rapporti che gli saranno richiesti durante la sua vita professionale.

Vi era molto di più e gli allievi studiavano non solo Platone, Aristotele e i filosofi classici, ma si cimentavano con il razionalismo di Voltaire, l’empirismo di Condillac, la filosofia di Rousseau, i cui scritti diventavano i riferimenti principali delle loro prove.

Questo esercizio non era fine a se stesso o destinato solo a una migliore formazione culturale, bensì strettamente funzionale alla definizione delle caratteristiche del ruolo che avrebbero svolto nella società. «On comprend immédiatement l’intérêt pour les ingénieurs de se réclamer de la nature et de la raison. L’ingénieur ne travaillent-il pas en effet à accroître son savoir, ne veut-il pas également contribuer au progrès de la société ? A travers Condillac et Rousseau, auxquels ils se réfèrent, les concours de style obéissent en fait à une préoccupation de légitimation que l’on retrouve à tous les niveaux. […] Les ingénieurs empruntent d’ailleurs au philosophe de Genève l’idée du ‘contrat social’ et de la nécessaire abdication d’une partie des libertés individuelles au profit de la collectivité»[5].

Questa impostazione verrà mantenuta negli anni successivi. Gaspard Riche de Prony (1755-1839) - allievo dell’École e poi stretto collaboratore di Perronet, prima di succedergli alla direzione - era convinto anche che l’ingegnere

deve essere in grado di dialogare con l'intera società.

A questi principi Prony improntera le sue *Réflexions sur l'organisation d'une académie qui auroit pour objet la perfection et l'enseignement de l'art de la construction*, scritte agli inzi dell'ultimo decennio del secolo, che prefigurano un vero e proprio programma di studi. Con ogni probabilità Gaspard Monge (1746-1818), che aveva tale stima per Prony da chiamarlo a insegnare all'École Polytechnique, dovette ispirarsi anche a esse nel mettere a punto il modello di formazione per la nuova istituzione, avviata alla fine del secolo, che improntera gli studi di ingegneria nel mondo intero[6].

Non a caso anche nella nuova rivoluzionaria école vi è, da subito, una discreta attenzione alle materie non scientifiche né tecniche. Lo spazio a esse riservato varierà nel tempo, ma non sarà mai negato o messo in discussione[7].

Già nel 1801 al concorso di ammissione vi è una prova di francese, ma cinque anni dopo viene inserita una versione dal latino al francese, che quindi consente anche di valutare la conoscenza della lingua nazionale. Tale scelta è dettata da esigenze di selezione di merito e sociale, perché il latino è conosciuto soprattutto dai rampolli della classe media, che studiano nei collegi reali e comunali. Con il tempo l'importanza della prova di latino andrà a ridursi. Nel 1816 viene reinserita la prova di francese; nel 1840 si decide che comunque l'insufficienza nella versione non potrà essere causa di non ammissione. A partire dal 1855 la conoscenza del latino è ritenuto invece pre-requisito per l'ammissione.

Il piano di studi, poi, prevede tra l'altro un insegnamento di *grammaire et belles-lettres*, affidato nel 1804 a François-Guillaume-Jean-Stanislas Andrieux (1759-1833), avvocato e letterato (poeta e drammaturgo) giacobino, che nell'École è professore allo stesso livello dei docenti di materie scientifiche. Le sue lezioni ebbero molto successo, non limitandosi all'obiettivo di mettere i futuri ingegneri in condizione di redigere in maniera chiara e corretta le relazioni tecniche. A esso, comunque, erano in buona sostanza finalizzati l'insegnamento del francese e della composizione e, a tale scopo, nei programmi di insegnamento agli inizi del '800, era prevista la redazione di relazioni scritte dopo le visite esterne.

Al di là dei nomi, i contenuti degli insegnamenti variavano molto e in genere erano accolti abbastanza bene dagli studenti, che talvolta protestavano piuttosto per le modalità di organizzazione dei corsi. Dopo la restaurazione, ad esempio, si lamentarono per l'obbligo di eseguire settimanalmente un tema in francese.

Nel 1862 viene istituita anche una cattedra di storia e fino al 1881 vi furono due professori, uno per la letteratura e l'altro per la storia. L'iniziativa nacque nell'ambito di un tentativo di ricomposizione dei saperi, che si stavano frantumando in maniera pericolosa. In tale ambito si inizia ad avvertire la necessità di parlare di filosofia della scienza. In

seguito si giunse ad una fusione tra storia e letteratura, la cui presenza diminuirà solo alla metà del '900. Ma entreranno nuove discipline, di carattere sociale.

A seconda del periodo, all'École Polytechnique si è messo l'accento su un aspetto piuttosto che su un altro, su una disciplina o sull'altra: ortografia, analisi grammaticale, sintassi, letteratura francese, composizione, retorica, storia, filosofia della scienza, sono state alcune delle discipline insegnate, più o meno direttamente (molti professori, infatti, venivano scelti all'interno dell'Università). Comunque, all'École la cultura umanistica è sempre stata considerata indispensabile nella formazione politecnica, anche se lo spazio a essa riservato è stato tutto sommato marginale.

Il modello di formazione elaborato da Monge, com'è noto, si diffuse in tutto il mondo, e quasi ovunque nei piani di studio furono inserite discipline umanistiche[8]. Ma, quasi ovunque, esse erano comunque presenti già prima dell'introduzione del nuovo modello.

Ad esempio a Napoli, ove si ebbe forse una vera e propria trasposizione del modello francese, già la *Real Ordinanza per la Regal Accademia Militare*, del 1798, che risente delle novità d'oltralpe, prevede anche insegnamenti umanistici. In particolare, sono previsti: caratteri di scrittura, grammatica e di arte di scrivere, etica, storia, geografia, con relativi professori in numero tutt'altro che trascurabile (due per caratteri, ben otto per grammatica e arte di scrivere)[9].

Ma è solo con l'istituzione della Scuola di Applicazione di Ponti e Strade (4 marzo 1811) e della Reale Scuola Politecnica e Militare (13 agosto1811), che si propone il modello francese nella sua essenza: ossia, scuola politecnica di preparazione scientifica di base e scuola di applicazione per la specializzazione. Nel programma governativo era proprio la Politecnica - concepita come scuola di promozione della cultura scientifica e di formazione propedeutica per gli allievi ingegneri, di qualsiasi tipo e a qualsivoglia scuola di applicazione destinati - a essere la versione napoletana dell'École Polytechnique, anche se il tentativo fallì e la scuola fu soppressa con la restaurazione borbonica[10].

Nel piano di studi vi era grande spazio per le materie umanistiche: le belle lettere, la storia, per le quali era previsto un professore primario su un totale di sette; la grammatica italiana, la grammatica latina e le belle lettere, con due professori secondari, così come per la lingua francese, mentre un altro professore secondario era previsto per geografia locale e storia[11]. E uno degli esami di 'uscita' verteva su grammatica, belle lettere e disegno (esclusa la geometria descrittiva che, insieme alla matematica, era oggetto di altro esame)[12].

Alla Scuola di Applicazioni di Ponti e Strade l'esame di ammissione prevedeva anche una versione dal latino, con analisi grammaticale della traduzione, e una dal francese[13]. Tali prove sono confermate con il ritorno dei Borbone, ma

nella scuola non era previsto l'insegnamento di discipline umanistiche[14].

Non molto diversa è la situazione delle altre scuole per ingegneri in Italia, ove la Legge Casati (1859) sancirà, in ambito universitario, la netta separazione tra cultura umanistica e cultura classica. Al più nei piani di studio resteranno la lingua italiana e quella straniera (come a Milano, presto diventate facoltative), l'economia agraria e l'estimo rurale (come a Bologna, a Torino e a Napoli), l'economia industriale (ad esempio a Genova), le materie giuridiche (con varie denominazioni: da legge a materie legali o materie giudiziarie), tutte considerate comunque di formazione professionale.

Tale situazione si verifica nel contempo in tutta l'Europa, perfino in Germania ove pure vi era una solida tradizione di dialogo tra le due culture. Anzi, nella Germania del primo '800 il fenomeno delle due culture non sembra, addirittura, essere esistito. «Nelle università tedesche, già dagli ultimi anni del Settecento la teologia era stata deposta dal trono di Regina delle Scienze per essere sostituita dalla filosofia: le scienze, inoltre, erano in genere insegnate nelle facoltà di filosofia. […] Tutti coloro che studiavano le scienze dovevano studiare anche un certo numero di tecniche, e viceversa chi studiava filosofia non poteva non studiare la scienza»[15]. Il grande interesse di Johann Wolfgang Goethe (1749-1832) per le scienze naturali non fu, dunque, episodio isolato né anomalo e, dopo un periodo di appannamento, il dialogo tra le due culture riprese. Non è dunque un caso se proprio in Germania, alla metà del '900, si comincia a parlare di filosofia della tecnica[16]. Ma le ricadute sui piani di studio non furono immediate.

È invece forse negli USA - ove il modello mongiano radicò con forza e fu implementato in maniera originale, fino a configurarsi agli occhi di molti quasi come un nuovo modello di formazione degli ingegneri - che l'insegnamento di discipline umanistiche e sociali ha avuto il maggiore spazio nei piani di studio per allievi ingegneri[17].

Già nelle prime scuole di ingegneria, agli inizi del XIX secolo, si puntò su un sistema educativo che combina gli studi in campo civile e militare, con l'obiettivo di formare ingegneri illuminati, che siano non solo tecnici ma anche cittadini consapevoli, pronti alla difesa del paese. Tale filosofia condusse a piani di formazione aperti, flessibili, nei quali sono presenti le scienze umane, quelle naturali, l'economia politica e quella aziendale. Ciò è dovuto anche al fatto che negli States gli studi di ingegneria si inseriscono in un sistema educativo che risente non solo della razionalità illuministica ma anche della forte matrice religiosa di origine medievale che caratterizza la nascente nazione. Di qui la visione per molti versi più ampia, che esce dalle sole questioni tecniche, l'apertura verso altri interessi, che tiene conto pure dell'impegno sociale.

Il dibattito sul ruolo delle discipline umanistiche e sociali si sviluppò soprattutto dopo l'approvazione (1862) da par-

te del Congresso del Morril Act, che stanziava un contributo per finanziare i colleges di agricoltura e di tecniche meccaniche, per cui in un solo decennio il numero di scuole di ingegneria a livello universitario passò da 6 a 70, per raddoppiare nel mezzo secolo successivo. La messa a punto dei programmi di formazione innescò un processo complesso, in continua evoluzione.

I docenti di materie tecniche occupavano nel mondo accademico una posizione subalterna, che ritenevano intollerabile; così come inferiori rispetto ai laureati delle università si sentivano ed erano, nella società, i tecnici usciti dalle scuole che privilegiavano un approccio fondato sull'esperienza pratica. L'urgenza di una preparazione scientifica più solida, avvertita presto nei tradizionali settori dell'ingegneria civile e meccanica, era vitale per le esigenze delle nuove industrie a basi scientifiche, quella elettrotecnica e quella chimica.

Così, negli ultimi tre decenni del secolo le scuole di ingegneria iniziarono ad accrescere il contenuto scientifico dei corsi, a inserire studi genericamente definiti "di cultura" nei piani di formazione, a introdurre i metodi propri della ricerca e della sperimentazione scientifica, orientati anche a risolvere i problemi tecnici. Sicché si stabilì una sorta di nuovo equilibrio tra la componente umanistica, quella scientifica e quella tecnica della formazione. Un equilibrio dinamico e instabile, condizionato dalle contrastanti spinte dei docenti, che rincorrevano maggiore rispettabilità accademica; della libera professione, che chiedeva una preparazione duttile; dei datori di lavoro, che preferivano invece ingegneri con formazione pratica.

Così il problema del ruolo da attribuire ai corsi cosiddetti "culturali"e del loro rapporto con le discipline scientifiche e tecniche restò al centro dell'attenzione per tutto il secolo scorso. Le scuole più antiche, come il Rensselaer Polytechnic Institute, sorte in polemica con i colleges classici, all'inizio rifiutarono di attivare insegnamenti "culturali" di qualsiasi genere. Le nuove scuole ebbero invece un atteggiamento meno rigido: il MIT e la Cornell, per esempio, furono i primi ad avviare corsi di "materie umanistiche" per studenti di ingegneria. Ma il modello di insegnamenti combinati finì poi per imporsi in maniera generalizzata, attesa pure la carenza di preparazione culturale generale degli allievi, che non consentiva loro di studiare adeguatamente le discipline scientifiche.

Con la semplificazione e lo schematismo tipici degli statunitensi, nei primi tempi si esagerò; accanto a insegnamenti quali storia, letteratura, economia politica, lingue, alcuni attivarono anche corsi di filosofia morale, retorica, storia antica, studi biblici, e simili. A partire dalla fine del '800 si avviò così un lungo e ampio dibattito tra coloro che volevano eliminare le materie umanistiche e chi le giudicava invece indispensabili.

Nuovi spunti di riflessione furono offerti dalla nascita delle scienze sociali: economia, scienze politiche, psicologia e sociologia. Ci si rese conto infatti che esse, ben oltre l'obiettivo di formare ingegneri più colti e raffinati, poteva-

no contribuire alla formazione di ingegneri in grado di trattare con gli uomini, oltre che con le cose: come pareva ormai necessario. Si pervenne, così, a ridefinire la collocazione delle "materie culturali", eliminando quelle più tradizionali e inserendo le nuove.

Alle soglie del '900 negli States si avverte anche l'esigenza di una sorta di omogeneizzazione degli studi di ingegneria, i cui piani fino a quel momento erano affidati alla pressoché totale autonomia delle singole scuole, più che dei singoli stati. Un ruolo importante in questa direzione lo svolse la SPEE - Society for the Promotion of Engineering Education - fondata nel 1894, a Chicago, da docenti di ingegneria.

Nel primo decennio la Società si occupò soprattutto della rispettabilità accademica dei docenti, della relazione tra materie scientifiche e tecniche, del rapporto tra formazione e lavoro. In seguito si andò alla ricerca della *ideal engineering education* vista, soprattutto, come formazione adatta all'industria.

Negli anni Venti del '900 la SPEE promosse un'imponente ricerca sull'insegnamento tecnico nel corso della storia, con un'analisi comparativa tra gli studi in Europa e in America[18]. I risultati spinsero verso la stretta collaborazione tra industria e istituzioni educative e la presenza delle discipline umanistiche e delle scienze sociali nei piani di studio, che il direttore dell'indagine - William E. Wickenden (1882-1947): ingegnere elettrotecnico, professore all'Università del Winsconsin e al MIT - riteneva funzionale agli obiettivi dell'ingegneria.

I contenuti della formazione, intanto, si dilatarono per l'affermarsi dei concetti di "ingegneria sociale", nato dalle iniziative di Frederick W. Taylor (1856-1915) e dallo *scientific management*, e della cosiddetta "ingegneria umana", volta al controllo del fattore umano della produzione. Sconfitto il taylorismo, verso la metà del secolo l'insegnamento fu orientato sempre più verso l'elemento umano e i fattori sociali che erano in rapporto con la professione.

Non a caso il preambolo dello statuto del Consiglio degli Ingegneri Americani definiva l'ingegneria «la scienza del controllo delle forze e dell'impiego dei materiali della natura» e ancora «la tecnica dell'organizzazione e della direzione delle attività umane a esse connesse». Recependo così le posizioni di Charles R. Mann (1869-1942) - professore di fisica all'Università di Chicago e poi di pedagogia al MIT - che parlava di "dilatazione dello spirito ingegneristico", e riteneva che «i problemi della conservazione delle risorse umane sono problemi di ingegneria non meno di quelli della conservazione delle risorse materiali». E quelle di Wickenden, il quale sosteneva che «è difficile pensare che le scuole di ingegneria possano limitare i loro interessi alle scienze matematiche e fisiche, ai problemi della progettazione e della fabbricazione e ai particolari specialistici dell'economia della progettazione. L'ingegneria finirà per includere tra i suoi attrezzi tutte le scienze, una per una, mano a mano che esse saranno diventate abbastanza affidabili da offrire risultati economicamente prevedibili».

Nel 1940 un nuovo rapporto della SPEE fissava nel 20% la quota minima da dedicare alla sociologia, all'economia, alla psicologia, alle scienze politiche e alla storia (oltre i corsi relativi alla stima dei costi, alla finanza e all'organizzazione del lavoro). Tale scelta si deve non tanto ai docenti di scienze umane e sociali delle scuole di ingegneria quanto piuttosto all'impulso degli ingegneri professionisti e di quelli che lavoravano nell'industria, consapevoli del fatto che per esercitare responsabilità direttive fosse necessaria una formazione ampia. La soglia che fu raggiunta negli anni Cinquanta; nel decennio successivo al MIT gli studenti di ingegneria dovevano seguire almeno un insegnamento all'anno di *humanities*: storia, rapporti internazionali, storia e filosofia della scienza, sociologia ecc., fino ad "apprezzamento della musica" (con gli orchestrali della Boston Philharmonic Orchestra che davano dimostrazioni in aula). Nel seguito, però, molti di quegli insegnamenti diventarono facoltativi.

Alla metà del XX secolo si è delineato così compiutamente un modello di formazione degli ingegneri che, con poche varianti, è giunto fino ai nostri giorni.

In Europa, intanto, la formazione dell'ingegnere è andata specializzandosi sempre più, rinunciando a qualsiasi apertura verso la cultura umanistica. In Italia, con la costituzione delle facoltà di architettura, la situazione è forse peggiore che altrove: a ingegneria si insegnano ormai solo discipline scientifiche e tecniche, anche per gli ingegneri civili ed edili.

Alcuni studiosi lanciano allarmi, ma restano inascoltati. José Ortega y Gasset (1883-1955) è categorico. L'uomo medio europeo non possiede «il sistema vitale delle idee sul mondo e sull'uomo corrispondenti […] al tempo. Codesto personaggio medio è il nuovo *barbaro regredito, regredito rispetto alla sua epoca, arcaico e primitivo* in rapporto alla terribile attualità e datazione dei suoi problemi. Questo nuovo barbaro è principalmente il professionista, più dotto che mai, ma anche più incolto – l'ingegnere, il medico, l'avvocato, lo scienziato. […] L'esclusiva preparazione professionale e specialistica, *poiché non è stata dovutamente compensata*, ha ridotto a pezzi l'uomo europeo, che per tale motivo è assente da tutti i punti in cui pretende e deve essere. Nell'ingegnere c'è l'ingegneria; che è soltanto una parte ed una dimensione dell'uomo europeo; ma questi, che è un *integrum*, non è frammentariamente "ingegnere"»[19].

L'analisi di Ortega y Gasset è impietosa; per quanto più volte criticata, mostra oggi una modernità sorprendente. Ancora di più per gli europei, impegnati nella grande avventura della costruzione di un'Unione che sia innanzi tutto di cittadini e nella creazione dello spazio europeo dell'istruzione superiore.

«Bisogna ricostruire con i pezzi dispersi - *disiecta membra* - l'unità vitale dell'europeo. Bisogna ottenere che ogni individuo o - per evitare utopie - molti individui riescano ad essere, ciascuno da solo, quest'uomo intero. Chi può fare ciò

se non l'Università?», si chiede Ortega y Gasset, il quale guarda quindi con fiducia al fatto che «all'estero, si annuncia con grande vigore un movimento secondo il quale l'insegnamento universitario è *prima di tutto* insegnamento della cultura o trasmissione alla nuova generazione del sistema di idee sul mondo e sull'uomo che è giunto a maturità nella generazione anteriore. [Per cui] l'insegnamento universitario deve realizzare queste tre funzioni: I. Trasmissione della cultura. II. Insegnamento delle professioni. III. Ricerca scientifica ed educazione dei nuovi uomini di scienza»[20].

Ma l'urgenza del problema si manifesterà solo nella seconda metà del '900 quando, per effetto proprio dello sviluppo tecnologico, ci si comincia a interrogare sulle questioni etiche dell'operare e si profila l'esigenza che l'ingegnere debba avere consapevolezza del suo operato. Si aprono così nuovi scenari per l'insegnamento delle discipline umanistiche, in primo luogo proprio l'etica, ma anche l'antropologia, la sociologia e la filosofia della scienza e della tecnica, la storia dell'ingegneria.

Nel 1976 all'École Polytechnique viene costituito un *Département Humanités et Sciences Sociales*. Sul finire del secolo gli osservatori e i docenti più attenti colgono l'emergere di una profonda crisi nell'ingegneria e nella formazione degli ingegneri. L'ingegnere comincia a sentirsi, e a essere avvertito, inadeguato per il ruolo che è chiamato a svolgere e avverte che ciò è dovuto proprio alla sua formazione troppo specialistica, sempre più fondata solo sulla base delle scienze esatte e astratte.

«Ce que l'ingénieur a gagné en esprit scientifique, il l'a perdu en ouverture d'esprit ; n'est-il pas temps, en cette fin de XX^{e} siècle, s'il veut encore jouer un rôle dans le progrès technique, que l'ingénieur retrouve, auprès de ses illustres prédécesseurs, une préoccupation et une curiosité universelles, face aux mutations qui touchent aujourd'hui tous le pans de la connaissance humaine?», notava in quegli anni Bruno Jacomy[21].

D'altra parte è la stessa evoluzione tecnologica su basi scientifiche che impone una formazione a più ampio spettro. «Nous sommes passés d'une technique qui pensait fondamentalement en termes de maîtrise de l'exécution à une technique qui s'interroge sur les procédures de conception et sur les rationalisations possibles de ces procédures. […] l'on passe aujourd'hui d'un âge de la maîtrise de flux à un âge de la maîtrise des niveaux de décision, maîtrise passant par la hiérarchisation logique des phénomènes», notava nel 1994 Antoine Picone[22].

Al MIT si fa largo l'idea della "doppia alfabetizzazione" dell'ingegnere, che fa riferimento - come disse Kenneth Keniston, docente al MIT, in una Conferenza a Torino - a un sistema di «pensiero contestuale, approssimativo, non riduttivo e integrativo in campi quali la filosofia, la letteratura, la storia, le arti e alcune scienze sociali»[23].

Ma la questione è più ampia della solo formazione degli ingegneri e inve-

ste l'intera istruzione superiore. Parallelamente, infatti, comincia a delinearsi la consapevolezza che l'obiettivo vero della formazione è quello della ricomposizione dei saperi, mediante la saldatura della frattura tra le due culture.

In questa prospettiva nel 1994 Edgard Morin, il pittore Lima de Freitas (1927-1998) e il fisico teorico Basarab Nicolescu sottoscrivono la "Carta della Transdiciplinarità"[24]. In essa si sottolinea che la «transdisciplinarità è complementare all'approccio disciplinare; [che la sua visione] cerca l'apertura delle discipline a ciò che le accomuna e a ciò che le supera» (art. 3); «che supera il campo delle scienze esatte, per spingerle al dialogo e alla riconciliazione, non solo con le scienze umane ma anche con l'arte, la letteratura, la poesia e l'esperienza interiore» (art. 5); che «non c'è ambiente culturale privilegiato rispetto agli altri» (art. 10); che «un'educazione autentica non può privilegiare l'astrazione, come strumento di conoscenza, rispetto ad altri. Essa deve insegnare a contestualizzare, concretizzare e globalizzare» (art. 11).

Nicolescu tornerà sul tema[25], così come Morin che metterà in guardia da quelle che definisce iperspecializzazioni, sottolineando la necessità di una formazione globale anche per i professionisti. «È necessario promuovere una conoscenza capace di cogliere i problemi globali e fondamentali per inscrivere in essi le conoscenze parziali e locali. Questo è un problema capitale e sempre misconosciuto», ha scritto ad esempio cinque anni dopo nel volume pubblicato dall'UNESCO, il cui testo è stato sottoscritto da personalità universitarie e funzionari del mondo intero[26].

E se per Ortega Y Gasset «la funzione *primaria e centrale* dell'Università è l'insegnamento delle grandi discipline culturali [ossia] 1. Immagine fisica del mondo (Fisica). 2. I temi fondamentali della vita biologica (Biologia). 3. Il processo storico della specie umana (Storia). 4. La struttura e il funzionamento della vita sociale (Sociologia). 5. La visione dell'Universo (Filosofia)»[27], Morin si discosta poco da quest'indicazione, che si limita forse ad aggiornare. Per lui, infatti, i sette insegnamenti che indica come fondamentali nella formazione sono: la cecità della conoscenza, i principi di una conoscenza pertinente, la condizione umana, l'identità terrestre, affrontare le incertezze, la comprensione, l'etica del genere umano.

Nel contempo, in vari convegni di organismi per la formazione dell'ingegnere, si inizia a parlare di etica nella formazione degli ingegneri.

Nel 1997 l'ABET, l'Associazione statunitense di accreditamento, nell'adottare i nuovi criteri per accreditare i corsi di studio di ingegneria - *EC2000-Engineering Criteria 2000* - effettua una svolta che definisce rivoluzionaria, ponendo l'accento su ciò che si è appreso, piuttosto su ciò che si è insegnato, e giunge a definire che i nuovi obiettivi della formazione debbano essere volti alla preparazione di ingegneri «tecnicamente competenti ed eticamente sensibili»[28]. Nel 2000, la National Academy of Engineering ritiene che l'aspet-

to emergente più importante nella formazione professionale sia ormai la *engineering ethics*.

In tale quadro si colloca l'esperienza italiana. In Italia, infatti, l'inserimento di insegnamenti di discipline umanistiche e sociali si verifica solo alla fine degli anni Ottanta del '900. Pioniere è il Politecnico di Torino, ove si iniziò con la storia dell'ingegneria, per poi andare oltre. Convinti «che soltanto una presa di coscienza delle proprie radici culturali come pure dei contesti che pongono l'ingegnere a stretto contatto con altre professioni e funzioni sociali» vennero attivate discipline «che permettessero agli studenti di affrontare con maggiore ampiezza di orizzonti le nuove dimensioni del progettare e in generale dei contesti tecnologici e produttivi»[29].

Nel decennio successivo, insieme all'attivazione di vari corsi di scienze umane nei piani di studio degli allievi ingegneri, fu avviata una serie di attività di ricerca specifica, volta a consolidare le conoscenze e a raggiungere un'autonomia negli statuti epistemologici. In tale ambito grande spazio è riservato alla storia, atteso che l'ingegneria «è stata riconosciuta ufficialmente come "scienza" soltanto in anni assai recenti e proprio per essere scienza ha bisogno di fondare il proprio sapere anche su una base storica»[30].

Nel 2002, dopo l'esperienza dello ISSU (Istituto di Studi superiori per le Scienze Umane), fu istituito il SUST (Scienze dell'Uomo e della Società Tecnologica), il cui coordinamento è stato affidato a Vittorio Marchis, il vero promotore e animatore di queste iniziative. Nell'anno accademico 2005-2006 erano attivati i seguenti insegnamenti: Storia dell'ingegneria, Storia della tecnologia, Storia dell'informatica, Storia dell'industria in Italia, Storia e sociologia delle comunicazioni di massa, Storia della cultura materiale.

Qualche anno dopo su strada analoga si è incamminato anche il Politecnico di Milano, per iniziativa della Facoltà di Ingegneria Industriale che, attivata la riforma degli studi richiesta dal D. M. 509/1999, varò il cosiddetto «progetto 2,5», con l'inserimento in via sperimentale di insegnamenti di discipline umanistiche, per 2,5 CFU a scelta degli allievi, nei piani di studio. Il successo della proposta ha spinto a varare un piano organico, con motivazioni simili a quelle dei colleghi torinesi. «È tra i compiti di una Scuola Politecnica riprendere gli insegnamenti del passato e lavorare per l'unità della cultura», scrive infatti Quirico Semeraro, preside della Facoltà, nel presentare il progetto per il successivo anno accademico[31].

E Adriano Paolo Morando, del Dipartimento di Elettrotecnica del Politecnico, esplicita e approfondisce le ragioni di tale scelta. «Una cultura che prescinda dal confronto con la scienza è infatti semplice *erudizione d'altri tempi*. Reciprocamente, una formazione scientifica che ignori il proprio fondamento umanistico è puro *addestramento*. Consegue pertanto, per l'ingegnere, la necessità di non essere escluso da quella preziosa opera di integrazione e di arricchimento che, in modo esclusi-

vo, può provenire da una visione integrata e trasversale della conoscenza. […] Al Politecnico, per far questo, occorre andare con determinazione nella direzione di un recupero della componente umanistica dello scienziato e del tecnico di professione»[32].

Si arriva così, nell'a.a. 2005-2006, all'attivazione dei corsi di: Fondamenti di filosofia della scienza. Il problema del metodo e la logica della scoperta scientifica; Verità e teoria della corrispondenza; Estetica. Percezione, tecnica e arte; Etica. Morale e metamorale; Filosofia teoretica; Archeometallurgia; Storia della matematica; Storia della meccanica; Storia ed Epistemologia delle Scienze Elettromagnetiche; Storia dei trasporti; Storia della tecnica e dei processi di industrializzazione.

Nelle altre facoltà non si sono, invece, registrate iniziative altrettanto significative. Ad esempio, la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Padova ha attivato per alcuni anni un corso di storia dell'ingegneria dell'informazione e sulla storia della fisica, poi disattivato con la morte del docente. La Facoltà di Ingegneria di Firenze ha attivato, sperimentalmente per l'a.a. 2003-2004, un insegnamento di Storia dell'Ingegneria, opzionale, di 3 CFU – collocato al terzo anno dei corsi di primo livello o al primo dei corsi di laurea specialistica – svolto come insieme di conferenza tematiche, con argomenti generali o specifici[33]. A partire dall'a.a. 2005-2006 la Facoltà di Ingegneria di Salerno ha attivato un corso di Storia dell'industria meridionale, rivolto agli studenti delle classi di ingegneria industriale. Altre facoltà (Brescia e Genova) hanno invece organizzato seminari sulla storia della tecnologia e della diverse discipline scientifiche, piuttosto che corsi di insegnamento. In tutti questi casi, però, manca un programma organico di apertura alle discipline umanistiche.

In effetti è soprattutto sui temi della storia dell'ingegneria che cominciava a farsi strada in Italia un crescente interesse, testimoniato da varie iniziative, a livello di convegni ed editoriali. Interesse che nel marzo 2004 ha spinto alcuni colleghi napoletani alla costituzione dell'AISI: Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria.

A valle del I Convegno sulla Storia dell'Ingegneria (Napoli, 8-9 marzo 2006), l'AISI chiese alla Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria di farsi promotrice dell'inserimento di insegnamenti di storia dell'ingegneria nei piani di curricula dei diversi corsi di studio. La CoPI affrontò il tema nell'Assemblea di giungo 2006. Rilevato con soddisfazione l'esistenza di varie iniziative in merito da parte di diverse facoltà, si convenne tuttavia che si era in presenza di esperienze disperse, da analizzare al fine anche di verificare l'esistenza delle condizioni per una base comune per l'inserimento di alcuni corsi nei curricula. E fu sollevata l'esigenza di affrontare il discorso sull'insegnamento della storia nell'ambito di un più ampio dibattito sulla cultura umanistica, che pure stava suscitando interesse in molte facoltà. Alcuni presidi manifestarono la convinzione che i temi in questione

debbano essere trattati in seminari di studio e nell'ambito dell'attività culturale che gli atenei offrono, svincolati da insegnamenti ufficiali, anche da quelli a scelta degli studenti; fermo restando, ovviamente, la libertà di scelta delle singole facoltà. Fu, comunque, deciso di istituire una Commissione sull'argomento, che avrebbe dovuto operare insieme all'AISI.

L'auspicio è che si possa discutere presto, magari a partire dalle singole facoltà, una proposta organica in merito. La questione infatti è diventa di nuovo attuale, nell'ambito della revisione dell'offerta formativa che le facoltà di ingegneria stanno affrontando in attuazione del D. M. 270/2004 e dei DD. MM. 16 marzo 2007 sulle nuove classi di laurea e di laurea magistrale. E non può essere più risolta, come nel passato remoto e recente, accantonandola senza nemmeno discuterla, come se niente fosse successo in questi anni, come se il tradizionale algoritmo degli ingegneri fosse ancora sufficiente per il loro operato.

«Il problema fondamentale per la formazione degli ingegneri è quello di studiare metodi per preparare i laureati ad affrontare in modo più adeguato un mondo al tempo stesso complesso e confuso, senza tuttavia perdere i vantaggi derivanti da quello che è un brillante e utile strumento per la soluzione dei problemi, l'algoritmo», affermava Kenistone nel 1996, a conclusione della citata Conferenza sulla crisi dell'algoritmo degli ingegneri. Il momento per farlo è venuto anche per noi.

[1] B. Gille, *Les ingénieurs de la Renaissance*, Paris, Hermann, 1978, pp. 10-11.

[2] B. Jacomy, *Une histoire des techniques*, Paris, Éditions du Seuil, 1990, p. 197.

[3] Sull'École Nationale des Ponts et Chaussées cfr. A. Picon, *L'invention de l'ingénieur moderne. L'École des Ponts et Chaussées 1747-1851*, Paris, Presses dell'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1992; sulla formazione dell'ingegnere negli anni che precedono l'istituzione dell'École Polytechnique, cfr. A. Picon, *Architectes et ingénieurs au siècle des lumières*, Marseille, Parenthèses, 1988.

[4] A. Picon, *Architectes et ingénieurs…*, cit., p. 104.

[5] *Ivi*, pp. 104-105.

[6] Sulla nascita dell'École Polytechnique, si vedano: A. Fourcy, *Histoire de l'École polytechnique*, Paris, 1828, riedizione, Paris, Belin, 1987; J. Langins, *La République avait besoin de savants. Les débuts de l'École polytechnique: l'École centrale des Travaux publics et les cours révolutionnaires de l'an III*, Paris, Belin, 1987; P. Miquel, *Les polytechniciens*, Paris, Dunod 1994 e V. Cardone, *Gaspard Monge, scienziato della rivoluzione*, Napoli, Cuen, 1996.

[7] Cfr. A. Chervel, *Les études littéraires dans la formation polytechnicienne*, in B. Belhoste - A. Dahan Dalmedico - A. Picon (sous la direction de), *La formation polytechnicienne 1794-1994*, Paris, Dunod, 1994, pp. 121-139.

[8] Cfr. V. Cardone, *Gli studi di ingegneria in età contemporanea*, in V. Cardone - F. P. La Mantia (a cura di), *La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia*, Salerno, Cues, 2006.

[9] Cfr. *Ordinanza per la Regal Accademia Militare*, Napoli, Nella Stamperia Reale, 1798, Cap. I, art. 1. Il Regolamento annesso all'Ordinanza si sofferma sui contenuti degli insegnamenti, precisando ad esempio come la logica «dev'esser spogliata da tutte le astrazioni, facendola consistere ne' puri canoni, o sieno le regole di ragionare in modo, che si conoscano le teoriche della logica pratica, che si conoscono colla Geometria» (*ivi*, Cap. IV, art. III).

[10] Cfr. V. CARDONE, *La nascita della scuola napoletana di ingegneria nel contesto internazionale*, in S. D'AGOSTINO e A. BUCCARO (a cura di), *Dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria*, Benevento, Hevelius Edizioni, 2003, pp. 75-107.

[11] Nel complesso, per le discipline umanistiche si prevedevano 1 professore primario su 7 e 5 professori secondari su 14: ossia ben 6 professori su un totale di 22 (cfr. R. D. 13 agosto 1811, art. 5).

[12] *Ivi*, art. 85.

[13] Cfr. R. D. 4 marzo 1811, art. 4.

[14] Sui programmi di insegnamento dei primi anni della Scuola di Applicazione, cfr. UNIVERSITÀ DI NAPOLI, FACOLTÀ DI INGEGNERIA, *La scuola di Ingegneria in Napoli. 1811-1967*, a cura di G. RUSSO, Napoli, Istituto Editoriale del Mezzogiorno, 1967.

[15] D. M. KNIGHT, *La scienza tedesca nel periodo romantico*, in M. P. CROSLAND (a cura di), *The Emergence of Science in Western Europe*, London and Basingstoke, The MacMillan Press Ldt., 1975; trad. it., *L'affermazione della scienza moderna in Europa*, Bologna, Società editrice il Mulino, 1979, p. 178.

[16] Sull'argomento, cfr. M. T. RUSSO, *Il bisogno di filosofia nella formazione dell'ingegnere. Evoluzione storica e risvolti antropologici*, in *Storia dell'Ingegneria*, Atti del 1° Convegno Nazionale (Napoli, 8-9 marzo 2006) a cura di A. Buccaro - G. Fabricatore - L. M. Papa , Napoli, Cuzzolin editore, 2006, tomo primo, pp. 195-206.

[17] Sul cosiddetto modello di formazione statunitense, cfr. V. CARDONE, *I modelli stranieri di formazione degli ingegneri*, in V. CANTONI - A. FERRARESI (a cura di), *Ingegneri a Pavia tra formazione e professione. Per una storia della Facoltà di Ingegneria nel quarantesimo della rifondazione*, Milano, Cisalpino-Istituto Editoriale Universitario, 2007, pp. 3-34. Sulle ragioni del radicamento del modello di formazione mongiano negli USA, cfr. V. CARDONE, *L'avvio degli studi di ingegneria in America*, in *Storia dell'Ingegneria*, cit., pp. 267-277.

[18] Cfr. W. E. WICKENDEN, *Report of the Investigation of Engineering Education*, Pittsburg, Society for the Promotion of Engineering Education, 1930.

[19] J. ORTEGA Y GASSET, *Misión de la Universidad*, Madrid, "Revista de Occidente en Alianza Editorial", 1982, pp. 11-79; trad. it., *La missione dell'Università*, Napoli, Guida Editori, 1991, pp. 46-50. Il saggio è la post redazione della conferenza tenuta all'Università di Madrid, su invito della Federazione Universitaria, il 9 ottobre 1930. I corsivi, anche nei passi citati in seguito, sono di Ortega y Gasset.

[20] *Ivi*, p. 50.

[21] B. JACOMY, *op. cit.*, p. 202.

[22] A. PICON, *Le dynamisme des techniques;* Entretien avec Antoine Picon, interrogé par Ruth Sheps, in AA. VV., *L'Empire des techniques*, Paris, Éditions du Seuil, 1994, p. 34.

[23] K. KENISTON, *La crisi dell'algoritmo degli ingegneri*, Conferenza tenuta al Politecnico di Torino il 17 ottobre 1996.

[24] La Carta fu adottata il 6 novembre 1994 dai partecipanti al Primo Congresso Mondiale di Transdisciplinarità, svolto in Portogallo, al Convento da Arràbida dal 2 al 7 novembre 1004.

[25] Cfr. ad esempio B. Nicolescu, *La Transdiciplinarité. Manifeste*, Paris, Éditions du Rocher, 1999.

[26] E. Morin, *Le sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*, Paris, Unesco, 1999; trad. it., *I sette saperi necessari all'educazione del futuro*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2001, p. 12.

[27] J. Ortega y Gasset, *op. cit.*, p. 61.

[28] Cfr. *A Proud Legacy of Quality Assurance in the Preparation of Technical Professionals: ABET 75th Anniversary Retrospective,* Edited by John W. Prados, 2007.

[29] Cemed-Centro Museo e Documentazione Storica del Politecnico di Torino, *La Stoia dell'Ingegneria al Politecnico di Torino*, Torino, Cemed, 2006, p. 1.

[30] *Ivi*. Sull'argomento, cfr. anche V. Marchis, *L'Ingegneria alla ricerca delle sue fonti*, in *L'Ingegneria e la sua storia. Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel xix e xx secolo*, Atti del Convegno (Salerno-Fisciano, 12-13 dicembre2 006), a cura di A. Di Leo, Cava de' Tirreni, Marlin, 2007, pp. 39-46.

[31] Q. Semeraro, *Introduzione*, in Politecnico di Milano, *Insegnamenti di cultura scientifica, tecnica e umanistica*, Milano, Politecnico di Milano, 2006, p. 3.

[32] A. P. Morando, *Introduzione agli insegnamenti di storia della Scienza e della Tecnica*, in Politecnico di Milano, *Insegnamenti…*, cit., pp. 19-20.

[33] Cfr. F. Angotti - M. Cozzi - G. Pelosi - S. Reale - G. Manes, *Idee per un corso di 'Storia dell'Ingegneria' presso l'Università di Firenze*, in *Storia dell'Ingegneria*, cit., pp. 465-469.

Storia dell'Ingegneria

Atti del 2° Convegno Nazionale

Napoli, 7-8-9- aprile 2008

tomo secondo



CUZZOLIN EDITORE

ALFREDO BUCCARO

Ingegneria tra scienza e arte: il Codice Corazza *e la permanenza del modello vinciano nella cultura napoletana*

Recentemente ho avuto modo di annunciare in più occasioni lo studio in corso di un ricco *corpus* documentario, per il quale si è richiesto un approccio più generale agli scritti di Leonardo; impresa questa, come si comprende, certamente non facile[1].

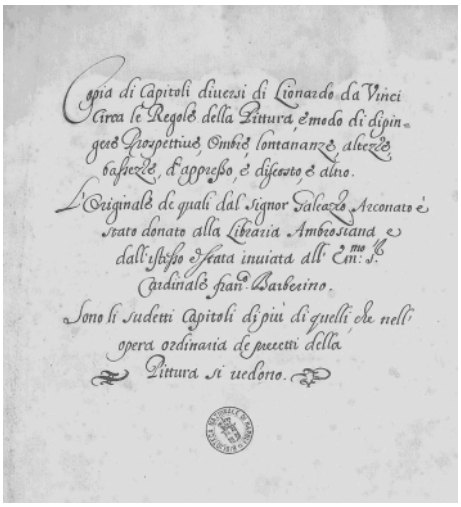

Copia di Capitoli diuersi di Lionardo da Vinci
circa le Regole della Pittura, e modo di dipin-
gere Prospettiue, Ombre lontananze, altezze,
bassezze, d'appresso, e discosto, & altro.
L'Originale de quali dal Signor Galeazzo Arconato è
stato donato alla Libraria Ambrosiana, e
dallistesso spesso inuiata all'Em.mo S.
Cardinale gran Barberino.
Sono li sudetti Capitoli di più di quelli che nelli
opera ordinaria de precetti della
Pittura si vedono.

Fig. 1 – Codice Corazza, 1640 ca., frontespizio. Napoli, Biblioteca Nazionale

Sulla base di tali ricerche, che quanto prima daremo alle stampe, in questa sede ci proponiamo di tratteggiare in sintesi le ragioni dell'influenza vinciana e della diffusione degli studi su Leonardo nel fermento illuministico della Napoli borbonica, per poi analizzarne gli effetti sulla formazione tecnico-scientifica nell'ambito della nuova Scuola d'Ingegneria tra Otto e Novecento.

Faremo dunque cenno di un prezioso Codice proveniente dal fondo borbonico della Biblioteca Nazionale di Napoli[2], di cui sto curando l'edizione critica e la stampa facsimilare con il patrocinio e la collaborazione della stessa biblioteca e che chiameremo 'Codice Corazza' dal nome di chi ne fu il possessore, ma anche attento studioso, sul volgere del Settecento.

Si è reso innanzitutto necessario un esame approfondito dell'intera 'famiglia' di apografi di cui il Codice fa parte, ossia delle trascrizioni seicentesche dei manoscritti di Leonardo giunti in possesso, proprio a partire dagli inizi del XVII secolo, della Biblioteca Ambrosiana di Milano, in parte donati dal cardinale Federico Borromeo, in parte dal conte Galeazzo Arconati[3]. Purtroppo i codici furono depredati da Napoleone nel 1796 e sono da allora custoditi presso l'Institut de France, tranne il Codice Atlantico, l'unico restituito nel 1815: alcuni dei manoscritti presenti in Francia risultano tuttora mutili dei fogli ivi sottratti agli inizi dell'Ottocento e solo in parte recuperati o ricostruiti proprio attraverso gli apografi. Tali trascrizioni, tra cui quelle restituite all'Ambrosiana in luogo degli originali, rientrano in una vasta iniziativa che ebbe come protagonisti, tra il 1637 e il 1640, da un lato il conte Arconati e i copisti dell'Ambrosiana, dall'altro

Cassiano dal Pozzo, tra i massimi esponenti del movimento artistico del barocco romano, intellettuale e appassionato di pittura, mecenate e collezionista d'arte, segretario a Roma del potente cardinale Francesco Barberini e noto per l'imponente attività di raccolta e riproduzione di opere dell'antichità confluita nel suo famoso *Museo Cartaceo*[4].

Dal Pozzo fu impegnato, in particolare, in due importanti lavori paralleli: da un lato la redazione, sulla base di apografi più antichi presenti a Roma e a Milano, e attraverso riscontri sugli originali ambrosiani, di un testo in forma 'abbreviata' finalizzato alla pubblicazione del *Trattato della Pittura* (edito poco dopo a Parigi, nel 1651, con le preziose illustrazioni di Poussin)[5]; dall'altro, su precisa richiesta del Barberini, la raccolta e selezione delle trascrizioni curate dall'Arconati, comprendenti il 'meglio di Leonardo' presente all'Ambrosiana. Si trattò in questo caso di un vero e proprio compendio, in forma di *digest* finalizzato al programma di una stampa divulgativa, degli scritti vinciani non solo in materia di pittura, ma anche di teoria della rappresentazione della natura e del paesaggio, di ottica, di scienze naturali, di architettura e ingegneria civile e militare, di meccanica e di idraulica. Divulgare quindi una selezione apografa degli originali, trascritti dalla difficile scrittura 'mancina' di Leonardo e in più corredati di immagini fedeli o addirittura di migliore qualità rispetto agli autografi leonardeschi, in qualche caso ormai poco leggibili, rappresentò un'operazione culturale degna del Barberini. Ma la prevista edizione a stampa non ebbe seguito, restando il testo finale, individuabile per i motivi che diremo proprio nel Codice napoletano, presso la biblioteca di dal Pozzo a Roma: tra alterne vicende il manoscritto giungerà a Napoli intorno al 1777, rendendosi disponibile, agli inizi dell'Ottocento, per un primo - ancorché sfortunato - tentativo editoriale e infine per il nostro più modesto lavoro.

L'importanza degli apografi vinciani è stata più volte sottolineata, sia per il valore intrinseco delle trascrizioni, sia per l'opportunità che offrono, come si è detto, di sostituire in più d'un caso gli originali perduti. Per quanto riguarda il Codice presente a Napoli, della sua esistenza si sapeva, essendo stato segnalato da Carlo Pedretti sin dal 1957[6], poi da Kate Trauman Steinitz[7], infine da Alessandro Vezzosi[8]; esso però, ritenuto semplice copia degli altri apografi dell'Ambrosiana, non è mai stato studiato in dettaglio, né è stata analizzata l'affascinante vicenda settecentesca che emerge dall'inedita documentazione del fondo Corazza. Oggi, proprio alla luce del suddetto corpus documentario e attraverso un confronto tra il nostro Codice, l'intera 'famiglia' degli apografi seicenteschi custoditi a Milano - più volte indagati in rapporto agli originali vinciani[9] ma mai all'*intera* opera di selezione e trascrizione posta in atto da dal Pozzo - e le più recenti edizioni degli originali superstiti di Leonardo, possiamo affermare che si tratta in realtà del documento definitivo redatto da Cassiano per il Barberini: una *summa* in veste sontuosa,

dalla grafia elegante e corredata di disegni fedeli agli originali, di tutte le parti contenute negli altri apografi, ove non appaiono mai contestualmente, ma piuttosto allo stato di elaborazione intermedia[10]. Tale elaborato, se effettivamente consegnato al cardinale, si sarebbe aggiunto alla trascrizione - che si conserva oggi nella Biblioteca Apostolica Vaticana - redatta nel 1643 dal figlio dell'Arconati, il frate Luigi Maria, dei nove libri *Del moto e misura dell'acqua*, già fatta pervenire al Barberini e anch'essa finalizzata all'edizione a stampa. Invece il nostro Codice dovette restare per qualche ragione nella famosa biblioteca di dal Pozzo, finché essa non fu acquistata dagli Albani nel 1721, per terminare mezzo secolo più tardi nelle mani di Vincenzo Corazza, probabilmente attraverso gli amici intelletuali dell'Arcadia romana.

Pur essendo state pubblicate, in varie occasioni, trascrizioni dei codici di Francia, esse si riferiscono pur sempre alle parti superstiti di quei manoscritti; i disegni, inoltre, vi appaiono in più d'un caso difficilmente leggibili. La documentazione in esame contiene dunque una messe di testi e di grafici su cui potrà focalizzarsi l'attenzione degli studiosi di storia dell'arte e dell'architettura, nonché di storia delle scienze e dell'ingegneria[11].

Gli apografi in questione appartennero, come si è detto, al letterato e scienziato illuminista Vincenzo Corazza; nato a Bologna nel 1721, già docente presso l'Accademia Clementina di quella città, a partire dal 1770 si trasferì prima a Roma, poi a Napoli, ove operò in qualità di precettore dei figli del duca di Gravina e, dal 1783, degli infanti di Ferdinando IV, divenendo infine maestro del principe ereditario Francesco fino al 1798, anno presunto della sua morte[12].

I documenti del fondo Corazza, autentico spaccato della cultura illuminista italiana, suscitano enorme interesse con riferimento alla caratura intellettuale del personaggio, una figura sino ad oggi mai approfondita, al cui studio nei nostri ambiti d'interesse si potrà in seguito aggiungere quello della produzione letteraria, attraverso i testi, in maggioranza ancora inediti, conservati presso la Biblioteca Nazionale di Napoli e quella dell'Archiginnasio di Bologna, di cui fu membro. Una miriade di connessioni, peraltro, legano questo personaggio al mondo dell'arte e dell'architettura del Settecento europeo: fu infatti amico di Mengs, di Parini, di Pindemonte, di Quarenghi e di tanti altri uomini di lettere, artisti e architetti negli anni di particolare fervore artistico, letterario e scientifico favorito dalla diffusione dell'*Encyclopédie*. Intellettuale raffinato, poeta, matematico, filosofo, storico e critico dell'arte e dell'architettura, traduttore di testi latini e greci, pastore arcade, abile nell'eloquio come con la penna, compositore di testi teatrali e di poemi come l'*Orfeo* e l'*Inno al sole*, di trattati di grammatica, pittura, prospettiva, retorica, algebra, e persino di musica, fu sempre prodigo di preziosi consigli nei confronti degli studiosi che con lui intrattennero una fitta corrispondenza, di cui si trova riscontro nei carteggi.

In tal senso, prima ancora della passione vinciana, molto ebbe in comune con Cassiano dal Pozzo, specie per il mecenatismo e gli enciclopedici interessi che lo animarono, proprio come l'erudito ministro del cardinale Barberini un secolo prima[13]. Ma, oltre a pubblicare assai poco in confronto a un'enorme produzione di scritti, va notata la scarsa fortuna critica spettata a un personaggio riconosciuto dai contemporanei di altissima levatura intellettuale, eppure di carattere introverso e poco amante degli onori; tanto che quando, per la sua profonda conoscenza di Leonardo, fu invitato a redigerne la voce per la prima edizione italiana dell'*Encyclopédie*, pubblicata a Livorno tra il 1770 e il 1779 - di cui si conserva copia nella biblioteca della nostra Facoltà di Ingegneria - poco dopo rifiutò l'incarico. Corazza fu poi più volte spronato, anche questa volta senza esito, a redigere uno studio monografico sul *Trattato della Pittura* attraverso l'analisi dei manoscritti inediti da lui posseduti, come si legge nella *Bibliografia storico-critica dell'architettura civile* pubblicata a Roma dall'amico Angelo Comolli tra il 1788 e il '92[14].

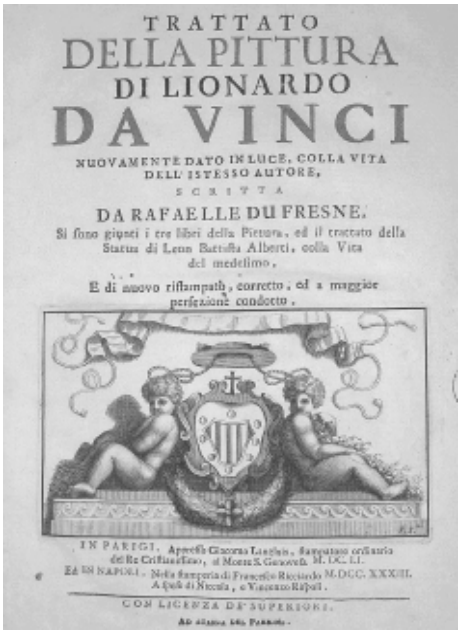

TRATTATO
DELLA PITTURA
DI LIONARDO
DA VINCI
NUOVAMENTE DATO IN LUCE, COLLA VITA
DELL'ISTESSO AUTORE,
SCRITTA
DA RAFAELLE DU FRESNE.
Si sono giunti i tre libri della Pittura, ed il trattato della Statua di Leon Battista Alberti, colla Vita del medesimo.
E di nuovo ristampati, corretti, ed a maggior perfezione condotti.
IN PARIGI, Appresso Giacomo Langlois, Stampatore ordinario del Re Cristianissimo, al Monte S. Genovefa. M. DC. LI.
E DI NAPOLI. Nella stamperia di Francesco Ricciardo M.DCC.XXXIII.
A spese di Nicola, e Vincenzo Rispoli.
CON LICENZA DE' SUPERIORI.

Fig. 2 – Frontespizio della prima edizione italiana del Trattato della Pittura *(Napoli, 1733)*

Dalla corrispondenza epistolare presente nel fondo Corazza potrebbe ipotizzarsi che lo studioso sia venuto in possesso dell'apografo leonardesco, custodito ancora nel 1777 nella biblioteca Albani, proprio in occasione dell'incarico ricevuto per l'*Encyclopédie*, venendo il documento sottoposto al suo giudizio di esperto dagli amici della «Società dell'Arco» e salvato così dalle conseguenze dello smembramento della stessa biblioteca che verrà disposto dal Direttorio nel 1798. Ma, pressato da problemi economici, sin dall'estate del 1779 Corazza tenterà addirittura di vendere il manoscritto prima al Granduca di Toscana, chiedendo in cambio un posto presso quella corte, poi, nel 1787, nientedimeno che a Caterina II di Russia, tramite il grande architetto Giacomo Quarenghi, anch'egli suo caro amico: le trattative, condotte con il coinvolgimento di Lord Hamilton, fortunamente per noi non avranno esito.

Veniamo allora a descrivere il Codice per gli aspetti che ci interessano in questa sede. Va detto intanto che il *Trattato della Pittura* pubblicato nel 1651 fu riedito per la prima volta in Italia proprio a Napoli nel 1733[15], in una lussuo-

sa edizione ben nota a Corazza, promossa da Niccolò Parrino e stampata da Francesco Ricciardo: ciò testimonia di un fervore per gli studi vinciani che in realtà inizia a Napoli molto prima del tardo Settecento.

Già nel *De sculptura* pubblicato nel 1504 dall'umanista napoletano Pomponio Gaurico, Leonardo è citato come «archimedeo ingegno notissimus»; inoltre, attraverso Luca Pacioli, l'amico di Leonardo che insegnò matematica a Napoli tra il 1488 e l'89, il genio toscano venne certamente in contatto con l'ambiente umanistico della capitale aragonese, procurandosi e studiando l'opera di Luca Gaurico, fratello di Pomponio, sulla quadratura del cerchio (1503)[16]. Sappiamo pure che, alla metà del Cinquecento, Innico Piccolomini duca di Amalfi possedeva un codice di Leonardo di cui si è persa ogni traccia e che agli inizi del Seicento il filosofo napoletano Giambattista della Porta si servì sicuramente di scritti di Leonardo per i suoi studi di fisiognomica e di ottica. Altri manoscritti infine, come vedremo, si ritroveranno agli inizi dell'Ottocento nella biblioteca dei Serra di Cassano, anch'essa poi in buona parte venduta[17].

Il Codice in esame reca su qualche foglio appunti del trascrittore seicentesco e su altri annotazioni di Corazza[18]; esso mostra il carattere genuino di una selezione 'mirata' di argomenti direttamente tratti dagli originali - databili tra il 1490 e il 1518 e redatti da Leonardo tra Firenze, Milano e Amboise - senza passare per il citato *Trattato della Pittura* ma, anzi, ampliando gli ambiti d'interes-

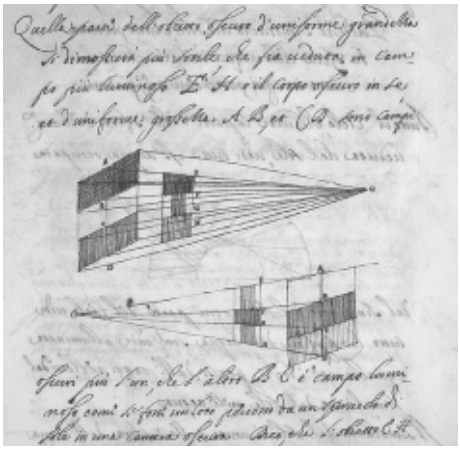


Fig. 3 – Codice Corazza, 1640 ca. (II, fol. 53). Napoli, Biblioteca Nazionale

se al campo dell'ingegneria, evidentemente su precisa richiesta del cardinale. Come se non bastasse, il nostro documento mostra un valore storico aggiunto, avendo rappresentato per gli scienziati e studiosi di arte italiani, durante l'età napoleonica, l'unica trascrizione disponibile dei manoscritti trafugati in Francia.

La prima parte del Codice è dedicata alla rappresentazione e alla 'costruzione' del paesaggio, ed è suddivisa in due importanti capitoli. Il primo, che tratta tra l'altro del significato e della tecnica della prospettiva, corrisponde ai cosiddetti «Capitoli aggiunti» studiati da Pedretti e dalla Steinitz, i quali, fondandosi sui citati apografi milanesi, ne hanno analizzato la corrispondenza con gli originali di Leonardo e con altri importanti apografi, tra cui il noto *Libro di Pittura* redatto dall'allievo Francesco Melzi alla metà del Cinquecento e oggi conservato anch'esso alla Vaticana. Il secondo capitolo, intitolato *Ombre e*

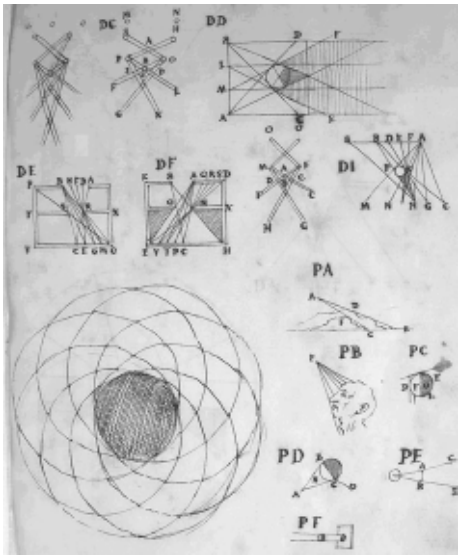


Fig. 4 – Codice Corazza, 1640 ca. (I, fol. 179). Napoli, Biblioteca Nazionale

Lumi, è copia del codice di Leonardo donato da Guido Mazenta a Federico Borromeo nel 1603 e da questi all'Ambrosiana all'atto della sua fondazione nel 1609, e studiato all'inizio dell'Ottocento dallo scienziato Giovan Battista Venturi attraverso la trascrizione del nostro Codice eseguita a Napoli nel 1810 dal pittore Giuseppe Bossi, essendo, come si è detto, tutti i documenti dell'Ambrosiana ancora a Parigi[19]: in questa parte sono numerosi brani di cui Pedretti ha per primo riscontrato, ancora sulla base degli apografi milanesi poi tornati in sede, la perdita di fogli originali del ms. A dell'Institut de France e del Codice Atlantico, e che riguardano tra l'altro luci e ombre applicate agli interni architettonici[20].

Del ricco contenuto di questi testi Corazza farà tesoro nell'elaborare, sul principio degli anni '80, importanti studi, tra cui un trattato *Della Prospettiva ed Altre Cose a Lei Analoghe*[21], tuttora inediti. Egli comporrà inoltre un glossario sui *Termini di arte* tratti dal Codice e confrontati con quelli presenti nei trattati cinquecenteschi di Benvenuto Cellini e Giorgio Vasari, nonché con quelli adottati nell'ambito dell'Accademia della Crusca[22].

Le altre due parti del manoscritto (la terza, in particolare, intitolata *Del Moto e Forza*) riguardano argomenti di vario genere nel campo delle scienze naturali, della fisica, delle costruzioni e dell'ingegneria meccanica e idraulica, con l'illustrazione di numerose macchine: si tratta, con ogni probabilità, delle parti più significative di un *Trattato di Meccanica* che Leonardo si avviava a completare, con l'aiuto di Melzi, nonostante fosse oramai malato e prossimo alla fine.

Del citato pittore Bossi[23], figura di spicco della Milano neoclassica, amico di Canova e di Carlo Porta, famoso per i suoi studi su *L'Ultima Cena* di Leonardo, si conserva all'Ambrosiana una cospicua documentazione contenente interessanti analisi dei manoscritti vinciani. Peraltro, a maggior prova dell'importanza dell'ambiente napoletano per la diffusione del leonardismo, va detto che a Napoli Bossi ricevette in dono dal duca Serra di Cassano un apografo del Codice Hammer, come si sa ricchissimo di osservazioni in materia di scienza e di ingegneria, in particolare in campo geologico, idraulico e astronomico; apografo poi acquistato, dopo la morte del pittore, dalla Biblioteca di Weimar su consiglio di Goethe[24].

Ciò va dunque aggiunto a quanto consideravamo circa la particolare diffusione degli studi vinciani a Napoli sul volgere del Settecento, che videro nel salotto dei Serra di Cassano, intellettuali di spicco nella capitale borbonica, il luogo di vitali fermenti di leonardismo. Come si comprende, tali interessi non mancarono di influenzare persino l'ambiente milanese: così ad esempio, proprio sulla base di quanto raccolto a Napoli su Leonardo, Bossi maturerà nel 1811 l'ambizioso progetto, degno di quello del Barberini ma destinato a naufragare con la scomparsa del pittore, di pubblicare a Milano in un unico volume il citato *Libro di Pittura*, la propria copia del 'Codice Corazza' e quella del Codice Hammer. Ancora una volta, dunque, il nostro apografo rimarrà inedito.

Con riferimento alle descritte parti del Codice, segnaliamo alcuni argomenti di particolare interesse, sui quali si potrà tornare nei prossimi tempi con maggiore approfondimento. Leggiamo ad esempio nei citati «Capitoli aggiunti» un'interessante trattazione del concetto di prospettiva, ancora pervasa dello spirito albertiano, cui Corazza farà riferimento nel proprio trattato. Va detto che accenni al proposito di Leonardo di redigere un trattato sulla prospettiva si ritrovano sia nel *Discorso sull'architettura* di Benvenuto Cellini, già possessore di un manoscritto leonardesco, sia nel *Libro di Pittura* di Melzi, sebbene in quest'ultimo manchino molte parti presenti nei mss. A, E, G, che dovevano fungere da base per lo stesso trattato e che sono invece nel nostro Codice e negli

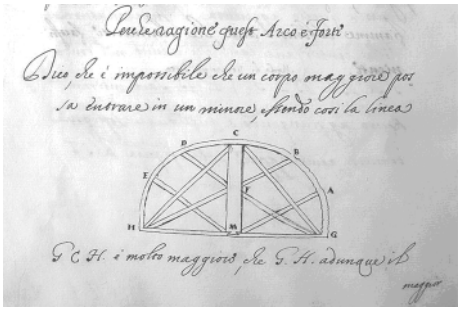


Fig. 5 – Codice Corazza, 1640 ca. (II, fol. 4). Napoli, Biblioteca Nazionale

apografi milanesi. Con riferimento all'architettura, ritroviamo tra l'altro nel Codice questioni di tecnica costruttiva applicata a edifici a torre, la dimostrazione della resistenza di un arco rinforzato con una centina di legno e la definizione della migliore struttura consigliabile per i camini.

Molti altri brani e disegni, tratti dai manoscritti B, E, F, G e I, riguardano l'ingegneria meccanica, idraulica e militare, con la selezione e descrizione delle più interessanti macchine messe a punto da Leonardo: si tratta di argomenti da tempo studiati attraverso i codici originali, ma non con l'ausilio degli apografi che, come ha dimostrato Pedretti, li integrano in più di un caso. Per quanto concerne l'idraulica, particolare attenzione dovette suscitare agli inizi dell'Ottocento la copia del citato codice apografo *Del moto e misura dell'acqua* della Vaticana stilata di pugno di Corazza, pure presente presso la Biblioteca Nazionale di Napoli[25]: il codice vaticano fu pubblicato a Bologna prima nel 1826, poi nel 1923, questa volta con un esplicito riferimento all'apografo napoletano[26].

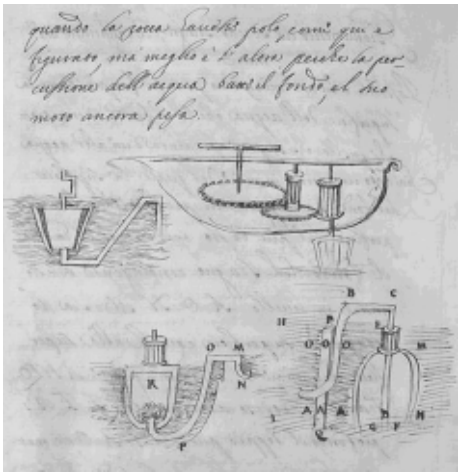


Fig. 6 – Codice Corazza, 1640 ca. (II, fol. 28). Napoli, Biblioteca Nazionale

Per il resto, oltre all'illustrazione di vari modelli di bombarde, cannoni, palle e proiettili, troviamo nel Codice Corazza considerazioni varie in materia di geometria e di stereometria, sul moto perpetuo, sul «moto dell'aria inchiuso sott'acqua», sulla caduta dei gravi e sui loro «balzi», sul funzionamento degli argini fluviali e sui modi di prosciugare gli stagni o di dragare i porti. Sono infine da segnalare le osservazioni sull'arcobaleno e su altri complessi fenomeni ottici, sul volo degli uccelli e in materia di astronomia.

Sulla base di quanto detto, possiamo ora provare a delineare gli esiti della diffusione del leonardismo a Napoli tra Sette e Novecento, e a seguirne gli effetti sulla formazione tecnico-scientifica nell'ambito della Scuola d'Ingegneria.

Come si evince da quanto abbiamo altrove sostenuto circa lo sviluppo storico della figura dell'ingegnere in Italia e nel Mezzogiorno[27], sin dal XVIII secolo l'ispirazione all'opera di Leonardo dovette risultare imprescindibile per la maturazione di quel concetto di *scienziato-artista* che, diffuso in Italia nell'ambito delle scuole d'ingegneria di fondazione napoleonica, avrà seguito nell'adozione del titolo di *ingegnere architetto* fino a tutto l'Ottocento, di pari passo con lo sviluppo del leonardismo nell'ambito delle matematiche pure e delle scienze applicate, e a fronte di un processo di specializzazione disciplinare inesorabilmente avviato.

In effetti, la definizione di *architetto vulgo ingeniero* che ritroviamo nei documenti a partire dalla seconda metà del Quattrocento sino a tutto il XVII secolo aveva trovato proprio in Leonardo la sua incarnazione più evidente, nel senso di un artista-scienziato applicatore di principi ma anche sperimentatore di tecniche, intento a una continua ricerca e verifica dei principi naturali attraverso l'acuta osservazione e la minuziosa rappresentazione dei fenomeni, con una precipua finalità divulgativa; una figura completa che a partire dalla fine del Seicento, con lo sviluppo del pensiero galileiano e delle scienze sperimentali, cominciò ad andare in crisi, già prefigurandosene la scissione.

Nel secolo dei Lumi, segnato dal decisivo contributo di Newton e dal dibattito che animò l'*Encyclopédie*, lo sperimentalismo vinciano dovette essere oggetto di un rinnovato interesse e costituire anche in architettura il termine *a quo* per l'affermazione di un nuovo empirismo. Sicché la duplice figura di marca leonardesca era destinata a per-

durare ben oltre l'istituzione delle nuove scuole di formazione specialistica: per restare nell'ambito del solo Mezzogiorno, basti pensare al ruolo svolto da un *architetto-ingegnere* della statura di Luigi Vanvitelli, anche attraverso i numerosi allievi fino agli inizi dell'Ottocento. E persino quando le scuole d'ingegneria sorte sul modello napoleonico si candideranno a formare i tecnici dello Stato murattiano e borbonico, prendendo sempre più le distanze sia dalle scuole militari sia dalle accademie di architettura, non si vorrà rinunciare alla sostanziale unità di competenze che, specie nel campo delle opere pubbliche, quei professionisti ancora validamente esprimevano. Ma la frattura tra arte e scienza del costruire, già contenuta in nuce nel nuovo programma di formazione professionale, avrebbe finito per trovare terreno fertile nell'avanzare del progresso industriale, verificandosi di conseguenza una dicotomia sempre più netta tra ingegnere e architetto.

Calandoci allora nell'ambiente culturale e accademico della Napoli del Settecento, se da un lato lo studio delle scienze applicate all'architettura fu tutt'altro che trascurato, raggiungendo, anzi, livelli di eccellenza - si pensi ai contributi di Niccolò e Pietro de Martino, di Nicola Fergola, fino a quello di Vincenzo Lamberti[28] - dall'altro l'opera degli illuministi meridionali - da Giannone a Genovesi, a Doria, a Galiani, allo stesso Corazza - dimostra come gli interessi scientifici coesistessero, ancora in molti casi, con quelli artistici, filosofici e letterari degli stessi studiosi.

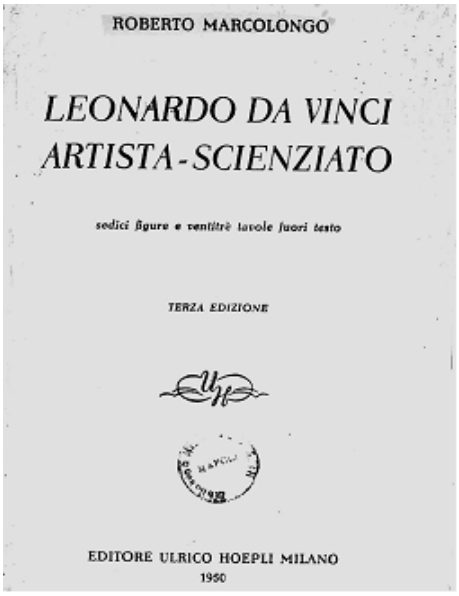
Sul principio dell'Ottocento nella neoistituita Scuola di Applicazione murattiana la consolidata esperienza del secolo dei Lumi negli studi di matematica e di geometria si trasfonde, anche attraverso l'eredità della ricerca di Corazza, nelle opere di Vincenzo Flauti, già allievo del Fergola, ma opportunamente filtrata attraverso i nuovi precetti della geometria analitica di Monge e di Lagrange, mentre nel campo della meccanica, delle costruzioni o delle applicazioni idrauliche si fa diretto riferimento ai contributi metodologici degli scienziati della scuola francese, da Bélidor a Navier a de Cessart[29], mai, però, perdendo di vista il metodo introdotto in queste discipline dall'esperienza degli studi su Leonardo.

Che un filo ininterrotto perpetuasse la tradizione vinciana nelle opere e negli scritti stessi degli ingegneri napoletani l'avevamo già sospettato nell'occuparci di come, tra il Decennio francese e l'età della Restaurazione, nei primi ingegneri di Ponti e Strade e nei nuovi diplomati della Scuola di Applicazione si venisse a consolidare la citata figura dello *scienziato-artista*[30] . Furono così raggiunti nel Regno livelli di assoluto primato con l'opera di professionisti come Giuliano de Fazio, Carlo Afan de Rivera o Luigi Giura[31], che con uguale interesse studiarono l'arte o l'archeologia come la meccanica o l'idraulica, potendosi così ritrovare nella Regia Scuola d'Ingegneria di Napoli, ancora tra la fine del XIX secolo e gli inizi del XX, una felice osmosi tra le solide basi umanistiche e l'aggiornamento scienti-

fico e tecnologico, come testimonia la produzione di Ambrogio Mendia, di Fortunato Padula o di Francesco Paolo Boubée[32].

L'interesse della scienza e della critica artistica napoletana per Leonardo non sembra affievolito ancora agli inizi del Novecento, visto che nel 1913 fu proprio uno studioso napoletano, Angelo Borzelli, a curare dopo un secolo esatto dall'impresa di Guglielmo Manzi del 1817 la pubblicazione del *Libro di Pittura* con doviziosi commenti critici[33].

Tra il primo e il secondo dopoguerra sarà la volta di un docente di meccanica dell'ateneo napoletano del calibro di Roberto Marcolongo, tra i più autorevoli esperti italiani di scienza leonardesca, collaboratore della prestigiosa «Raccolta Vinciana», a dedicare importanti saggi ai vari ambiti d'interesse del


ROBERTO MARCOLONGO

LEONARDO DA VINCI
ARTISTA-SCIENZIATO

sedici figure e ventitrè tavole fuori testo

TERZA EDIZIONE

EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO
1950

genio rinascimentale. Studi questi destinati a culminare nel 1950 nel volume dal titolo significativo di *Leonardo artista-scienziato*[34], in cui vengono posti in piena luce i contributi vinciani alla scienza e all'ingegneria moderna, ma anche le loro connessioni con l'altissimo profilo umanistico e artistico del personaggio; ciò pur essendo ancora sconosciuto all'autore il Codice della Biblioteca Nazionale di Napoli, che Pedretti segnalerà, come si è detto, solo qualche anno più tardi.

Nel secondo dopoguerra la parte migliore dei docenti della Scuola d'Ingegneria napoletana tenterà una strenua difesa dell'autorità della propria tradizione, fondata in campo civile e edile sulla figura di un ingegnere 'integrale', contro i sempre più numerosi specialismi di altri settori dell'ingegneria legati al progresso industriale e a dispetto delle note polemiche che caratterizzarono la nascita della Facoltà di Architettura, con la definitiva frattura dei rapporti tra i due ambiti professionali, come si è visto in crisi da oltre un secolo. In tale contesto emersero figure di professionisti a tutto tondo, da Camillo Guerra a Luigi Cosenza: in particolare proprio alla lezione e all'eredità di quest'ultimo, cui abbiamo dedicato un recente studio[35], si deve l'avvio, a Napoli, di un processo di rivalutazione dell'antica figura dello *scienziato-artista*, che ha avuto esito qualche anno fa nell'istituzione del nuovo corso di studi per *ingegnere-architetto*.

[1] Cfr. A. Buccaro, *La tradizione storiografica dell'ingegneria a Napoli: il Codice Corazza e la fortuna di Leonardo tra Sette e Novecento*, in *L'Ingegneria e la sua storia. Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel XIX e XX secolo*, a cura di A. Di Leo, Atti del Convegno (Salerno-Fisciano, 12-13 dicembre 2006), Cava de' Tirreni, Marlin Editore, 2007; A. Buccaro, *Leonardo tra iconografia e ingegneria nel 'Codice Corazza': appunti dallo studio in corso*, in *Atti del Convegno Internazionale sull'Iconografia della Città dal XV al XIX secolo* (Napoli, 23-24 giugno 2006), a cura di C. de Seta e B. Marin, in corso di pubblicazione. Nella presente relazione proponiamo un aggiornamento del testo del primo dei suddetti contributi, edito senza note bibliografiche e non ancora comprensivo delle più recenti acquisizioni documentarie: citeremo dunque gli studi di riferimento, in più di un caso autorevoli, da cui siamo partiti per l'ampia ricerca in corso di pubblicazione, dal titolo *Leonardo scienziato-artista nel Codice Corazza* (con un'appendice diplomatica di M. Rascaglia).

[2] Biblioteca Nazionale di Napoli (BNN), ms. XII. D. 79, a. 1640 ca., dal titolo: «Copia di capitoli diversi di Lionardo da Vinci circa le Regole della Pittura, e modo di dipingere Prospettive, ombre, lontananze, altezze, bassezze, d'appresso, e discosto, e altro. / L'originale de quali dal signor Galeazzo Arconato è stato donato alla Libraria Ambrosiana e dall'istesso è stata inviata all'Em.mo S.r Cardinale fran.co Barberino./Sono li sudetti capitoli di più di quelli, che nell'opera ordinaria della Pittura si vedono».

[3] Circa la vicenda dei manoscritti vinciani e dei loro apografi, tra i numerosissimi studi anche recenti, segnaliamo C. Pedretti-C. Vecce (a cura di), *Leonardo da Vinci. Libro di Pittura*, Firenze, Giunti Barbera, 1995, e in particolare i capitoli introduttivi, con un ricco apparato di note e un'ampia bibliografia sull'argomento.

[4] Cfr. F. Solinas, *I segreti di un professionista: le straordinarie raccolte di Cassiano dal Pozzo, 1588-1657*, Roma, De Luca 2000.

[5] *Traité de la Peinture de Leonard de Vinci donné au Public et traduit d'Italien en François par R. Du Fresne*, Paris, J. Langlois, 1651.

[6] C. Pedretti, *Studi vinciani*, Genève, Droz, 1957, p. 258.

[7] K. Trauman Steinitz, *Leonardo da Vinci's Trattato della Pittura, Treatise on Painting. A bibliography of the printed editions 1651-1956, based on the complete collection in the Elmer Library of Vinci*, Copenhagen, Munksgaard, 1958, pp. 107-108.

[8] Si veda *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, a cura di A. Vezzosi, Firenze, Giunti Barbera 1983, pp. 139-142. Dell'apografo napoletano si tratta, sulla scorta del Vezzosi, anche nei più recenti contributi: C. Pedretti, *I manoscritti 'inediti' di Leonardo ricercati da Giuseppe Bossi a Napoli: autografi o apografi?*, «Achademia Leonardi Vinci», IX (1996), pp. 136-139, e M. Rascaglia, *I manoscritti di Leonardo e un abate del '700*, in Aa.Vv., *Acqua continuum vitae…il divenire Mediterraneo nel racconto dell'Arte e della Scienza*, a cura della Biennale delle Arti e Scienze del Mediterraneo, Salerno, Artecnica Production A.C., 2000, pp. 44 sgg.

[9] Cfr. in particolare C. Pedretti, *Copies of Leonardo's lost writings in the ms. H 227 inf. of the Ambrosiana Library, Milan*, «Raccolta Vinciana», XIX (1962), pp. 61-94.

[10] È quanto, in particolare, si constata dal raffronto con gli apografi H 227 inf. e H 229 inf. dell'Ambrosiana.

[11] Lo studio in corso proporrà, per la prima volta, l'analisi diplomatica del testo, la sua trascrizione con distinzione per materie, le interpretazioni dei 'precetti' di Leonardo da parte dei trascrittori seicenteschi e la segnalazione di tutti i brani e i grafici tratti dagli originali perduti. A questo potremo

aggiungere un approfondimento della tradizione degli studi vinciani nel contesto napoletano tra Cinque e Novecento e, attraverso l'analisi del pensiero e dell'attività di Corazza, un esame del particolare fervore che caratterizzò l'ambiente artistico a Napoli in rapporto al contesto italiano del secondo Settecento.

[12] L'unico contributo sulla figura di Corazza è, sino ad oggi, quello di M. RASCAGLIA, *op. cit.*, pp. 39-53.

[13] Non si contano le raccomandazioni che, presso molte corti italiane, gli amici chiedono a Corazza per giovani studiosi o professionisti, artisti e architetti, come fu, tra gli altri, il caso del cartografo Giovanni Antonio Rizzi Zannoni: questi nel 1781, già ricevuto da Ferdinando IV l'incarico della ben nota Carta del Regno di Napoli, fu segnalato dall'abate bolognese alla corte papale, che negli anni seguenti gli affidò la redazione della cartografia dei confini dello Stato Pontificio e del territorio della città di Roma.

[14] Comolli auspica che Corazza renda noto il contenuto di quei manoscritti all'interno di una nuova edizione del *Trattato* atta a chiarire i molti punti oscuri legati agli scritti di Leonardo: anche questa volta, però, a tale incitamento non fece seguito alcuna opera a sua cura, venendo invece il testo pubblicato prima nella sua Bologna, nel 1786, su iniziativa dell'Istituto delle Scienze, poi a Firenze nel 1792 da Francesco Fontani. Tra l'altro proprio Comolli, responsabile della famosa biblioteca del cardinale Imperiali, oltre a farsi correggere da Corazza il libro in bozza, chiedendo pure in prestito la copia delle *Vite degli architetti* di Tomaso Temanza postillate dal bolognese, si fece da lui autorizzare a pubblicare nella *Bibliografia* un giudizio dell'intellettuale bolognese su Winckelmann tutt'altro che lusinghiero. Viceversa, differente era la considerazione di Corazza per l'amico Rafael Mengs – membro come lui della Società dell'Arco e morto prematuramente nel 1779 – delle cui opere fu attento studioso.

[15] *Trattato della Pittura di Lionardo da Vinci nuovamente dato in luce, colla vita dell'istesso autore, scritta da Rafaelle Du Fresne.*…, Napoli, stamp. F. Ricciardo, 1733.

[16] Cfr. *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, cit., p. 117.

[17] Si veda AA.VV., *Serra di Cassano. Un palazzo, una famiglia, la storia. Tesori di una dimora napoletana del Settecento*, Napoli, Luciano Editore 2005.

[18] Vezzosi è stato il primo a notare la sigla «VC» che accompagna alcune postille presenti sul documento. Cfr. *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, cit., p. 139.

[19] Si veda *ibidem*, e C. PEDRETTI, *I manoscritti 'inediti'*…cit., pp. 136-139.

[20] C. PEDRETTI, *Copies of Leonardo's lost writings in the ms. H 227 inf. of the Ambrosiana Library, Milan*, «Raccolta Vinciana», XIX (1962), pp. 61-94.

[21] BNN, mss. XII. B. 37.

[22] BNN, ms. XII. D. 81, a. 1780 ca., dal titolo: «Termini di arte nelli scritti di Lionardo da Vinci». Cfr. pure la scheda relativa in *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, cit., p. 141.

[23] R.P. CIARDI (a cura di), *Giuseppe Bossi. Scritti sulle arti*, Firenze, S.P.E.S., 1982.

[24] C. PEDRETTI, *I manoscritti 'inediti'*…cit., pp. 136-138; *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, cit., schede alle pp. 138-139.

[25] BNN, ms. XII. D. 80, a. 1780 ca., dal titolo: «Leonardo da Vinci del Moto et Misura dell'Acqua». Cfr. pure la scheda in *Leonardo e il leonardismo a Napoli e a Roma*, cit., p. 140.

[26] Cfr. *Del moto e misura dell'acqua di Leonardo da Vinci*, a cura e spese di F. Cardinali, Bologna, s.e., 1826; *Del moto e misura dell'acqua / Leonardo da Vinci; libri nove ordinati da f. Luigi Maria Arconati editi sul codice archetipo barberiniano*, a cura di E. Carusi, A. Favaro, Bologna, s.e., 1923.

[27] A. Buccaro-F. De Mattia (a cura di), *Scienziati-artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, Napoli, Electa Napoli, 2003.

[28] Si veda sull'argomento A. Buccaro, *Aspetti della cultura tecnico-scientifica in epoca vanvitelliana: dall'architetto allo «scienziato-artista»*, in Aa.Vv., *Tecnologia scienza e storia per la conservazione del costruito*, «Annali della Fondazione Callisto Pontello», n. 1 (mar.-giu. 1987), pp. 188 sgg.

[29] A. Buccaro-F. De Mattia (a cura di), *op. cit.*, *passim*.

[30] Cfr. in proposito A. Buccaro-G. Matacena, *Architettura e urbanistica dell'età borbonica. Le opere dello Stato, i luoghi dell'industria*, Napoli, Electa Napoli, 2004.

[31] Sull'opera di questi ingegneri cfr. A. Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Napoli, Electa Napoli, 1992; A. Buccaro-G. Matacena, *Architettura e urbanistica dell'età borbonica. Le opere dello Stato, i luoghi dell'industria*, Napoli, Electa Napoli, 2004, passim.

[32] G. Russo, *La scuola d'ingegneria in Napoli. 1811-1967*, Napoli, Istit. Editor. Mezzogiorno, 1967; A. Buccaro-S. D'Agostino (a cura di), *Dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*, Benevento, Hevelius Edizioni, 2003.

[33] Cfr. *Leonardo da Vinci. Trattato di Pittura*, a cura di A. Borzelli, Lanciano, G. Carabba, 1913.

[34] R. Marcolongo, *Leonardo artista-scienziato*, Milano, Hoepli, 1950.

[35] A. Buccaro-G. Mainini (a cura di), *Luigi Cosenza oggi. 1905-2005*, Napoli, Clean edizioni, 2006.

Pier Gabriele Molari

Il disegno illuminato dal testo

Si ripercorre l'evoluzione operata da Francesco di Giorgio (Siena, n.1439, m.1501) che, dal testo *illuminato* dal disegno, passa al disegno *illuminato* dal testo, fino alla esposizione della sintesi che non fa più distinzione fra queste due espressioni dell'intelletto ma, va ben oltre, identificando il pensiero con la sua espressione e con l'oggetto stesso.

Nasce così l'ingegnere e l'ingegneria.

Dal Liber de ingegnii del Taccola (Siena, n.1381, m.1453/1458), chiosato da Francesco di Giorgio, al Trattato di Francesco di Giorgio, chiosato da Leonardo, (Vinci, n.1452; Cloux, m.1519) si ha traccia di questa grande evoluzione, che traghetta l'opera fattiva dell'ingegnarius alla *arte* dell'ingegno, portando il soggetto pensante dalle botteghe alle corti ducali.

Partendo dall'ingegnere rinascimentale vengono poi messe in evidenza le particolarità del vero ingegnere che si distingue dall'inventore, quali la definizione del campo di azione e la tecnologia costruttiva che trasformano una idea in un *ingegno*.

Il testo "illuminato" dal disegno ed il disegno "illuminato" dal testo

Nell'anno dei terremoti (1466) Francesco di Giorgio viene chiamato dal camarlingo di Siena, sua città natale, ad illustrare il libro-mastro dell'ufficio delle finanze, detto il libro delle biccherne e gabelle [1].

Si può vedere questo incarico come conseguenza del fatto che il testo non viene ritenuto più sufficiente per una corretta trasmissione della realtà. E' necessaria una immagine che illustri in modo più diretto una serie di sensazioni che altrimenti molto difficilmente possono essere fatte capire e tramandate.

Le illustrazioni delle Sacre Scritture hanno stabilito ormai che questo modo di far conoscere il pensiero integra la lettura dei testi e può essere fruito anche dalle classi sociali che non sono state ancora alfabetizzate e tanto meno scolarizzate.

Francesco di Giorgio viene messo di fronte ad una altra realtà dal suo maestro Mariano Danniello di Jacopo, detto il Taccola: il disegno come strumento per presentare in modo semplice ed immediato la capacità pensante dell'uomo [2], [3].

Il testo diviene secondario: è il disegno che viene *illuminato* dal testo.

Il Taccola, infatti, di fronte alla necessità di far capire all'imperatore Sigismondo la valentia della nuova figura professionale del magister e quindi di farsi assumere come tale, impiega il disegno per mostrare ciò che è capace di fare. La carica è molto ambita dato che il magister sovrintende non solo le costruzioni militari ma anche le costru-

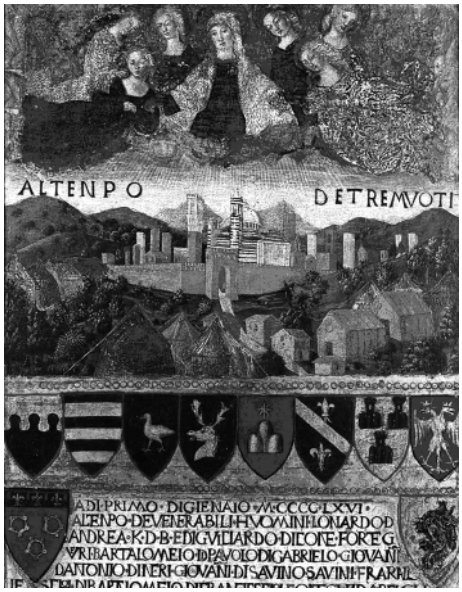


Fig.1 - L'illustrazione di Francesco di Giorgio nel libro delle biccherne [1]

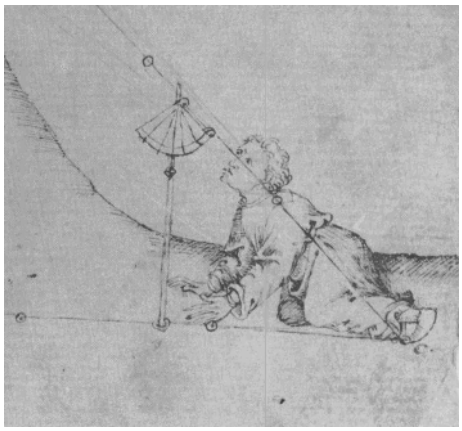


Fig.2 - Francesco di Giorgio intento nel traguardare la sommità di una collina nel libro del Taccola, [3] foglio 33v.

zioni civili e quindi opera con grandi quantità di danaro.

Il Taccola pensa così di 'illustrare' nel poco tempo a disposizione, dato che non fa parte della corte, ciò che sa fare dichiarando anche di essere disposto a seguire l'imperatore in Ungheria.

Inizia così a disegnare una serie di tavole [2],[3], una specie di presentazione su pergamena: su di un lato del foglio (a destra) disegna, sul foglio affacciato (a sinistra) traccia alcune note. Il Taccola raccoglie così le sue nuove idee su come fortificare una città, sul convogliamento delle acque, su nuove macchine per la guerra e su come effettuare il vettovagliamento delle truppe; disegna nuove macchine capaci di ostacolare eserciti o di permettere l'aggiramento o la demolizione di ostacoli posti dal nemico di fronte agli eserciti.

Il codice detto Liber tertius de ingeneis [3] è, per nostra grande fortuna, conservato e in esso possiamo vedere alcuni disegni che possiamo attribuire alla mano dello stesso Francesco di Giorgio. In particolare nel foglio 33v. Fig. 2 possiamo vedere un autoritratto di Francesco di Giorgio intento a traguardare la cima di una collina: la capigliatura e il profilo del viso ne danno testimonianza diretta.

Confrontando il codice del Taccola con il 'codicetto' di Francesco di Giorgio [4] possiamo trovare tanti disegni che hanno lo stesso impianto e, a volte, anche la stessa mano.

Forte dell'insegnamento del Taccola Francesco di Giorgio, chiamato alla corte di Urbino, compone un codice analogo, ma con soli disegni, e lo mostra al suo Duca. Di questa presentazione si può pensare che rimanga una immagine nell'anteporta del libro sulle Tuscolanae disputationes [4] Fig.3 già appar-

tenente alla biblioteca del Duca.Si può pensare che queste illustrazioni abbiano così tanto impressionato il Duca, grande condottiero di eserciti, da indurlo a chiedere a Francesco di Giorgio di rappresentare queste tavole su pietra, dando così luogo a quella meravigliosa serie di formelle che erano poste nella facciata del palazzo ducale di Urbino [5].

Il primato del disegno viene capito e mirabilmente fermato sulla carta da Leonardo da Vinci, che aveva già chiosato i trattati di Francesco di Giorgio [6], egli infatti nel trattato sull'Anatomia [7] scrive:

Farai questi ossi del collo p. 3 aspettj essendo congutj e p 3 asspetti essendo separati. o co si li fara i poi p 2 altri asspetti coe veduti disotto e di sopa e così darai lauera notizia delle loro figure laquale einposibile che lli antichi e mo dernj scrictori ne potessino mai dare vera notitia sanza vna inmense lun'essa etediosa econfusa lungheza di scittura e di tepo Ma ,p questo brevissimo modo del fugurarli .pdiuersi aspettj se ne dara piena evera notitia cacco che tal benjfitio chio do allominij jo isegno ilmodi di ristaparlo conordine e piego voi osuccessori chellauaritia no ujcosstringha affare lestape...

La sintesi di Francesco Di Giorgio -il disegno con il testo e con la prototipazione- come l'oggetto pensato e costruito: l'ingegneria

Francesco di Giorgio nella sua ricerca professionale e di vita supera gli insegnamenti del Taccola e nel suo trattato [8] scrive:



Fig.3 - Francesco di Giorgio (Siena 1439, 1501) e Federico di Montefeltro (Gubbio 1422, Ferrara 1482) [4]

[T33v] 13 ... *Quantunque difficil sia in disegno ogni cosa demostrare, neanco per scrittura in alcun modo molte cose spriemar non si può, perché son tante le varietà delle cose interrotte e opposite l'una all'altra che a occupare si vengano, e però è necessario quasi di ciascuna cosa modello fare. Posto che molte cose all'animo dell'architetto paia facile, e che riuscir li debba, che mettendolo in effetto gran mancamenti in essi truova, in ne' quali con difficultà reparar vi può. Io per me delle invenzioni che qui demostrate saranno, d'assai buona parte, in me non confidando, spirienza ho veduta.*

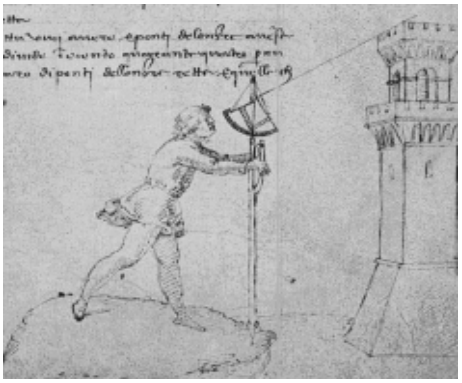


Fig.4 - Francesco di Giorgio intento nel traguardare una fortezza posta sull'alto di una collina nel proprio trattato [6], [8]

Il giovane apprendista di bottega diviene magister, si mette in posizione eretta, traguarda da solo e senza paura le torri sulle colline Fig. 4 [6], [8].

e anticipa ciò che Galileo farà dire a Salviati solo un secolo dopo [9]:

Il medesimo non afferm'egli che quello che l'esperienza e il senso ci dimostra, si deve anteporre ad ogni discorso, ancorché ne paresse assai ben fondato? e questo non lo dic'egli resolutamente e senza punto titubare?

Per questa meravigliosa sintesi, che fa nascere l'ingegneria, dobbiamo molto alla scuola senese, come pure dobbiamo molto alla lucida mente del Duca Federico di Urbino ed al 'braccio' di Francesco di Giorgio. Il braccio e la mente: i due soli, come nel tappeto rappresentato nella anteporta del libro di Cicerone [4].

Ma Francesco di Giorgio va ben oltre: supera la distinzione fra teoria e pratica e inserisce la prototipazione come parte del progetto stesso.

*La figura dell'ingegner*e

Si ha così la consapevolezza che l'ingegno diviene l'oggetto da costruire. Non si hanno più disegno ed testo come due entità distinte ma compare l'oggetto nella sua realtà: non vi è più questo lacerante dualismo fra la mente ed il braccio ma compare la sintesi dell'ingegnere. Francesco di Giorgio e il Duca Federico traghettano il desiderio di costruire dalle arti, intese come lavoro di bottega, alla dignità dell'arte intesa come arte del quadrivio.

Direi che con loro l'arte dell'ingegnere sale in cattedra, viene esposta al pubblico per essere ammirata e glorificata (nelle formelle del palazzo ducale di Urbino) e poi viene insegnata e resa più astratta con un sistematico lavoro di razionalizzazione, cercandone di capire l'essenza superando il desiderio dell'inventore, badando ai dettagli per assicurarne la possibilità della costruzione e quindi in generale per orientare il cammino da percorrere alle future generazioni.

Si arriva così a mettere a fuoco la figura moderna dell'ingegnere progettista che, come ben messo in evidenza nel testo del Ruitz Koenisberger [10]:

.. it is important to distinguish between the inventor and the designer, as the latter, through attention to detail, may determine success or failure of the invention. The founder of the Krupp empire is reputed to have said that the achievements of a good designer can easily lead him from the slums to Mayfair, whilst the pure inventor, who is not a good designer, will finish in

the slums even if he had started in Mayfair.

Alcuni esempi

Francesco di Giorgio è un ingegnere completo che subisce dapprima il fascino delle persone colte, poi quando ne ha possibilità, diventa anche lui, figlio di un pollaiolo, una di loro.

Si riportano tre progetti di Francesco di Giorgio: la bastia sollevabile, la mina lanciata e la coclea per sollevare acqua. In questi progetti si ha un'idea di come Francesco di Giorgio sappia personalmente portare a compimento i suoi progetti. È mirabile come riesca a cogliere il buono e a trasformare idee di scarso valore pratico (ma che lo affascinano) in macchine efficienti.

La impossibile bastia sollevabile tramite indipendenti meccanismi a vite del suo maestro Taccola, Fig.5, viene trasformata in un efficiente macchina, ancora oggi impiegata, per il sollevamento di precisione di forti carichi, Fig.6 [11]. Il *pons misilis* del Valturio di interesse più teorico che pratico fig.7 [12] viene trasformato in una tremenda e micidiale macchina da guerra che permette di conquistare il Castelnovo di Napoli nel 1495, Fig.8 [13]. Una teorica e inefficiente coclea (quasi a forma di serpe - l'accostamento con le bellissime *ghorgolle* del Taccola è d'obbligo [3] -) Fig.9 [2] viene trasformata in una vera macchina per sollevare acqua Fig.10 [5] con tanto di telaio e meccanismo per metterla in movimento.

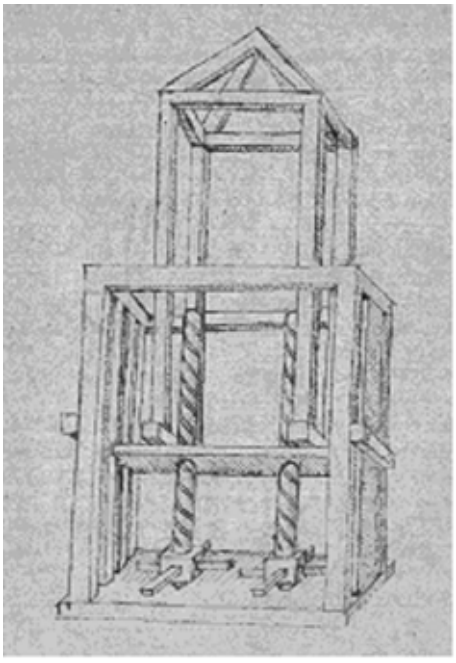


Fig.5 - La bastia sollevabile a vite del Taccola [2], foglio 131 v. , pag 264

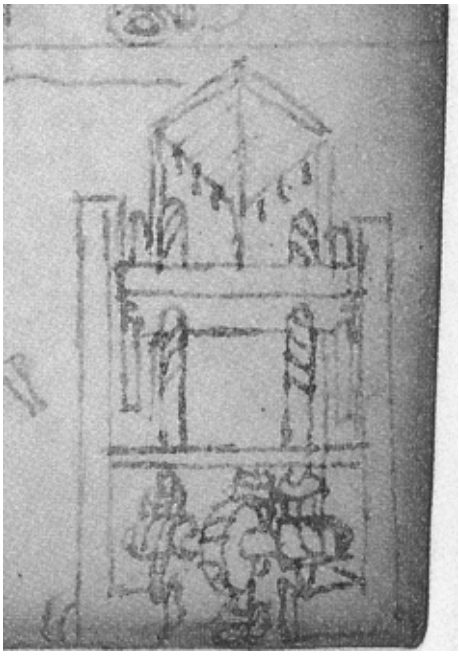


Fig.6 - Il meccanismo di Francesco di Giorgio nel quale le due viti sono mosse in modo sincrono [4]



Fig.7 - Il pons misilis del Valturio [12]



Fig.8 - Il pons misilis del Valturio trasformato da Francesco di Giorgio nella micidiale arma della mina lanciata [13]



Fig. 9 - La coclea del Taccola [2]

Conclusione

Francesco di Giorgio dà un fondamentale contributo a definire la figura dell'ingegnere e la sua professione. Il figlio del pollaiolo di Siena diviene una delle persone più richieste dalle Corti del tempo e il suo *mestiere* diventa *arte* dell'ingegno.

I tumultuosi eventi della fine del 1400 non hanno permesso da parte dei suoi contemporanei una chiara messa a fuoco di questa personalità e del suo contributo. Solo recentemente Francesco di Giorgio viene rivalutato e viene capita la sua opera. Il presente lavoro vuole essere un contributo in tale senso.

Bibliografia

[1] http://www.wga.hu/index1.html *Madonna del Terremoto*, 1467, Archivo di Stato, Siena

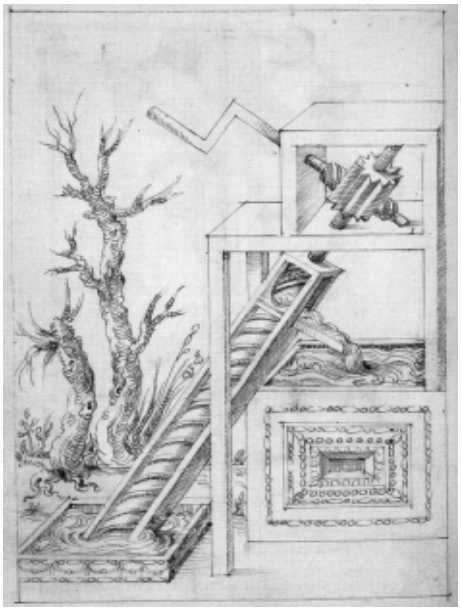


Fig.10 - La coclea di Francesco di Giorgio [5]

[2] MARIANO TACCOLA *De ingeneis Codex Monacensis 197*, facsimile a cura di G. Scaglia, F. Pragher, U. Montag, Ed Reichert, Wiesbaden, 1984.

[3] MARIANO TACCOLA *Liber tertius de ingeneis ac edifitiis non usitatis, ms. Vat. Lat.*, 1160, Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, riportato a cura di J.H. Beck, in Edizioni il Polifilo, Milano 1969

[4] FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI, *Das skizzenbuch Urb. Lat 1757*, Fac-simile con commento del Tocci, Besler, Zurig, 1989

[5] MOLARI L., MOLARI P.G., *Il trionfo dell'ingegneria nel fregio del palazzo ducale d'Urbino*, ETS Pisa, 2006.

[6] FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI, *Il codice Ashburnham della biblioteca Laurenziana di Firenze* facsimile Giunti Ed, Firenze, 1994.

[7] MASOTTI G., MOLARI P.G., *Aliseo:un nuovo modellatore solido parametrico-interattivo*, PIXEL n 1/2 1987 pagg. 15-24.

[8] FRANCESCO DI GIORGIO MARTINI, *Trattati di architettura ingegneria e arte militare* a cura di Corrado Maltese, Ed Il Polifilo, Milano, 1967 voll.2.

[9] GALILEO GALILEI, *Dialogo sopra due massimi sistemi del mondo - giornata prima* - Landini, Firenze 1632.

[10] RUITZ C., KOENIGSBERGER F., *Design for Strength and Production*, Gordon and Breach Science Pub., London, 1970.

[11] MOLARI L, MOLARI P.G., *Una cartolina firmata da Francesco di Giorgio nelle formelle del palazzo ducale di Urbino* - memoria invitata-XXXV Convegno AIAS, Ancona 13-16/9/2006.

[12] BERNINI FACCINI G., *Il fregio dell'arte della guerra nel palazzo ducale di Urbino*, Zecca dello Stato, Roma, 1985.

[13] DI BATTISTA R., MOLARI L., MOLARI P.G., *The genius of the 'ingegnarius' Francesco di Giorgio in the capture of Castenovo (in Naples Italy) in 1495*. – Accettato per essere presentato alla ARS in Chicago 2008.

MARIA INES PASCARIELLO

Il disegno degli ingegneri, tra metodo e ragion pratica

Accade spesso, nell'evoluzione dei metodi della rappresentazione, che le esigenze pratiche costituiscono lo stimolo ad innovare la coerenza spaziale delle immagini e, conciliando rigore matematico e visione, consentono di mettere a punto sistemi proiettivi dapprima intuiti e poi più consapevolmente utilizzati; d'altro canto nell'impalcato geometrico sotteso alla costruzione delle immagini, che sono da intendersi come l'*equivalente struttura* dell'esperienza, ogni civiltà in ogni epoca inserisce tutto il materiale immaginario, figurativo ed espressivo che traduce, attraverso uno schema logico ed un linguaggio grafico, un contenuto intellettivo.

L'immagine si colloca infatti "a metà strada fra il concreto e l'astratto, fra il reale e il pensato, fra il sensibile e l'intellegibile: [essa consente] di riprodurre e interiorizzare il mondo, di rispecchiarlo così com'è, sia a livello immateriale sia in virtù di un supporto materiale; consente di acquisire il dato reale dell'esperienza ma anche di modificarlo, di trasformarlo fino a produrre dati ed esperienze affatto nuovi."[1] Così quando una cultura decide di trasferire nell'azione figurativa tutto quello che appare alla vista e che si trova nello spazio reale allora "si rende immediatamente disponibile il dispositivo proiettivo naturale insito nell'intelletto umano"[2] ed ha inizio il confronto tra l'oggetto nello spazio e la sua rappresentazione. In particolare quando, più che l'oggetto esclusivo, si tende a tradurre in immagine lo spazio dell'oggetto, privilegiandone cioè le reali caratteristiche tridimensionali, tra i metodi di rappresentazione viene usata, più o meno consapevolmente, la proiezione assonometrica, ovvero quel "rappresentare diverso, esterno alla centralità della veduta pittorica"[3] che compare nella cultura occidentale già dal IV secolo a.C. e ne costituisce traccia grafica, discreta e continua, per tutti i secoli successivi.

La proiezione assonometrica si pone infatti come costante presenza in tutta la storia della rappresentazione, caratterizzando tanto la pittura vascolare della Magna Grecia, quanto l'arte musiva bizantina, quanto la pittura alto-medievale, per poi essere ampiamente utilizzata nel corso del Cinquecento e del Seicento, fino a giungere alla sua codificazione definitiva nel XIX secolo. Non è facile, tuttavia, riuscire ad individuare un luogo ed un tempo precisi per la costituzione teorica e tecnica dell'Assonometria; siamo in grado piuttosto di documentare l'utilizzo diffuso e consapevole di questo metodo di rappresentazione nella produzione grafica specifica di vari periodi, come, ad esempio, quando compaiono, in modo continuo ed esteso, disegni di città e paesaggi fortificati ottenuti come proiezione da un centro supposto a di-

stanza infinita. In particolare, tra Cinquecento e Seicento, assistiamo "al fiorire di una trattatistica in cui si attribuisce alla 'prospettiva militare' il primato nella pratica del disegno di fortezze."[4]

Senza dubbio il numero cospicuo di rappresentazioni che riguardano le architetture fortificate è conseguenza diretta del problema contingente di aggiornare i sistemi difensivi in seguito allo sviluppo dell'artiglieria; infatti, anche se la polvere da sparo era stata inventata da tempo, solo con lo sviluppo delle artiglierie portatili vennero messe in discussione le tradizionali tecniche di difesa e si pose l'esigenza di elaborare un nuovo modello di fortificazione. Una tale circostanza determinò non solo una modifica radicale del modo di considerare il rapporto fra la città ed il territorio circostante, ma influenzò per secoli tanto l'urbanistica, fornendo nuovi stimoli ad architetti ed ingegneri, quanto la rappresentazione, offrendo a progettisti e rilevatori, lo spunto necessario al rinnovo delle tecniche.

Accadde infatti che "sotto il furore delle artiglierie […] cominciarono gl'ingegni degli uomini, spaventati dalla ferocia delle offese, ad assottigliarsi ai modi delle difese, rendendo le terre munite con argini, con fossi, con fianchi, con ripari, con bastioni; onde […] sono ridotte a grandissima sicurtà le terre, che sono difese, di non potere essere espugnate."[5]

Nella pratica dell'architettura fortificata vennero allora intrapresi molteplici e ferventi lavori che perseguirono l'adattamento delle mura esistenti alle nuove esigenze dell'arte della guerra, sia realizzando l'abbassamento e l'ispessimento dei fronti, sia sostituendo le torri a pianta quadrata o, comunque, con spigoli facilmente danneggiabili con torri rotonde, sia ancora creando terrapieni lungo tutto il perimetro delle cinte; d'altro canto si procedette anche all'elaborazione di modelli di fortificazione completamente nuovi che prevedevano la realizzazione di un fronte bastionato la cui morfologia era determinata non più dalle condizioni del terreno e dalle necessità interne del luogo da fortificare, ma piuttosto dalle linee di tiro.

Con l'elaborazione dei nuovi principi della fortificazione si pose, dunque, il problema di scegliere se adeguare le cinte murarie precedenti, spesso di enorme dimensione e dal tracciato tortuoso che era stato stabilito per sfruttare le difese naturali dei luoghi, o se costruire ex novo mura aggiornate alle nuove tecniche fortificatorie con lo scopo di ridurre il perimetro e, di conseguenza, lo spazio compreso all'interno delle mura per migliorarne il tracciato. Appare evidente che l'operazione di regolarizzazione richiedeva impegnativi e costosi lavori e spesso le campagne di rifacimento erano numerose e conseguenti alle opportunità e alle disponibilità economiche.

L'ovvio passo iniziale fu quello di adattare le vecchie fortificazioni, soprattutto per ammodernare le cinte urbane, spesso molto estese e che sarebbe stato economicamente troppo impegnativo rimpiazzare; tuttavia il continuo progresso tecnico delle artiglierie andò sempre

più richiedendo un totale ripensamento del tracciato delle mura che provocò sostanziali modifiche in più campi, sia pratici che teorici. Nel panorama culturale dell'epoca emersero, così, personalità di rilievo, che cominciarono prima a teorizzare, poi a rappresentare, e, infine, a costruire nuovi tipi di fortificazione definiti *alla moderna*, il cui schema tipologico continuerà ad essere diffuso ed utilizzato anche molto tempo dopo il superamento del fronte bastionato. "Non si tratta più di disegnare fortezze ideali, ma efficienti baluardi di difesa di regni e principati. […] Non solo, come del resto era tradizione, i grandi architetti si dedicano a queste opere difensive, ma anche una nuova classe: quella degli ingegneri soldati, che contrapporrà la 'pratica' della guerra ai progetti da tavolino."[6]

Nel complesso scenario, allora, della progettazione dell'architettura fortificata, intervengono, nuovi ruoli e nuove figure professionali: "esperti nella teoria sull'arte della guerra sempre in lotta per affermare personali tesi, uomini d'arme che hanno combattuto su molti fronti e sono consapevoli di aver sperimentato col personale sacrificio e a costo della vita la validità di mura e bastioni, e ingegneri militari e architetti che rivendicano lo stretto legame tra teoria e prassi nell'esperienza progettuale."[7] Il sistema difensivo che scaturiva dall'interazione di queste diverse compe-

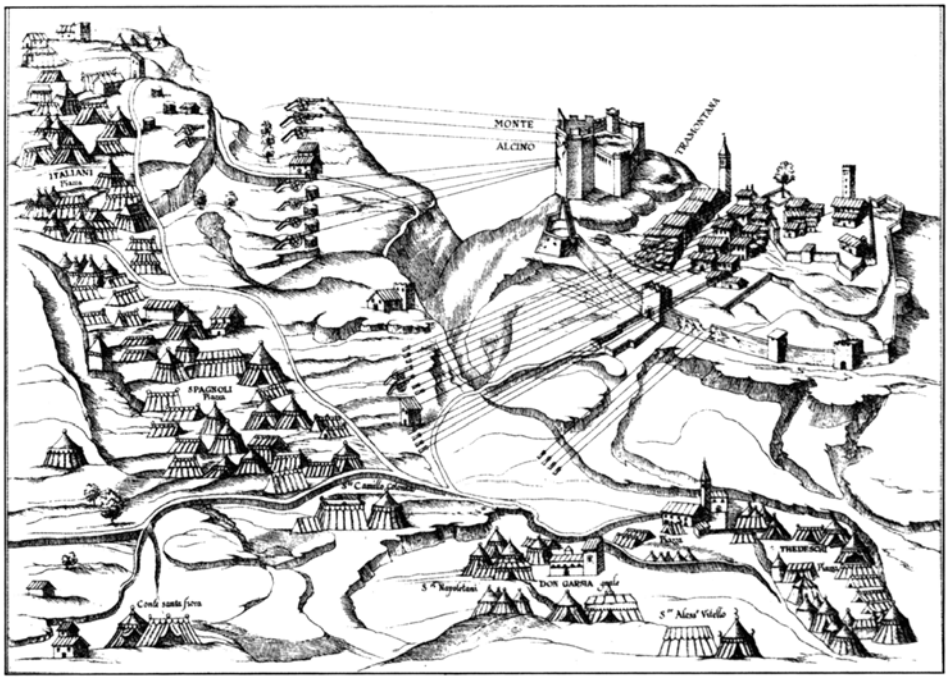


Fig. 1 - M. G. Maggi, J. Castriotto, Trattato di architettura militare, *Venezia, 1584, Veduta dell'assedio di Montalcino*

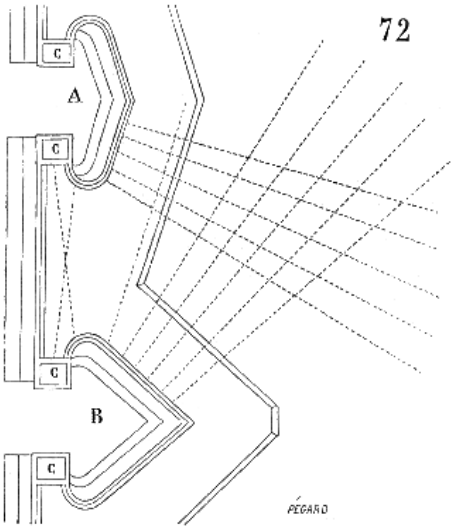


Fig. 2 - E. E. VIOLLET-LE-DUC, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e^ au XVI^e^ siècle, *Paris, 1856, Bastions des fortifications de Verone*

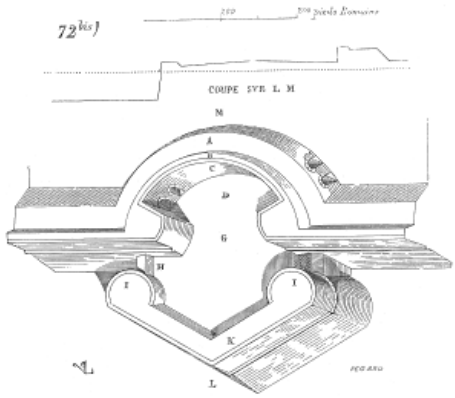


Fig. 4 - E. E. VIOLLET-LE-DUC, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e^ au XVI^e^ siècle, *Paris, 1856, Bastions remparé*

tenze dava luogo ad un complesso unitario totalmente diverso, per funzione ed aspetto, dalle costruzioni fortificate fino ad allora utilizzate: adesso forma e dimensioni di ciascun elemento dovevano essere in preciso rapporto geometrico con tutti gli altri componenti, pena la vulnerabilità dell'intero complesso. Ne conseguiva la trasformazione dell'architettura militare, offensiva e difensiva, in una vera e propria branca della Geometria, tenuto conto che le piante ed i prospetti disegnati dovevano essere trasferiti sul terreno con la massima esattezza; un angolo sbagliato, anche di pochi gradi, poteva essere fatale. Ciò costringeva i tecnici preposti ai progetti non solo ad ideare complessi sistemi di tracciamento ed ingrandimento dei disegni che consentissero di riportare con estrema precisione i dati di progetto dallo spazio disegnato allo spazio reale, quanto apparve necessario utilizzare un metodo di rappresentazione in grado di fornire sulla carta una lettura contemporanea di tutti gli elementi dello spazio nei loro rapporti esatti.

In campo militare, allora, per la tragica urgenza della contingenza bellica che richiede rapida misurabilità ed immediato controllo, il metodo di rappresentazione utilizzato fu quella "prospettiva che serve alla pratica"[8] che non necessita di punti di vista ma consente di rappresentare il tutto e controllare ogni spazio, ogni possibilità, ogni direzione. "La capacità di comprendere e trasmettere i caratteri geografici e naturali di un sito da fortificare, si conferma nel '500 come l'operazione cardine da compiere per progettarne adeguate difese *alla moderna*; essa contiene un forte lievito di rinnovamento […]: la rappresentazione del sito gradualmente abban-

dona l'efficacia della resa pittorica, dell'abilità della mano e dell'occhio, per fondarsi sempre più su criteri di misurazione e sistemi grafici condivisi e convenzionali."[9] La proiezione parallela intende, infatti, evidenziare forma e misura degli oggetti: il problema non è tanto cosa riportare nello spazio della rappresentazione, ma come esplicitare struttura e funzione dell'oggetto nello spazio del disegno e controllarlo con la massima precisione, misurandone correttamente angoli e lati.

È questa una dimensione che prescinde dai punti di vista e che si esprime invece attraverso un diverso schema proiettivo: nel procedimento grafico di costruzione dell'immagine assonometrica non esistono punti di vista privilegiati ma solo direzioni che rendono del tutto impraticabile la rappresentazione convergente ed impossibile l'idea di un punto unico e finito in cui concorrono i raggi visuali; pertanto si pone e si impone nella storia della rappresentazione come la traduzione grafico-geometrica di un sistema visuale in cui il processo proiettivo riesce a descrivere un mondo che esiste *more geometrico* ma che nessun occhio umano ordina, un mondo in cui i raggi visuali *non ad eundem punctum concurrunt*,[10] ma restano paralleli come i raggi del sole.

In tal modo i costruttori di fortezze, risolvono il problema della rappresentazione metrica e funzionale degli elementi riportando, nella rappresentazione, lo spazio dell'oggetto e, utilizzando il metodo assonometrico, conferiscono anche legittimazione tecnica alla proiezione parallela. Essa si costituisce, così, stabilmente come *statuto della rappresentazione scientifico-ingegneristica*: in tal senso appare determinante il ruolo degli ingegneri militari che, "a seconda delle necessità operano come combattenti e conduttori di truppe, rilevatori sia di manufatti per la difesa propria e altrui sia delle localizzazioni e dei siti più opportuni da fortificare, documentando con relazioni e disegni - e spesso con suggerimenti politici - situazioni territoriali di ampia portata […]; sono altresì



Fig. 3 - E.E. Viollet-Le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e^ au XVI^e^ siècle, *Paris, 1856, Bastions remparé*



Fig. 5 - M. G. MAGGI, J. CASTRIOTTO, Della Fortificazione delle Città, *Venezia, 1564. Tav. p. 225, In Venetia, Appresso Rutilo Borgominiero, 375 x 249 mm*

progettisti di fortificazioni ex novo così come di adeguamenti e migliorie a quelle esistenti, spesso occupandosi anche di architettura civile e di teorizzare la propria esperienza."[11]

Così quando la proiezione parallela, in netto contrasto con le motivazioni filosofiche che ne avevano caratterizzato la diffusione nell'antichità e nel Medioevo,[12] viene usata non più per spiegare lo spazio ed i suoi oggetti, ma per rappresentarli e misurarli, fu soprattutto per una pura questione pratica. La novità è nell'uso che della proiezione parallela fanno i cosiddetti "fortificatori", i progettisti e i costruttori di fortezze militari che, tra Cinque e Seicento, ricorrono al disegno assonometrico come dimostrazione tridimensionale della fabbricabilità e della efficacia dei loro progetti: se pensiamo alle splendide raffigurazioni di fortezze presenti nel "Des Fortifications et artifices" del Perret[13] o a quelle di Jacomo Castriotto e Girolamo Maggi[14] che aprono il lungo capitolo della "prospettiva soldatesca" e che in realtà sono delle perfette assonometrie militari, ritroviamo in queste immagini tutta la geometria dell'oggetto considerato unicamente sotto l'aspetto metrico e funzionale, in chiara opposizione con la geometria dei punti di vista che ritrae invece gli elementi dall'esterno e da lontano.

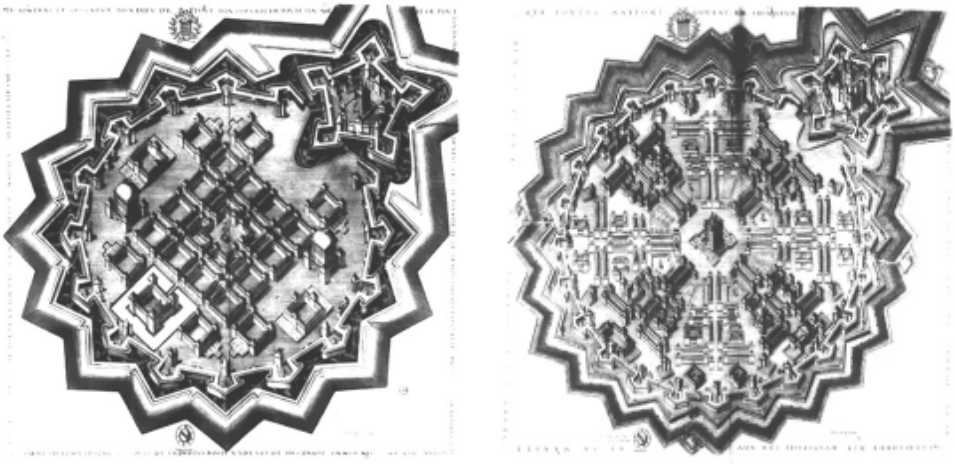


Fig. 6 - Da J. PERRET, Des Fortifications et artifices, architecture et perspective, *Paris, 1601*

L'occhio di chi legge queste rappresentazioni diventa, allora, simile all'oggetto che, a sua volta, viene raffigurato attraverso una *vista interiore*; in questo modo risulta del tutto annullato ogni spazio tra osservatore ed oggetto, data l'assenza di punti di vista e la presenza di sole direzioni. Nel disegno in proiezione parallela, infatti, è l'oggetto al centro della rappresentazione e la figurazione richiede il rispetto totale per la naturale forma delle cose e per "il gesto calligrafico che poeticamente ne rievoca l'essenza."[15] In ciò sta la differenza più profonda tra il cosiddetto metodo "convergente", la Prospettiva, ed il metodo "parallelo", l'Assonometria: mentre attraverso la rappresentazione con centro di vista unico e finito il disegno si affida ad una forma che "pur di apparire bella accetta di essere deformata",[16] utilizzando il centro di proiezione all'infinito il disegno colloca l'osservatore o, meglio, l'osservazione in una posizione oggettiva e, al tempo stesso, privilegiata, in quanto consente una "veduta panoramica ed istantanea, in cui, già al primo sguardo, tutto si offre immediatamente e simultaneamente."[17]

Il mantenimento del parallelismo coincide allora con il mantenimento della misurabilità dell'oggetto, intesa sia come possibilità di un suo controllo visivo, sia come dominio spaziale e configurativo dell'oggetto della rappresentazione, sia come fedele adesione alle reali caratteristiche metriche e formali. Le figure della misura, infatti, non hanno punti di vista, ma sono ricalchi, impronte, rappresentazioni *di veduta di sole*,

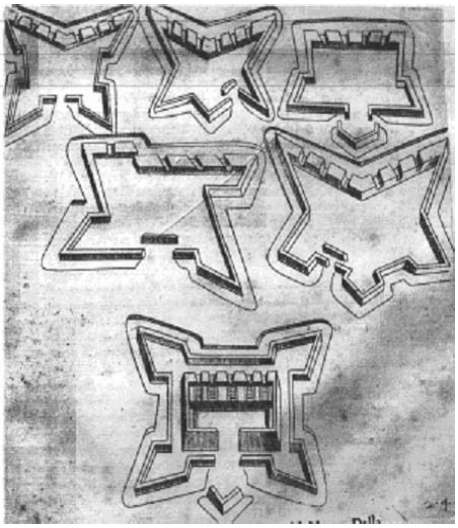


Fig. 7 - B. Lorini, Le fortificazioni di Bonaiuto Lorini, nobile fiorentino, *Venezia, 1609*

quelle rappresentazioni cioè che terminano "con linee, e lati paralleli, non occorrenti a punto alcuno di Prospettiva."[18]

In tal senso il centro di proiezione all'infinito risulta fattore determinante per il controllo dell'immagine proiettata soprattutto perché fornisce dell'oggetto una rappresentazione in cui sono immediatamente leggibili gli invarianti geometrici e formali, nonché i valori metrici. È dunque possibile rendere compatibile l'illusionismo della profondità con il disegno su carta, che ha due suole dimensioni, senza dover necessariamente ricorrere alla costruzione prospettica che aveva dominato tutta la cultura figurativa del Rinascimento; seguendo cioè quel procedimento grafico a-prospettico che Pomponio Gaurico, nel *De Sculptura* del 1504, aveva definito *disegno "in paralleli modo"* e che, pur non partendo da considerazioni di tipo geometrico, si

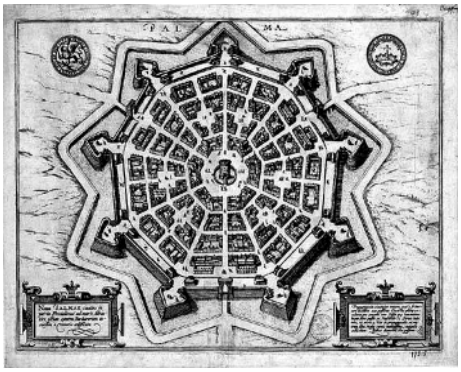


Fig. 8 - Rappresentazione, in assonometria militare, della città di Palmanova e delle sue mura (1600 ca.)



Fig. 9 - V. Coronelli, Urana (1660 ca.). Raprresentazione della città di Urana con indicazione di una bussola sul margine destro

riescono allora a produrre immagini fortemente allusive della tridimensionalità dello spazio. Il *paralleli modo* di Gaurico resterà ad indicare la proiezione parallela per tutti i secoli successivi fino alla codificazione ottocentesca per cui diverrà "proiezione assonometrica" e conquisterà il suo statuto scientifico con il celebre teorema che Pohlke enuncia nel 1853.[19]

D'ora in avanti l'immagine assonometrica, realizzata secondo le regole proiettive, è prodotta in maniera non espedientistica, ma costruttiva e rispettosa dei principi della visione: con una scelta opportuna degli assi di riferimento e della direzione del centro di proiezione è possibile conformare una rappresentazione allusiva della tridimensionalità dell'oggetto, capace di esprimerne i caratteri configurativi più intimi e di renderli visibili in un unico sguardo.

Nella prassi operativa, la rappresentazione assonometrica una volta fissati i termini matematico-geometrici dello spazio del disegno, attraverso punti-immagine e rette-immagine consente di evidenziare in termini immediati ed efficaci tanto le valenze spaziali che i rapporti formali dell'oggetto e di esprimere in maniera visualizzante sia i caratteri psicologici che gli aspetti fenomenologici di cui lo spazio geometrico è portatore.

Di ciò sembra che tutta la figurazione del Cinquecento e Seicento sia stata già cosciente attraverso il numero cospicuo di rappresentazioni di architettura fortificata che vengono elaborate secondo il modello della "prospettiva parallela" o "soldatesca": anche se si tratta di immagini costruite senza la consapevolezza del procedimento geometrico e proiettivo ma con lo scopo preciso di rappresentare l'oggetto per alluderne alla tridimensionalità e renderlo visibile tutto insieme, sono il preludio all'Assonometria che esiste e resiste nella prassi grafica prima e dopo la formulazione della Prospettiva.

Anzi l'uso della proiezione parallela continua ad essere non tanto la restituzione di una vista percepita con gli oc-

chi del corpo, ma, come suggerisce Plotino, è la vista di un'immagine colta con l'occhio interiore che per comprenderla annulla del tutto la distanza tra oggetto ed osservatore e si identifica completamente con esso dando vita ad una rappresentazione dove il mantenimento del parallelismo coincide con il mantenimento della misurabilità, dove l'azione del rappresentare coincide con l'azione del misurare, dove più che di vedere si tratta di capire.

[1] J. J. Wunenburger, *Philosophie des images*, Paris 1997; trad. it. *Filosofia delle immagini*, Torino, Einaudi, 1999, p. XII.

[2] M. Scolari, *Il disegno obliquo, una storia dell'antiprospettiva*, Venezia, Marsilio, 2005, p. 50.

[3] M. Scolari, *Il disegno obliquo, una storia dell'antiprospettiva*, cit., p. 25.

[4] cfr. M. Scolari, *Elementi per una storia dell'axonometria*, in "Casabella", n° 500, 1984, pp.42-49: "Le rappresentazioni che accompagnano i trattati sono delle perfette assonometrie militari, anche se, impropriamente, si continueranno a definire, per molti anni, prospettive".

[5] F. Guicciardini, *Storia d'Italia - Alla miglior lezione ridotta dal prof. G. Rosini*, Parigi, 1832, Libro 15, Cap. III, p. 100.

[6] M. Scolari, *Elementi per una storia dell'axonometria*, cit. p. 64.

[7] M. R. Pessolano, *Forti e cittadelle. Ipotesi per la difesa della Napoli vicereale*, in *L'architettura degli ingegneri. Fortificazioni in Italia fra '500 e '600*, a cura di A. Marino, Roma, Gangemi Editori, 2005, p. 154.

[8] G. B. Belici (Belluzzi), *Nuova invenzione di fabricar fortezze*, Venezia, 1598, p. 5.

[9] A. Marino, *A proposito di Atlanti. Note su un codice romano attribuito al Neroni*, in *L'architettura degli ingegneri*, cit., p. 77.

[10] Così scrive, intorno al 1380, Biagio Pelacani da Parma nelle sue *Quaestiones*.

[11] M. Viglino Davico, *Autenticità e copia nei disegni di architettura militare*, in *L'architettura degli ingegneri*, cit., p. 10.

[12] Per il suo particolare assunto concettuale le ragioni della proiezione assonometrica affondano le loro origini nella filosofia neoplatonica di Plotino per il quale l'immagine è il rispecchiamento fedele dell'oggetto che, per il principio stoico di *simpatia universale*, partecipa del suo modello.

[13] cfr. J. Perret, *Des Fortifications et artifices, architecture et perspective*, Paris, 1601.

[14] cfr. M. G. Maggi, J. Castriotto, *Della Fortificazione delle Città*, Venezia, 1564.

[15] cfr. M. Scolari, *Il disegno obliquo, una storia dell'antiprospettiva*, cit.

[16] cfr. M. Scolari, *Ivi*.

[17] cfr. J. J. Wunenburger, *Philosophie des images*, cit.

[18] P. ACCOLTI, Lo *inganno degl'occhi*, Firenze, Cecconcelli, 1625, p. 143.

[19] Il *Teorema di Pohlke* o *Teorema fondamentale dell'assonometria*, è stato enunciato da Karl Wilhelm Pohlke nel 1853 e dimostrato dal matematico Hermann Schwarz nel 1864. Esso afferma che, assegnati sul piano tre segmenti, Ux', Uy', Uz', aventi un estremo comune O' (ma di lunghezza e direzione arbitrarie), esiste nello spazio un centro di proiezione improprio, tale che sia possibile considerare i tre segmenti assegnati come proiezione da quel centro di tre segmenti uguali uscenti da un' origine O e perpendicolare tra loro a due a due. Cfr. KARL POHLKE, *Darstellende Geometrie*, Berlin, 1860.

Andrea Maglio

Il constructeur*: la tradizione ingegneristica francese del XIX secolo nella storiografia architettonica del Novecento*

Le prime riflessioni storico-critiche sull'architettura e sull'ingegneria ottocentesche risalgono alla fine degli anni Venti del Novecento. Seppure ad una breve distanza di tempo, e talvolta contemporaneamente, alle vicende esposte, e nonostante successivi aggiornamenti, correzioni e confutazioni, le interpretazioni avanzate in questi testi 'fondativi', oggetto delle presenti note, sono destinate ad avere lungo seguito.

Tra i primi studi sul tema, nel 1929, v'è *Modern Architecture. Romanticism and Reintegration,* di Henry-Russell Hitchcock, un autore destinato già di lì a poco a grande notorietà per *The International Style*, pubblicato nel 1932 con Philip Johnson. Hitchcock individua nella seconda metà del XVIII secolo le origini della vicenda del 'moderno', in particolare per la frattura tra l'aspetto formale e quello tecnico degli edifici[1]. La frattura delineata da Hitchcock corrisponde esattamente alla separazione tra ingegneria e architettura ottocentesche, convenzionalmente originata dalla fondazione dell'École des Ponts et Chaussées nel 1747. La tesi di Hitchcock si distingue per il fenomeno - come denuncia già il titolo - della 'reintegrazione': la frattura infatti si ricomporrebbe a partire dal passaggio dall'eclettismo di gusto a quello di stile, laddove il primo consiste nell'adozione di uno stile a seconda del carattere e della funzione dell'edificio, e il secondo nell'adozione di diversi stili all'interno di un unico edificio[2]. Per l'autore, il lento processo di ricomposizione fra tecnica e architettura arriverebbe a compimento solo con il 'moderno' novecentesco: per ritrovare l'unità perduta dopo la chiesa parigina di Sainte Geneviève di Jacques-Germain Soufflot, ultima espressione di congruenza delle conoscenze, bisognerebbe attendere ben oltre un secolo. Sempre nel testo del 1929 Hitchcock individua nella 'New Tradition', e cioè nell'architettura degli ultimi venticinque anni dell'Ottocento e dei primi quindici del Novecento, il primo momento del processo di ricomposizione tra *architecture* ed *engineering*, termine quest'ultimo considerato equivalente di *building*. Tale interpretazione segue uno dei canovacci più tipici della storiografia degli inizi del XX secolo, quello fondato sulla dialettica tra ascesa, declino e risalita o, per dirla con Hitchcock, tra unità, frattura e reintegrazione[3].

L'indicazione della metà del Settecento come termine *a quo* per la vicenda dell'architettura moderna, confermata nel 1958 dallo stesso Hitchcock, viene condivisa da molti studiosi, tra cui Sigfried Giedion, Peter Collins e, in tempi più recenti, anche da Kenneth Frampton[4].

Il rapporto di reciproca influenza tra Hitchcock e Giedion è avvalorato dall'uso della categoria del 'classicismo romantico', traccia essenziale di *Architecture: Nineteenth and Twentieth Centuries*, scritto da Hitchcock nel 1958, ma definita da Giedion già in occasione della tesi di dottorato, pubblicata nel 1922 con il titolo di *Spätbarocker und romantischer Klassizismus*, con cui è individuata una fase cronologicamente determinata a cavallo dei secoli XVIII e XIX[5].

Nel testo del 1929, però, Hitchcock non dedica alla situazione francese la stessa attenzione che ricevono America, Olanda, Austria e Germania, in tal modo allontanandosi dalla centralità che Giedion aveva attribuito alla Francia un anno prima, nel '28, pubblicando *Bauen in Frankreich. Eisen und Eisenbeton* (Costruire in Francia. Ferro e calcestruzzo armato); tuttavia, sembra pienamente accogliere, nella sua logica di consequenzialità tra 'New Tradition' e 'New Pioneers', la discendenza del 'pioniere' Le Corbusier dall'opera di Auguste Perret, nonché l'attribuzione di un ruolo marginale ad altri architetti come André Lurçat. Il tema dei 'pionieri' diverrà la fortunata formula storiografica con cui Nikolaus Pevsner articolerà l'intero schema narrativo di *Pioneers of the Modern Movement*[6]. Tra gli storiografi della prima metà del XX secolo, nella ricerca di radici profonde dell'architettura moderna, Pevsner sosterrà la linea inglese e Giedion quella francese[7].

La pubblicazione di *Bauen in Frankreich* rappresenta il primo tentativo di restituire un quadro organico dell'architettura moderna francese, individuando una precisa genealogia di opere e personaggi. Scritto in lingua tedesca, il libro non influenza solo l'americano Hitchcock ma anche lo studioso tedesco Gustav Adolf Platz, che modifica significativamente la struttura del proprio libro del 1927, *Die Baukunst der neuesten Zeit*, ripubblicandolo tre anni dopo e correggendo l'impostazione germanocentrica[8]. L'influenza di Giedion sul testo di Platz è tanto più significativa se letta alla luce del ruolo fondativo svolto dal libro di quest'ultimo, la prima vera 'storia' dell'architettura moderna[9].

La necessità di uno schema storiografico congruente alle finalità degli autori comporta alcune vistose semplificazioni: in particolare, com'è stato osservato, l'attribuzione a Napoleone da parte di Giedion, e poi anche di Platz, della fondazione *ex-novo* dell'École des Beaux-Arts, distinta dall'École Polytechnique, senza tenere conto dei significativi precedenti[10]. Aperta nel 1794, l'École Polytechnique così chiamata a partire dall'anno seguente, nel 1805 è riformata da Napoleone nel proprio ordinamento dotandosi di statuto militare. In ogni caso, poche sono le differenze con la precedente École des Ponts et Chaussées, così come avviene per l'Académie des Beaux-Arts, nel 1803 separata dalle accademie letterarie, ricalcando precedenti modelli delle Académies Royales e che diverrà nel 1863 École des Beaux-Arts. In tal modo viene rimarcata la tesi sommaria del duali-

smo tra architettura e ingegneria nel XIX secolo sulla base della creazione di figure professionali distinte proprio attraverso la separazione degli istituti di formazione: da un lato l'architettura ufficiale legata alle arti figurative e dall'altro insegnamenti fondati su matematica, fisica, economia e teorie saint-simoniane[11]. Nell'ottica dell'artificio storiografico con cui separare le due tendenze dell'Ottocento, la linea francese appare quindi quella più adatta.

Nel XIX secolo, come scrive Giedion in *Bauen in Frankreich*, "il concetto di architettura è legato a un materiale: la pietra. Massa e monumentalità sono l'essenza stessa di questo materiale"[12]. Solo l'uso dei materiali moderni avrebbe condotto ad una nuova elaborazione formale (*Gestaltung*). Riferendosi quindi al contesto francese, per illustrare il 'meccanismo' della frattura e della ricomposizione, egli distingue le due linee relative al ferro e al cemento armato: da un lato i grandi magazzini, le strutture espositive e i ponti, e dall'altro, quasi in linea di successione, le opere di Perret, Garnier e Le Corbusier; in tal modo, sembra anche che la tradizione ingegneristica si esprima, nel corso dell'Ottocento, soprattutto nelle opere in ferro, lasciando agli architetti, a partire all'incirca dal nuovo secolo, il primato delle opere in cemento armato. La 'reintegrazione', avvenuta solo con il lavoro di Le Corbusier, sarebbe quindi stata preceduta non solo dai 'pionieri' del cemento armato, ma anche dalle opere in ferro degli ingegneri francesi, ossia proprio i *constructeurs*.

Il termine tedesco usato da Giedion (*Konstrukteur*) deriva da quello francese, adoperato già da Le Corbusier, e non è certo un caso se Giedion individua in ambito francese l'affermarsi di tale figura e la crescente contrapposizione con quella dell'architetto-artista: "nella storia dei *Konstrukteure* del XIX secolo il primato spetta alla Francia"[13]. Le ragioni della scelta di questo paese quale caso rappresentativo del processo di 'frattura' e 'reintegrazione', oltre alla separazione delle scuole di formazione, stanno perciò nella supposta supremazia tecnica francese, raggiunta proprio grazie agli ingegneri-costruttori. Tra i segni di questo primato vi sarebbe ad esempio il fatto che la luce interna del Crystal Palace londinese, di 22 metri, è superata dopo solo quattro anni da quella per la sede dell'esposizione parigina del 1855, di 48 metri.

Sintomo della 'scissione' ottocentesca, proprio il Crystal Palace è all'epoca generalmente considerato opera ingegneristica e non architettonica, a causa della sua origine non accademica e nonostante l'aspetto 'ludico' da cui deriva l'ampia gamma di decorazioni e variazioni stilistiche. Il 1851, anno della Great London Exhibition, da alcuni è considerato un punto di inizio del lungo processo di ricomposizione tra architettura e ingegneria, l'anno in cui l'innovativo edificio di Paxton si confronterebbe con la vicenda del concorso della Maximilianstraße di Monaco, canto del cigno dell'architettura degli stili[14]. Nella seconda edizione del suo libro, Platz apre il capitolo dedicato all'ingegneria

proprio con il Crystal Palace, seguito dalla Bibliothèque Sainte-Geneviève di Labrouste, dai magazzini Bon Marché di Eiffel e Boileau, dalla torre Eiffel, dalla Galerie des Machines e dal Pont Transbordeur di Arnodin[15], tutte opere in precedenza illustrate ed apprezzate da Giedion, con l'eccezione del solo Crystal Palace, tra queste - forse non a caso - l'unica su suolo inglese.

L'affermazione della figura del *constructeur* è in ogni modo legata allo sviluppo industriale che verso la metà dell'Ottocento raggiunge risultati sorprendenti. Dopo il 1890, invece, secondo Giedion l'industria non costituirebbe più una novità e il ruolo dell'ingegnere-costruttore sembrerebbe esaurito, per poi tornare invece all'attenzione negli anni Venti del nuovo secolo[16].

Diversamente dall'architetto, il *constructeur* rinuncia alla riconoscibilità e lavora in maniera anonima e collettiva. Perciò, come avveniva nel medioevo, talvolta non ne conosciamo i nomi[17]. Appartenente alle generazioni nate tra il 1800 e il 1830, è una figura con una competenza assai ampia e spesso diviene anche imprenditore. I primi *constructeurs*, secondo Giedion, esprimono la loro cultura progettuale con tale coerenza da non avere precedenti se non nella mente dei visionari. Tra quelli della prima generazione sono citati Antoine-Rémy Polonceau (1778-1847), Eugène Flachat (1802-73), Hector Horeau (1801-72) e Henri Labrouste (1801-75), mentre tra i nomi della seconda generazione spicca quello di Gustave Eiffel (1832-1923)[18]. Ingegnere di ponti e strade, padre dell'inventore della capriata che porta il loro nome, Polonceau progetta nel 1839 a Parigi il celebre pont du Carrousel; Flachat costruisce la prima ferrovia francese; Horeau vince nel 1850 il primo premio per l'edificio della Great London Exhibition, un incarico assegnato solo un mese dopo a Joseph Paxton, con grande rammarico di Giedion[19].



Fig.1 - H. Labrouste, Biblioteca S.te Geneviève, Parigi, 1834-50: la Réserve (da S. Giedion, Bauen in Frankreich*)*

Quella di Labrouste è certamente una personalità rappresentativa, tesa a riconciliare - nell'ottica dello studioso svizzero - nella nuova figura dell'architetto-*constructeur* due ambiti fino ad allora separati. Egli sostiene di progettare a seconda del clima, dei materiali e dei bisogni del programma[20], seguendo il metodo 'positivo' di Auguste Comte e quindi evitando scelte estetizzanti arbitrarie. Poiché Labrouste non è ingegnere, ma architetto, sembra più facile poter ravvisare in lui una felice sintesi del-

le due diverse sensibilità[21] . Per Giedion egli "vede nella struttura (*Konstruktion*) il volto più interno dell'architettura e l'aspetto esteriore degli edifici solo quale involucro o epidermide"[22] . Persino nei templi di Paestum Labrouste ricerca "l'organisme de chaque construction"[23], ossia un principio strutturale universalmente valido e non proporzioni immutabili, né dettagli da copiare.

Nell'ottica del tutto negativa con cui viene giudicata l'architettura ottocentesca, Labrouste costituisce la figura ideale dell'*outsider*, ostracizzato dall'accademia, senza lavoro per dodici anni prima di ricevere l'incarico per la Bibliothèque Sainte-Géneviève e dimenticato dopo la sua morte. Le ragioni di questa avversione starebbero nella natura della sua opera: la biblioteca, primo edificio pubblico dedicato interamente a questo scopo sul suolo francese, è basata su una struttura a scheletro metallico che parte dal terreno per arrivare al tetto, seppure inglobata in elementi in muratura, "come il meccanismo all'interno di un orologio"[24]. Negli spazi della *réserve* al piano terreno i pilastri in ghisa sono visibili nella loro nuda funzionalità, senza capitelli né elementi decorativi e senza nemmeno traccia sul soffitto della trave del solaio. Secondo Giedion, questa rappresentazione sincera della soluzione strutturale rimanda direttamente a Le Corbusier e a Mart Stam. Inoltre, l'idea di spezzare l'arcata semicircolare della struttura nella sala di lettura al piano superiore può essere vista come un'anticipazione dell'arco a tre cerniere che apparirà 40 anni più tardi, con la Galerie des machines, di Dutert e Contamin, per l'esposizione del 1889[25] .

Quasi tacendo della più tarda Biblioteca Nazionale, del lavoro di Labrouste Giedion rileva gli elementi rispondenti al proprio ragionamento, trascurando il prospetto dell'edificio, con la sua simbologia da *architecture parlante*, e sorvolando sulla veste classicheggiante degli elementi strutturali nella sala di lettura.

L'altra figura-chiave individuata è quella di Eiffel, non solo autore della torre parigina, ma anche abile costruttore di viadotti, di grandi magazzini, di stazioni, dell'armatura della Statua della Libertà e del progetto per le chiuse del canale di Panama. Imprenditore, fonda un'azienda per la produzione di laminati in ferro e diventa uno sperimentatore di



Fig. 2 - G. Eiffel, Torre Eiffel, Parigi, 1889
(da S. Giedion, Bauen in Frankreich*)*

nuove strutture come quelle reticolari. Uno dei problemi su cui Eiffel concentra i propri studi è quello delle travature paraboliche, con cui sono costruiti i suoi ponti metallici. Con lui il termine *constructeur* diverrebbe sinonimo di un approccio razionale e moderno. Come per Labrouste, anche del lavoro di Eiffel Giedion restituisce una lettura parziale: non sembra prendere in considerazione la possibilità che Eiffel intenda attribuire anche un valore estetico alle proprie opere, come dimostra emblematicamente il noto caso della torre, i cui quattro arconi alla base non hanno una ragione funzionale, ma di puro raccordo visivo tra le parti strutturali. Giedion elude la questione sottolineando in maniera sibillina la continuità delle sue sperimentazioni nel passaggio dai progetti per i ponti a quello per la torre, dove le travature paraboliche sarebbero "ricondotte ad un principio architettonico"[26]. In un'ottica di sviluppo 'positivo', la torre andrebbe quindi letta quale manifesto delle possibilità offerte dalla struttura a scheletro in acciaio le cui potenzialità, secondo Giedion, saranno espresse in seguito negli Stati Uniti con la tipologia del grattacielo[27].

É interessante rilevare il giudizio di Hitchcock, nel 1958, sulla torre Eiffel, ritenuta opera d'ingegneria e non di architettura, del tutto assimilabile alle strutture dei ponti. Il critico americano rileva gli aspetti forse volontariamente sfuggiti a Giedion, mostrandosi interessato ad un'altra tesi che invece include la torre tra le costruzioni in ferro dell'Art Nouveau: vi "si avverte una notevole ambiguità di concezione. Visti da lontano, i quattro grandi supporti alla base della torre conservano ancora molto del vigoroso slancio dei ponti di Eiffel e il grande fusto affusolato, composto di elementi metallici incrociati, sembra, ma di fatto non è, il risultato quasi meccanico della tecnica della costruzione in metallo a scala gigantesca. Però viste da vicino le forme, arcuate, di un profilo arbitrario, che uniscono i quattro piloni, sono molto notevoli e lo stesso si dica della cruda decorazione di nastri curvilinei […]. Questa mescolanza di coraggiosa messa in evidenza degli elementi strutturali e di decorazione applicata appare molto vicina al modo in cui l'Art Nouveau intende l'edificio in metallo"[28]. Il riferimento all'Art Nouveau appare quanto mai indicativo dell'intenzione di considerare la torre come un punto di svolta tra il secolo che si avvia a conclusione e quello successivo. L'Art Nouveau stessa sarà letta dalla storiografia successiva quale ultimo fenomeno del mondo ottocentesco oppure come punto di partenza per gli sviluppi del nuovo secolo[29].

"L'apparizione dell'ingegnere-costruttore comporta necessariamente l'introduzione di nuove modalità progettuali, rapide e industrializzate"[30]: a differenza di quanto sostenuto dalle tesi ormai consolidate, Giedion sembra ipotizzare che non sia la disponibilità dei nuovi materiali a determinare la nascita della nuova figura professionale, ma un'attitudine legata allo *Zeitgeist*. In altre parole, tale ottica si allontana dal determinismo di Gottfried Semper per allinearsi mag-

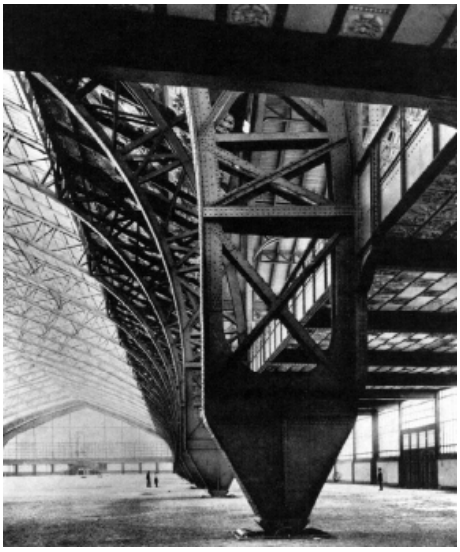


Fig. 3 - F. Dutert, V. Contamin, Galerie des machines, Parigi, 1889 (da S. Giedion, Bauen in Frankreich*)*



Fig. 4 - La Galerie des machines nell'immagine originale

giormente con la tesi del *Kunstwollen* riegliano, sebbene l'ottica evoluzionista di Giedion derivi dalla riflessione semperiana.

Rifiutando il ruolo dello storico dedito unicamente allo studio del passato, Giedion definisce una critica 'operativa', interpretando il presente e progettando il futuro. Il suo atteggiamento teleologico, come quello di altri storici del Novecento, trae però in inganno perché, nonostante tutto, *Bauen in Frankreich* non è un libro di storia dell'ingegneria, ma intende dimostrare come i processi industriali abbiano influenzato l'ingegneria, a sua volta determinante per un corretto uso dei nuovi materiali e quindi per l'elaborazione di nuove soluzioni formali da parte degli architetti[31]. Lo dimostra anche il titolo provvisorio, poi modificato: *Konstruktion wird Gestaltung* (la struttura diventa forma). Questo slogan appare nel libro a chiusura del capitolo sulle esposizioni internazionali, dopo una lunga serie di immagini della Galerie des machines e prima di analizzare, nel capitolo successivo, la torre Eiffel[32]. Va quindi rilevato che la scelta del contesto francese non dipende solo dai risultati raggiunti dai *constructeurs*, quanto dalla possibilità di considerare universali tali conquiste tecniche, poi fatte proprie dagli architetti moderni.

Infatti, seppur militante, Giedion resta uno storico e il suo libro del '28 risponde all'esigenza di trovare radici alle avanguardie architettoniche degli anni Venti inserendole all'interno di una prospettiva storica ampia: radici che non sono quasi mai teoretiche, ma estremamente concrete, come dimostra la clamorosa censura su Viollet-le-Duc. Il

constructeur diviene quindi per Giedion, come per Platz e Hitchcock - ma l'atteggiamento è lo stesso anche in Pevsner, seppur con riferimento ad un ambito geografico diverso - un tassello significativo affinché l'architettura ritrovi la via maestra perduta con la 'mascherata' degli stili ottocenteschi. Tale ricerca di radici si spinge oltre la volontà degli stessi architetti, come Gropius o Le Corbusier, decisi a respingere ogni eredità del passato. Da parte loro, l'esaltazione dei silos per grano americani o degli hangar per aeroplani rientra nell'ottica dell'estetica della macchina e non sottintende alcuna linea evolutiva. E, sebbene Giedion non sia il primo a voler attribuire valore estetico alle opere di ingegneria, la novità consiste nello stretto legame ravvisato tra ingegneria ottocentesca e architettura delle avanguardie[33].

Le costruzioni metalliche ottocentesche sono interpretate come saggio di 'architettura sperimentale', supportata non solo dai progressi della tecnica quanto più in generale da quelli della scienza[34]. Il rapporto di causa-effetto tra le opere dei *constructeurs* e quelle dell'avanguardia è sottolineato dalla combinazione delle immagini, collegate attraverso frecce che alludono, con indicazione cronologica, al passaggio di consegne da un edificio all'altro, con una logica che è stata definita "cinematografica"[35]: la fabbrica di cioccolata Menier di Jules Saulnier anticipa così l'edificio di Mies van der Rohe per il Weißenhof di Stoccarda, l'edificio espositivo parigino di Eiffel del 1878 anticipa quello per la sede del Bauhaus a Dessau, la struttura sospesa della scala della torre Eiffel anticipa il progetto di Mart Stam per l'edificio con ponte sul Rokin Dam ad Amsterdam. Il layout grafico del volume, ideato da Lázló Moholy-Nagy[36], è quindi finalizzato a fornire un'esemplificazione delle tesi esposte, talvolta anche in maniera capziosa: la Galerie des machines, celebrata per la chiara configurazione della struttura ad arco a tre cerniere, è volutamente mostrata in una foto che nasconde i pilastri di appoggio delle gallerie laterali, sebbene la didascalia reciti che, "senza base e senza rigido collegamento col terreno, il carico dell'intero capannone poggia su piccole basi a cerniera"[37].

Il lavoro di Giedion costituisce in ultima analisi anch'esso un prodotto dell'avanguardia, tanto nella forma quanto nella sostanza. Espone tesi storiografiche destinate, con il loro carico di omissioni, pregiudizi e faziosità, a durare per decenni e rientra perfettamente nell'*esprit du temps*.

La centralità della figura del *constructeur*, forza culturale trainante e vero motore della 'reintegrazione', è l'altra faccia della condanna assoluta, senza alcuna distinzione, dell'eclettismo. Tra i meriti di *Bauen in Frankreich* vi è però proprio la centralità attribuita a questa figura, assimilabile all'ingegnere ma in cui possono riconoscersi anche architetti come Labrouste. In tal modo, prima e ben più di Hichtcock, Platz e Pevsner, Giedion contribuisce a valorizzare una parte notevole della produzione edilizia francese e di

conseguenza europea. Aiutato dalla sua doppia formazione di ingegnere meccanico e storico dell'arte, Giedion argomenta con rara padronanza della materia ed ammirevole finezza speculativa, affrontando un nodo storiografico fino ad allora irrisolto.

Il senso dell'intera operazione potrebbe essere sintetizzato attraverso la citazione di Le Corbusier, come sempre apodittico ed essenziale, con cui Giedion chiude il paragrafo sul rapporto tra ingegneri-costruttori e architetti: "il secolo della macchina ha prodotto il *constructeur*, e nuovi programmi, nuove tecniche e nuovi mezzi lo hanno aiutato a nascere. Ora egli è ovunque all'opera"[38].

[1] H.-R. Hitchcock, *Modern Architecture. Romanticism and Reintegration*, New York, Payson and Clarke, 1929.

[2] La tesi della svolta costituita dal passaggio tra *eclecticism of taste* ed *eclectisim of style* deriva da G. G. Scott, *Remarks on Secular and Domestic Architecture, Presente and Future*, Londra, John Murray, 1857.

[3] Cfr. M. L. Scalvini - M. G. Sandri, *L'immagine storiografica dell'architettura contemporanea da Platz a Giedion*, Roma, Officina, 1984, p. 21.

[4] S. Giedion, *Bauen in Frankreich. Eisen und Eisenbeton*, Lipsia-Berlino, Klinkhardt & Biermann, 1928; H.-R. Hitchcock, *Architecture: Nineteenth and Twentieth Centuries*, Londra, Yale University Press, 1958 (trad. it. *L'architettura dell'Ottocento e del Novecento*, Torino, Einaudi, 1971); P. Collins, *Changing Ideals in Modern Architecture 1750-1950*, Londra, Faber & Faber, 1965 (*I mutevoli ideali dell'architettura moderna*, Milano, Il Saggiatore, 1973); K. Frampton, *Modern Architecture: a critical History*, Londra, Thames & Hudson, 1980 (Storia dell'architettura moderna, Bologna, Zanichelli, 1982).

[5] Cfr. P. Scrivano *Introduzione* a H.-R. Hitchcock, *L'architettura dell'Ottocento e del Novecento*, Torino, Comunità, 2000, nuova ed. it. di *Architecture: Nineteenth…*, cit., pp. XXXVIII-XXXIX.

[6] N. Pevsner, *Pioneers of the Modern Movement from William Morris to Walter Gropius*, Londra, Faber & Faber, 1936 (trad. it. *I pionieri dell'architettura moderna: da William Morris a Walter Gropius*, Milano, Rosa e Ballo, 1945).

[7] L'architettura in Francia era stata già oggetto dell'attenzione del belga H. van de Velde, anche egli vicino sia alla cultura francese che a quella tedesca, con *Der neue Stil in Frankreich*, Berlino, Wasmuth, 1925.

[8] G. A. Platz, *Die Baukunst der neuesten Zeit*, Berlino, Propyläen, 1927[1], 1930[2].

[9] Cfr. A. Maglio, *Germania 1925-1930. Scritti di teoria e di storia dell'architettura*, in *Luoghi e stagioni dell'architettura moderna fra Europa e Stati Uniti*, Napoli, Cuen, 1996, a cura di M. L. Scalvini - F. Mangone, pp. 109-140.

[10] M. L. Scalvini - M. G. Sandri, cit., p. 25.

[11] S. Giedion, *Bauen in Frankreich*, cit. p. 16.

[12] Ivi, p. 6.

[13] Ivi, p. 16. Giedion usa qui il termine *Konstruktivismus*, in un'accezione assai diversa dalla traduzione letterale italiana: la *Konstruktion* rappresenta l'anima strutturale dell'edificio.

[14] H. Soergel, *Architektur-Ästhetik. Theorie der Baukunst*, Monaco, Piloty & Loehle, 1921, p. 256 e segg.

[15] G. A. PLATZ, cit., II ed., pp. 203-211.

[16] S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 10 e segg.

[17] La storia 'anonima', sostenuta dal suo maestro Wölfflinn nell'ambito dell'arte, tornerà come *Leitmotiv* giedioniano in *Mechanization Takes Command. A Contribution to Anonimous History*, New York, Oxford University Press, 1948 (*L'èra della meccanizzazione*, Milano, Feltrinelli, 1967).

[18] Ivi, pp. 13-14.

[19] Solo con *Space, Time and Architecture. The Growth of a New Tradition*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press, 1941 (*Spazio, tempo e architettura*, Milano, Hoepli, 1954), GIEDION considererà il Crystal Palace un passo decisivo verso il moderno.

[20] H. LABROUSTE, *Travaux d'Elèves de l'Ecole de l'architecture de Paris*, "Revue générale de l'architecture des travaux publics", 1840, p. 543: in S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 14.

[21] Cfr. S. VON MOOS, *Giedion, Labrouste e la modernità*, in *Henri Labrouste 1801-1875*, Milano, Electa, 2002, a cura di R. DUBBINI, pp. 16-25.

[22] S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 14.

[23] Ivi, p. 19.

[24] Ivi, p. 23.

[25] Ivi, pp. 22-25.

[26] Ivi, p. 14.

[27] Ivi, p. 60.

[28] H.-R. HITCHCOCK, *Architecture: Nineteenth...*, cit., p. 387 dell'ed. it., Torino, 2000.

[29] La prima posizione sarà sostenuta da F. DAL CO - M. TAFURI, *Architettura contemporanea*, Milano, Electa, 1976; la seconda da R. DE FUSCO, *Storia dell'architettura contemporanea*, Roma – Bari, Laterza, 1974.

[30] S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 10.

[31] Cfr. S. GEORGIADIS, *Sigfried Giedion. Eine intellektuelle Biographie*, Zurigo, Ammann, 1989, in part. il cap. 3. Un breve sunto della trattazione è pubblicato con il titolo *Un libro di storia al servizio di una causa*, "Rassegna", 1986, n. 25, pp. 48-61.

[32] S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 58.

[33] Riflessioni sull'estetica dell'ingegneria, prima anche di Le Corbusier, erano state compiute da A. G. MEYER, *Eisenbauten. Ihre Geschichte und Aesthetik*, Esslingen, Neff, 1907; e da J.-A. LUX, *Ingenieur-Ästhetik*, Monaco, Gustav Lammers, 1910.

[34] J.-L. COHEN, *Avant-propos* alla trad. francese di S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit.: Parigi, Éditions de la Villette, 2000, p. XI.

[35] Ivi, p. X.

[36] Anche se Giedion attribuisce il progetto grafico a Moholy-Nagy, Cohen ipotizza che questo sia invece dovuto allo stesso Giedion: ibidem.

[37] S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 54. Cfr. anche G. KORFF, *Esposizioni reali e esposizioni immaginarie*, "Rassegna", cit., pp. 72-88, p. 77.

[38] LE CORBUSIER, "L'Esprit Nouveau", 1924, n. 25, in S. GIEDION, *Bauen in Frankreich*, cit., p. 12.

Anna Bottini

L'ingegneria dei ponti in ferro nella manualistica ottocentesca

L'Ottocento è un secolo d'oro per la figura professionale dell'ingegnere. La tecnologia del ferro apre nuovi orizzonti alla progettazione delle grandi strutture e per sfruttarne al massimo tutte le potenzialità vi è la necessità di una continua informazione. La divulgazione sistematica del sapere scientifico e tecnologico diventa così una priorità, in quanto indispensabile per creare, unificare e potenziare i bacini socio-economici. Gli ingegneri di ponti, spinti dalle esigenze tecnologiche e dalla febbre della grande luce, inizialmente operano semplicemente una 'sostituzione' dei materiali tradizionali derivando le forme dalla tradizione classica ed asservendovi il ferro. Famosi esempi di questa mimesi tecnologica ed architettonica nella concezione strutturale sono l'Iron Bridge ed il Ponte di Sunderland. L'Iron Bridge sul Severn a Coalbrookdale, realizzato da Abraham Darby tra il 1777 e il 1781, adopera elementi di ghisa assemblati senza fare ricorso a chiodi o a bulloni, ma con cunei ed incastri a tenone e mortasa, cioè con tecniche tipiche della carpenteria lignea, mentre il Ponte di Sunderland, costruito tra il 1793 e il 1796 sul fiume Wear, presenta una struttura portante frutto dell'assemblaggio di conci in ghisa, con una concezione strutturale assimilabile a quella dei ponti in pietra. La 'nascita' di nuove soluzioni deriva dalla conoscenza scientifica delle caratteristiche del nuovo materiale, che porta al raggiungimento dell'emancipazione formale attraverso strutture come il ponte sospeso che con la sua struttura 'leggerissima' permetterà di superare luci ritenute impossibili fino a quei tempi. La giovane tecnologia del ferro richiede all'ingegnere l'invenzione di nuovi tipi costruttivi, nonché strumenti di cantiere come i cassoni pneumatici e presuppone alti livelli di conoscenza in ambito scientifico, tecnologico e perfino economico. Si spiega così la particolare importanza assunta dalla letteratura ingegneristica, le cui frequenti ristampe rendono evidente il ritmo incalzante dell'innovazione, sempre più dinamica a partire dai primi decenni dell'800.

La produzione manualistica fornisce uno spaccato dell'evoluzione tecnologica e progettuale ed evidenzia il passaggio dalla meccanica dell'intuizione alle nuove metodologie progettuali e di calcolo. Con il positivismo si rafforza il mito di un inarrestabile progresso umano e sociale; la fiducia totale nello sviluppo tecnologico affida alla scienza la risoluzione di tutti i problemi dell'umanità. In questo clima prende corpo la moderna scienza delle costruzioni; grazie all'operato di Navier, Cauchy, Poisson, Lamé, Clapeyron, De Saint-Venant, Culmann e tanti altri, vengono gettate le fondamenta della teoria matematica dell'elasticità e della meccanica strutturale, ren-

dendo possibile una progettazione scientifica, con un controllo matematico dei risultati. In Europa e nel continente americano si assiste ad una vasta produzione di memorie, trattati e manuali, nonché alla nascita di periodici specialistici, che riguardano l'applicazione del ferro, con particolare attenzione ai ponti che, grazie alla rapida espansione della ferrovia, diventano i protagonisti del secolo, elementi cruciali dello sviluppo economico, *luogo* della sperimentazione e dell'applicazione del sapere ingegneristico. Nei ponti, infatti, in cui forma e funzione coincidono, il processo di emancipazione dalla tradizione costruttiva è più rapido rispetto alle altre costruzioni metalliche, tanto che a questo settore della progettazione fa riferimento tutta l'architettura dell'ingegneria del ferro.

Jean Baptiste Rondelet (1743-1829), famoso architetto che evitò il crollo del Panthéon di Parigi, autore del *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir* in 7 volumi, pubblicato a Parigi nel 1802, riedito a Mantova nel 1832 col titolo *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare*, sostiene l'importanza della qualità dei materiali e della tecnica costruttiva come volano per la progettazione. Questo testo rappresenta la cultura illuminista ed è il punto di riferimento nella prima metà dell'800, sia per quanto riguarda l'aspetto teorico, sia per quello pratico e costruttivo. Nel Libro VII, Rondelet parla della costruzione dei ponti in ferro soffermandosi sulle problematiche legate al nuovo materiale e riportando alcuni esempi di realizzazioni. Secondo Emiland Claude Marie Gauthey, l'impiego del ferro nei ponti risale già al XVI secolo e se ne trova indizio nelle opere italiane[1]. L'idea di utilizzare il metallo come materiale da costruzione per i ponti sembra essere stata teorizzata da Fausto Veranzio da Sebenico sul finire del Rinascimento nel suo noto trattato *Machinae Novae* del 1615, dove presenta un '*pons ferreus*', un ponte sospeso con catene di ferro ancorate a due torri poste sulle due sponde del fiume. Verso la fine del XII secolo, però, lungo la strada del Gottardo, sul burrone della Schöllenen, sembra sia stato costruito un ponte con catene di ferro appese ad uncini piantati nella roccia, sorreggenti un impalcato ligneo. Secondo alcuni storici i primissimi ponti in ferro sono in realtà più antichi, frutto della civiltà cinese.

Di fondamentale importanza per lo sviluppo dei metodi di calcolo sono le seguenti due opere di Navier e di Culmann. Louis Marie Henry Navier (1785-1836), ingegnere capo del *Corpo di Ponti e Strade*, professore della *École des ponts et chaussées*, insigne personaggio della scienza delle costruzioni (ha dato il suo nome ad una delle formule più famose di questa disciplina), nel 1864 pubblica il trattato *De la résistance des corps solides*, sulla resistenza dei corpi sollecitati a compressione, trazione, flessione e torsione, che ebbe notevole influsso sulle successive sperimentazioni delle tecniche costruttive in relazione soprattutto al ferro. La prima edizione del *Die graphische Statik* (1865) di Karl Culmann (1821-1881), pietra miliare nella storia della

scienza delle costruzioni, pone la statica grafica alla base della meccanica strutturale. Giovanissimo Culmann inizia a lavorare per la Compagnia delle Ferrovie occupandosi soprattutto della costruzione dei ponti ferroviari, una delle nuove istanze tecniche del XIX secolo. Dopo un'esperienza biennale negli Stati Uniti d'America pubblica il *Der Bau der holzenbrucken in den Vereinigten Staten von Nordamerika*, edito a Vienna nel 1851, cui fa seguito una seconda edizione nell'anno seguente. Teoricamente, però, la paternità della prima metodologia di calcolo delle reticolari spetta a Whipple che, nel 1847, pubblica *An Essay on Bridge Building*, in cui è affrontata l'analisi statica delle reticolari attraverso la scomposizione analitica delle forze. Il metodo di calcolo proposto da Culmann, però, è più completo di quello di Squire Whipple (1847) ed Hermann Haupt (1851).

I prototipi dei ponti in ferro diventano modelli di riferimento, diffusi soprattutto tramite il *Rapport et mémoire sur les ponts suspendus* di Navier, edito a Parigi nel 1823 ed a Milano nel 1840. Quella di Navier è un'opera fondamentale sul progetto e l'esecuzione dei ponti sospesi, contenente il rapporto del viaggio di studio dell'autore in Inghilterra (1823) e la celebre memoria sul calcolo dei ponti sospesi, con la quale si gettano le basi della moderna progettazione strutturale (1830).

Altri trattati, tutti con le medesime caratteristiche, sono le *Mémoires sur les travaux publics de l'Angleterre* di M. Dutens (Parigi, 1819), *Notice sur le nouveau système de ponts en fonte suivi la construction du pont du Carrousel* di A. R. Polonçeau (Parigi, 1839), *An Account on the construction of the Britannia and Conway tubular bridge* di W. Fairbairn (Londra, 1849), *Notice sur l'emploi de la tôle du fer forgé dans les ponts* di N. Cadiat e Alphonse Oudry (Parigi, 1851), *Exemple of Iron Bridge* di R. Dempsey e G. Drysdale, (Londra, 1852), *Traité pratique des ponts métalliques* di M. Pascal (Parigi, 1887), *Croquis de ponts métalliques* di G. Gaudard (Parigi, 1901). Superbo per la qualità dei disegni, è il *Modern examples of road railway bridges: illustrating the most recent practise of leading engineers in Europe and America* (Londra, 1872).

Un testo facilmente consultabile, grazie ad una recente ristampa, è *Memoria sui ponti sospesi a catene di ferro*, di Karl Friederich von Wiebeking (1762-1842), direttore generale di Ponti e Strade del Regno di Baviera. Pubblicato nel 1834 a Mantova, in base all'edizione tedesca del 1832, era all'epoca un ottimo, nonché aggiornato testo scientifico. L'opera è un documento storico di grande valore per le informazioni contenute sia sui ponti in ferro, sia sui principi teorici dell'arte del costruire. Il testo, che si apre con la storia dei grandi ponti sospesi di Thomas Telford sul Menai e sullo stretto di Conway, con un resoconto delle ricerche e delle sperimentazioni svolte da questi sulla resistenza delle barre metalliche delle catene di sospensione, si conclude con un elenco di condizioni da rispettare per progetta-

re correttamente i ponti sospesi. Pregevole è anche la tabella riepilogativa di tutti i dati metrici dei più interessanti ponti realizzati in Europa fino al 1832, che a detta dell'autore "*dev'essere di grande interesse per gl'ingegneri e tutti coloro che amano istruirsi.* […] *Chi possiede la mia opera sull'Architettura civile riguarderà adunque questo quadro come il risultato di tutte le mie ricerche*"[2].

Il problema dei ponti è uno dei principali impulsi per la ricerca teorica di quegli anni. La storia racconta che i primi ponti reticolari furono disegnati nel Cinquecento da Andrea Palladio nel suo celebre trattato *I Quattro Libri dell'Architettura* (Venezia, 1570), che tradotto in inglese nel 1716, tramite i coloni britannici giunge nel Nuovo Mondo, rappresentando per il Nord America un fondamentale riferimento per la realizzazione dei ponti.

Alla fine degli anni Trenta dell'Ottocento inizia la grande "*corsa all'Ovest*" delle compagnie ferroviarie, che avranno un ruolo determinante nella costruzione dei grandi ponti ferroviari. Lo sconfinato territorio da attraversare richiedeva un elevato numero di ponti in grado di sopportare il progressivo aumento della velocità e del peso dei convogli; il metallo sembrava la soluzione, ma restava da individuare la tipologia strutturale più efficace e facilmente riproducibile in serie. Il passaggio dalle strutture lignee a quelle metalliche avviene sempre per mimesi; rileggendo le travature reticolari lignee, si inizia a comprendere che si potevano definire gli elementi tesi (realizzabili con ridotte sezioni in acciaio) e quelli compressi (traducibili con sezioni articolate in modo da contenere i fenomeni di instabilità laterale). La trattatistica americana è ricchissima di memorie relative alla costruzione di ponti ferroviari, con illustrazioni ed in alcuni casi anche con ricorso alla fotografia, che inventata nel 1833 da Daguerre, fornisce una chiara idea dell'evoluzione dei sistemi costruttivi utilizzati. La ricchezza di testi indica l'importanza che aveva la struttura ponte nel sistema di comunicazione americano. Sono da citare per l'ampia documentazione fotografica, l'*Album of designs of the Phoenixville Bridge-Works* (Philadelphia, 1873), il *The New York and Brooklyn Bridge* (New York, 1883), l'*Album of designs. The Phoenix Bridge Company* (Philadelphia, 1885), il *Pecos Viaduct on the line of the Southern Pacific Railway in Texas* (Philadelphia, 1892).

John Augustus Roëbling, figlio di Washington Augustus con cui realizza il famoso Ponte di Brooklyn, pubblica varie memorie sulle opere realizzate durante la sua vita professionale. Tra queste citiamo *Final report* (New York, 1855), *Report of John A. Roëbling* (Brooklyn, 1867) e *Long and short span railway bridges … on the proposed East River Bridge* (New York, 1869). Washington Augustus Roëbling, scrive invece *Report of the Chief Engineer of East River bridge* (New York, 1872) e soprattutto *Pneumatic tower foundations of the East River suspension bridge* (New York, 1873), ricco di numerose foto che

illustrano dettagliatamente le varie fasi di costruzione del Ponte sospeso sull'East River. Fondamento teorico del classicismo italiano è i *Principi di architettura civile* di Francesco Milizia, edito tra il 1775 e il 1798, cui l'autore aggiunge un'appendice di sole due pagine sui ponti in ferro, affermando che

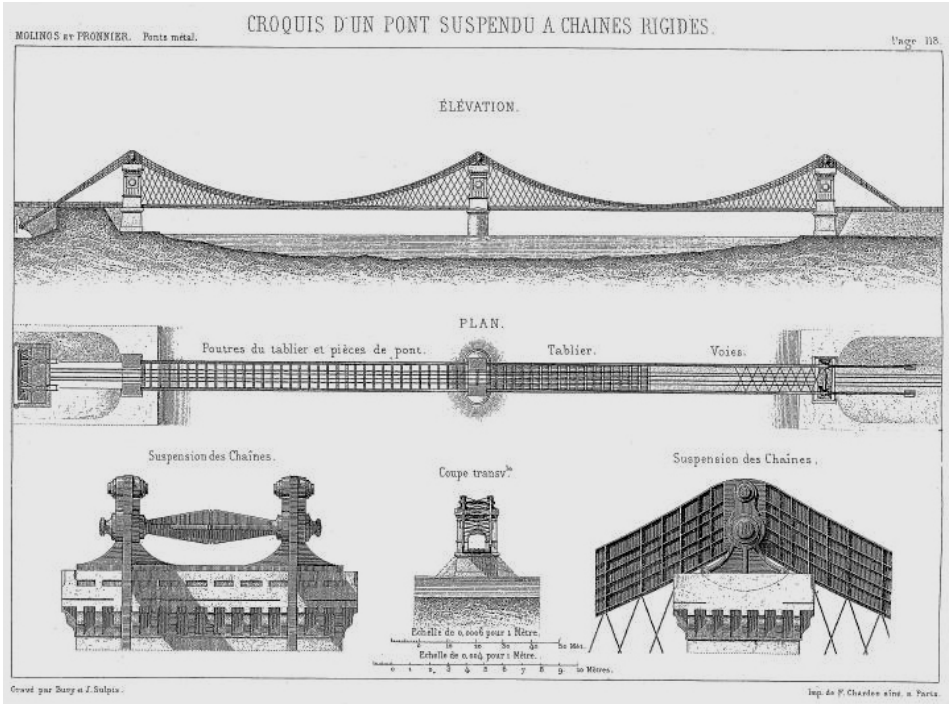


Fig. 1 – Ponte sospeso a catene. Da M. Molinos - C. Pronnier, Traité théorique et pratique de la construction des ponts métalliques, Paris, A. Morel et C.e, 1857, p. 118

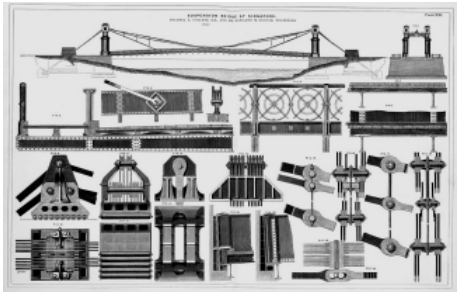


Fig. 2 – Ponte sospeso a Singapore. Da W. H. Maw , J. Dredge, Modern examples of road and railway bridges: illustrating the most recent practise of leading engineers in Europe and America, Londra, 1872, tav. XXI

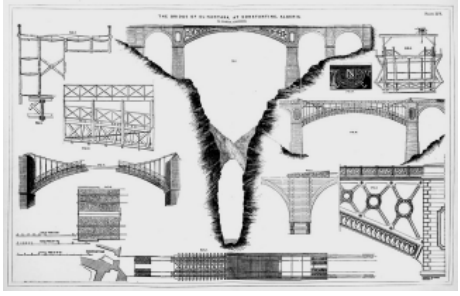


Fig. 3 – Il ponte di El-Kantara, Algeria. Da W. H. Maw, J. Dredge, Modern examples of road and railway bridges: illustrating the most recent practise of leading engineers in Europe and America, Londra, 1872, tav. LIV

"*sarebbe cosa poco addicevole se […] si lasciasse di parlare dei ponti in ferro: utile trovato moderno, che non appena ideato si può dire che subito saltò dallo suo stato infantile all'adulto*". Milizia si dilunga maggiormente sui ponti pensili "*di straordinaria lunghezza, non già pe' soli pedoni, ma ben anche capaci di servire al passaggio delle vetture*"[3], facendone una breve descrizione e parlando dell'esperienza maturata in America e poi trasfusa in Europa.

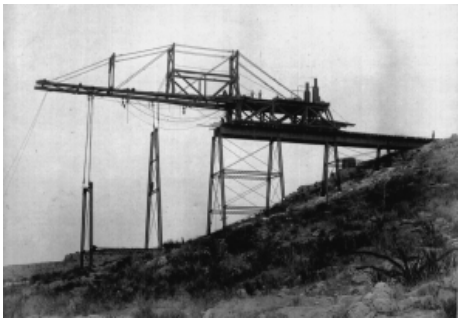


Fig. 4 – Fase della costruzione del Viadotto di Pecos. Da Pecos viaduct on the line of the Southern Railway in Texas, Philadelphia, Phoenix Bridge Company,1892, p. 4

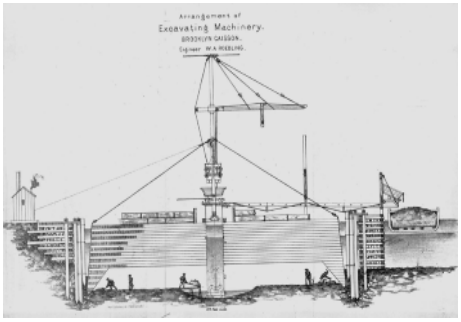


Fig. 5 – Il Ponte di Brooklin: le fondazioni a cassoni pneumatici. Da W. A. ROËBLING, Pneumatic tower foundations of the East River suspension bridge, New York, 1873, p. 11

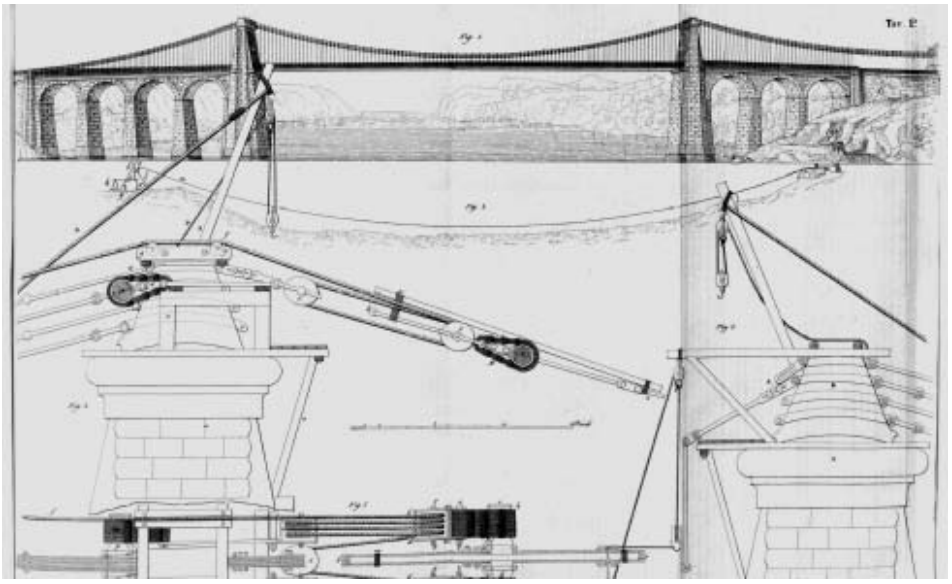


Fig. 6 – Il Ponte sospeso sullo stretto di Menai, realizzato da Thomas Telford nel 1821-1826: veduta d'insieme e dettagli dei sistemi di sospensione e di ritenzione. Da G. RONDELET, Trattato teorico e pratico dell'arte di fabbricare (1802-1817), 7 voll., Mantova, Società editrice coi Tipi di Caramenti, 1832, TT. III.II - Lib. VII - sez. II - c. II, tav. P

I contributi europei, sia in lingua originale, sia tradotti, sono piuttosto diffusi in Italia e testimoniano l'interesse culturale ed il desiderio di aggiornamento degli studiosi e dei tecnici italiani dell'Ottocento. Oltre ai già citati trattati di Rondelet (Mantova, 1832) e di Navier (Milano, 1840), altra opera tradotta è il *Trattato generale di costruzioni civili* (Milano, 1884) di Gustav Adolf Breymann, che mette in evidenza l'evoluzione della pratica del costruire tedesca messa in relazione con quella italiana. L'opera, in 5 volumi, assume una notevole importanza per la formazione dei tecnici italiani; nella III sezione si trattano le costruzioni metalliche.

Il primo "moderno" manuale italiano, intitolato *Istituzioni di architettura statica e idraulica*, edito a Bologna nel 1826, è opera di Nicola Cavalieri di San Bertolo, Ingegnere Superiore del Corpo di Acque e Strade e Professore nell'Archiginnasio Romano della Sapienza. Il testo, in cinque volumi, utile strumento nella professione e nella didattica, diventa il più conosciuto trattato italiano di tecnica delle costruzioni dell'Ottocento. Nel II volume, insieme alle strutture lignee tratta quelle metalliche, in particolare riguardo la progettazione dei ponti. Bernard Forest de Bélidor, con la *Science des ingénieurs* del 1729, riedita in italiano nel 1832, corredata da note di Navier, fonda le basi di una scienza degli ingegneri attraverso l'adozione di un modello matematico di verifica che porterà alla scissione tra le figure professionali dell'architetto e dell'ingegnere. Nasce così il nuovo ramo culturale del sapere tecnico che consente agli ingegneri di passare dall'arte alla scienza.

L'Arte del fabbricare. Corso completo di istituzioni teorico-pratiche per gli Ingegneri, per Periti in Costruzione e pei periti Misuratori di Giovanni Curioni, edita tra il 1865 ed il 1884, articolata in sei volumi, presenta un'appendice con la descrizione, corredata di tavole dettagliate, degli studi e degli esperimenti sulla resistenza dei materiali eseguiti presso la Scuola di applicazione per ingegneri di Torino.

La fama di Carlo Alberto Castigliano, ingegnere strutturista e geniale scienziato, è legata alla formulazione del teorema del minimo lavoro di deformazione dei corpi elastici e ai teoremi sulle derivate del lavoro. Il *Manuale pratico per gli ingegneri* (Torino, 1882-1884), che adotta il sistema metrico decimale stabilito a Parigi nel 1879, anche se marginalmente, tratta i nuovi materiali (ferro, ghisa, acciaio, rame, ecc.) con tabelle riferenti la definizione sperimentale delle caratteristiche meccaniche degli stessi ed altre con le caratteristiche geometriche e di carico dei profilati metallici (a T, a doppio T, a C, ad L, a Z). Con l'uso corrente di questo manuale, fondato sulla teoria matematica della elasticità, la scienza delle costruzioni si diffonde nella pratica costruttiva.

Nel 1881 Pio Chicchi scrive il *Corso teorico-pratico sulla costruzione dei Ponti Metallici*, con 60 tavole dedicate ai ponti a travata con travi dritte e poligonali, ai ponti ad arco, ai ponti sospesi ed ai ponti girevoli. Venti anni dopo

il professor Luigi Rossi, che era stato assistente di Chicchi, scrive il *Corso di Ponti Metallici*, primo di una serie di volumi dedicati alle costruzioni metalliche.

Negli ultimi anni del secolo, in un clima positivista animato dal liberalismo economico e dalla fede nel progresso tecnologico, la divulgazione sistematica delle acquisizioni scientifiche e tecnologiche è indispensabile per unificare i mercati e potenziare le risorse. Questo è un periodo di grande entusiasmo e di innumerevoli successi per la figura dell'ingegnere: vengono fondati molti giornali e riviste tecniche e si ha il costituirsi di Collegi e Società di Ingegneri. Fra i periodici più autorevoli del tempo quali organi di informazione sui lavori pubblici, si ricordano il *Giornale del Genio Civile*, il *Monitore delle Strade Ferrate* (Torino, 1868) ed il *Giornale dei Lavori Pubblici e delle Strade Ferrate* (Roma, 1874). *Il Politecnico, Repertorio mensile di studij applicati alla prosperità e coltura sociale* ed il *Giornale dell'Ingegnere, Architetto ed Agronomo*, fondati rispettivamente nel 1839 e nel 1853, proponendosi di svolgere in Italia il ruolo esercitato in Francia dagli *Annales des Ponts et Chaussées* ed in Inghilterra da *The Civil Engineer and Architect's Journal*, accoglievano studi teorici e proposte operative. Nel 1869 il *Giornale dell'Ingegnere, Architetto ed Agronomo*, ereditando parte del titolo de *Il Politecnico* di Milano, cambia la sua testata e diventa *Il Politecnico. Giornale dell'Ingegnere-Architetto Civile ed Industriale*; nel comitato di redazione è presente l'ingegner Alfredo Cottrau, presidente della Società Italiana delle Costruzioni Metalliche e personaggio di primo piano nella progettazione e realizzazione di ponti in ferro.

Ricca fonte di documentazione è *L'ingénieur. Journal scientifique et administratif*, rivista fondata alla metà del secolo, che riporta dettagliate descrizioni dei progetti corredate da tavole con disegni molto particolareggiati.

Dalle pagine di questi periodici emerge un dato nuovo e importante da sottolineare: la necessità per gli ingegneri di sistematizzare la metodologia progettuale, mettendo in evidenza le scelte di base, prevalentemente economiche, che avevano preceduto e condizionato le proprie scelte tecniche. "*Gli ingegneri che fanno progetti di strade ferrate e di canali devono accompagnarli di memorie che spiegano la preferenza data alle direzioni da loro prescelte*"[4]. La dimensione dell'intervento tecnico doveva essere quantificabile negli aspetti economici, in relazione alle spese di impianto ed ai costi di esercizio. All'ingegnere dovevano essere note le tecnologie più avanzate, per poterle applicare nella realizzazione del progetto, individuando quelle che presentavano maggiori garanzie di funzionalità e di convenienza economica. Il compito progettuale dell'ingegnere comprendeva anche l'utilizzazione e spesso l'invenzione degli strumenti tecnologici e organizzativi, presupponendo alti livelli di conoscenza nelle connessioni tra scienza, tecnologia ed economia.

Sfogliando le pagine del *Giornale*

dell'Ingegnere, Architetto e Agronomo, de *Il Politecnico. Giornale dell'Ingegnere Architetto Civile ed Industriale* e del *Giornale del Genio Civile* a partire dagli anni '80 dell'800, il nome di Giovanni Battista Biadego (1850-1925) ricorre abbastanza frequentemente per la sua posizione di grande prestigio sia in campo tecnico, specie nella costruzione di ponti in ferro, sia nell'ambito scientifico della meccanica applicata alle costruzioni di cui in quegli anni è un valido divulgatore. Il metodo di Clapeyron per la determinazione dei momenti flettenti in una trave continua attraverso la scrittura di una serie di equazioni lineari, noto anche come *metodo dei tre momenti*, suscita particolare interesse in Biadego, che ne comprende la grandissima utilità nell'esattezza del calcolo, fino ad ora approssimativo, basato sull'intuito e su metodi grafici. Nel 1877, Biadego pubblica *Di una espressione generale dei momenti di flessione sulle pile nei ponti metallici a travi continue*, in cui il metodo viene presentato in maniera completa ed esaustiva. Alle critiche mosse dalla stampa straniera circa il fatto che gli ingegneri italiani, ignorando le teorie di Ritter e di Culmann realizzavano solo ponti metallici a struttura rettilinea, Biadego contrappone la pubblicazione delle *Monografie Tecniche* in cui illustra le esperienze italiane nel campo dei ponti metallici ad arco. Fra le pubblicazioni di Biadego sui ponti in ferro, occorre ricordare anche *Fondazioni ad aria compressa e ponti metallici*, edito a Torino nel 1886. Questo scritto, dedicato alle fondazioni ad aria compressa, è particolarmente importante perché si tratta dell'unica tecnologia praticamente impiegata nell'Ottocento e nella prima metà del Novecento per la esecuzione in acqua delle fondazioni di grandi ponti.

In Europa, con lo sviluppo della rete ferroviaria, le problematiche legate alla costruzione si arricchiscono di nuove esigenze. L'introduzione di una trattazione dedicata alle ferrovie risale in Italia al 1831, quando Nicola Cavalieri di San Bertolo la inserisce nel suo trattato. Nella traduzione italiana del *Nuovo Corso Completo di Pubbliche Costruzioni* (Venezia, 1849) di Mattia Giuseppe Sganzin, il tema ferroviario viene affrontato per singoli argomenti (ponti, gallerie, fabbricati per l'industria), come per opere di carattere generale. In *Costruzione ed Esercizio delle Strade Ferrate e delle Tramvie* (Torino, 1887) di Stanislao Fadda, l'ingegneria ferroviaria italiana trova la prima opera si-



Fig. 7 – Crollo di un ponte sospeso con impalcato non irrigidito.
J. Weale, The theory, practice, and architecture of bridges of stone, iron, timber, and wire; with examples on the principle of suspension, London, 1843, Vol. III., tav. 91

stematica e completa, che affronta con un certo livello di approfondimento ogni settore.

Queste opere sono improntate ad un carattere di operatività: a seconda della complessità tecnologica delle strutture trattate, si hanno rappresentazioni grafiche volte a fornire tutte le indicazioni necessarie per la loro realizzazione, documentando gli elementi costruttivi con tavole d'insieme e di dettaglio. Nel caso dei ponti vengono rappresentate anche le sequenze delle fasi operative che illustrano le macchine da cantiere, le opere provvisionali e gli elementi prefabbricati da assemblare in opera. Questo è un elemento di originalità della rappresentazione ferroviaria, che vede la realizzazione come un processo dinamico e complesso[5].

Merita di essere citato Carlo Ghega (1802-1860), veneziano, ingegnere capo della prima tratta ferroviaria austriaca, che è il primo a stilare un trattato teorico sui ponti con struttura reticolare. Dopo aver viaggiato in Europa e nel Nord America, Ghega riassume la sua esperienza in *Uber Nordamerikanischen Brukenbau und berechnunc des tragungsvermogess der Howe'schen brucken*, dedicato ai ponti ferroviari realizzati con il sistema Howe. I suoi meriti in relazione alla realizzazione della ferrovia del Semmering, ritenuta impossibile da realizzarsi per la necessità di costruire un viadotto in curva, gli fanno guadagnare prestigio a livello europeo ed il titolo nobiliare di conte Karl Ritter von Ghega. Ancora di Biadego, ingegnere della Società Ferrovie Mediterranee, in collaborazione con Ludovico Richard, ingegnere alle Strade Ferrate dell'Alta Italia, è l'opera, datata 1882, dal titolo *I ponti e i viadotti in ferro della linea Udine-Pontebba. Loro descrizione e calcoli di resistenza*, valido sussidio per gli ingegneri ferroviari.

Questa vasta produzione letteraria ingegneristica è per i progettisti dell'800 l'unico modo per acquisire una informazione scientifica, rigorosa ed aggiornata. La validità di questi scritti è tale che se da un lato l'Europa guarda alle realizzazioni tecnologiche d'America, quest'ultima è attenta ai risultati della ricerca portata avanti nel Vecchio Continente.

[1] E. GAUTHEY, *Traité de la construction des ponts*, Liège, Leduc, 1843, T. II, p. 101.

[2] K. F. VON WIEBEKING, *Memoria sui ponti sospesi a catene di ferro*, (Mantova 1834), Mantova, Tecnologos, rist. an., 2003, p. 31.

[3] F. MILIZIA, *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Parma, 1781, Appendice al paragrafo VII, cap. X, Lib. III, parte II, pp. 580-581.

[4] R. PARETO, *Dell'importanza che presenta, per l'Ingegneri ed Architetti, lo studio di varie scienze ed arti generalmente poco curate a' dì nostri*, "Giornale dell'Ingegnere, Architetto ed Agronomo", VII (1859), p. 231.

[5] Cfr. E. GODOLI, M. COZZI (a cura di), *Architettura ferroviaria in Italia. Ottocento*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2004, pp. 497-500.

LICIO PAVAN

Il ruolo del disegno nella formazione e nella professione dell'ingegnere: uno sguardo al passato

L'uso della costruzione grafica per la risoluzione di problemi di tipo pratico-costruttivo risale fino ai primordi della civiltà. La costruzione del triangolo rettangolo, basata sul triangolo di lati 3, 4 e 5, era un procedimento ben noto nell' antichità e potremmo assumerla a simbolo dell'uso della geometria nella risoluzione di problemi.[1]

Nei programmi d'insegnamento del Politecnico di Milano[2] del 1865-66 si può notare la quantità di ore dedicate al disegno rispetto a tutte le ore di insegnamento (tab.1)[3]. Ciò vale non soltanto per gli Ingegneri Civili ma anche, ed ancora di più, per quelli Meccanici ed anche per gli Architetti Civili. Sarebbe un errore tuttavia ritenere che il ruolo del disegno fosse limitato alla rappresentazione di oggetti, in quanto rilievo o progetto di manufatti (fig.1)[4]. In realtà l'uso che se ne faceva comprendeva anche la descrizione quantitativa di fenomeni o di grandezze fisiche (diagrammi) e la soluzione grafica di problemi tipici della matematica e dell' ingegneria.

Generazioni di tecnici, e non solo ingegneri, hanno utilizzato il diagramma di Mollier per il vapore d' acqua. Ma, per restare nel campo della matematica, le stesse quattro operazioni possono essere risolte con metodi grafici, alcuni dei quali basati sull'impiego di segmenti e della similitudine tra triangoli rettangoli (fig. 2). Per non parlare poi della costruzione delle curve. Un esempio di costruzione esatta dell'ellisse è riportato in figura 3[5]. Esistono molti metodi per la costruzione della parabola alcuni dei

SCUOLA SPECIALE PER INGEGNERI CIVILI		
	ore settimanali	
1° anno	*1° sem*	*2° sem*
Meccanica razionale	3	4
Geodesia	3	3
Geognosia e mineralogia appl..	3	3
Manipolazioni chimiche	9	9
Esercitazioni matematiche teorico - pratiche	2	/
Disegno – applicazioni della geometria descrittiva	**10**	**10**
2° anno		
Fisica tecnologica	3	3
Scienza delle costruzioni – costruzioni civili e stradali	4	5
Conduttura delle acque	/	3
Meccanica industriale	4	/
Agronomia	3	3
Esercitazioni matematiche teorico - pratiche	2	/
Disegno di costruzione	**10**	**10**
Esercizi pratici di topografia e disegno topografico	/	/
3° anno		
Idraulica fluviale ed agricola – costruzioni idrauliche	5	5
Agronomia ed economia rurale	3	3
Elementi di diritto amministrativo e di giurisprudenza agricola	3	/
Disegno di costruzioni	**10**	**10**
Esercizi pratici di geodesia	/	/
Composizione di progetti di costruzione	/	/

Tab. 1 - La suddivisione in ore d'insegnamento della Scuola speciale per gli ingegneri civili al Politecnico di Milano nell'anno 1867-68

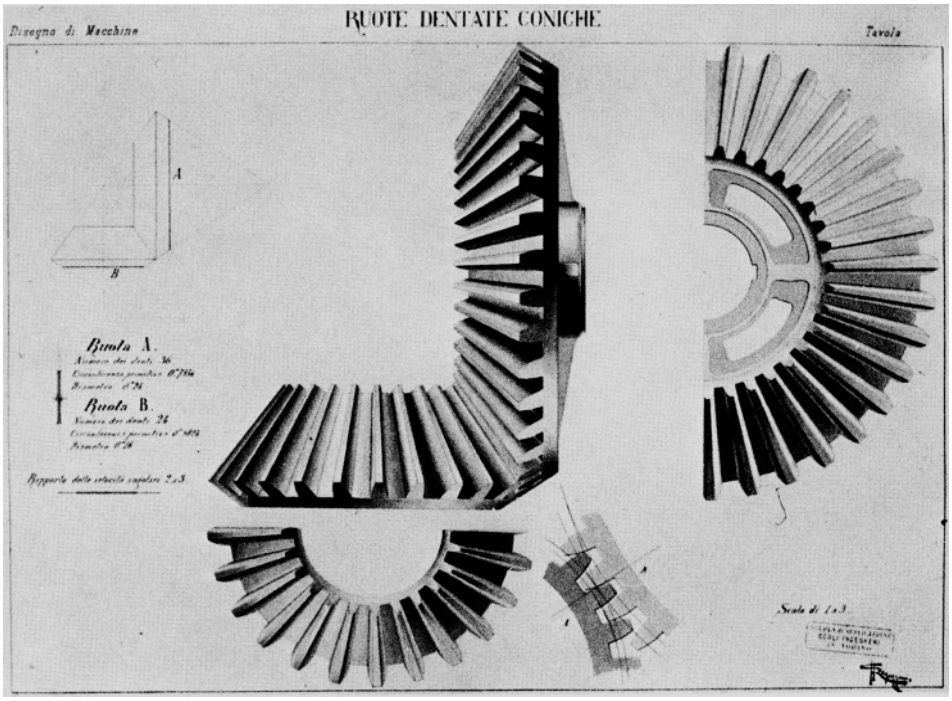


Fig. 1 - Ruote dentate coniche, disegno della Scuola d'applicazione per gli ingegneri di Torino, 1883

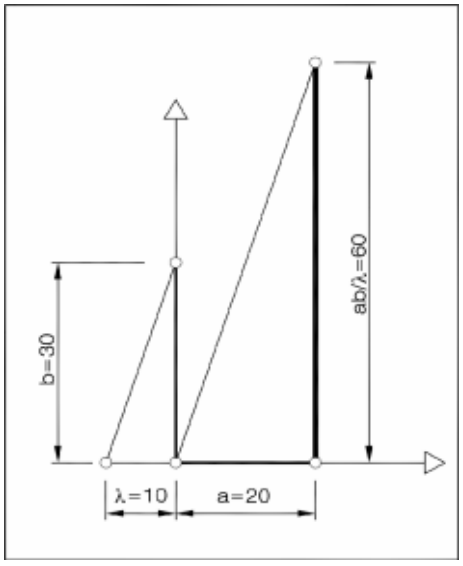


Fig. 2 - Moltiplicazione di due numeri ottenuta con segmenti per similitudine di triangoli rettangoli

quali venivano spesso impiegati nel campo professionale per disegnare il diagramma dei momenti in travi inflesse. Il procedimento grafico poteva essere usato anche per la risoluzione di equazioni, che venivano scomposte in curve più semplici: rette e curve del secondo ordine (fig. 4)[6], e per sistemi di equazioni lineari (fig. 5)[7].

E infine è necessario ricordare, per i riflessi che tali procedimenti grafici avevano nella professione dell'ingegnere, la costruzione delle curve derivata ed integrale di una curva assegnata. A questa erano collegati sistemi grafici di uso corrente nella tecnica dell'ingegneria come il calcolo grafico delle aree nell'agrimensura e il calcolo dei movimenti di terra nei progetti stradali (fig.6)[8].

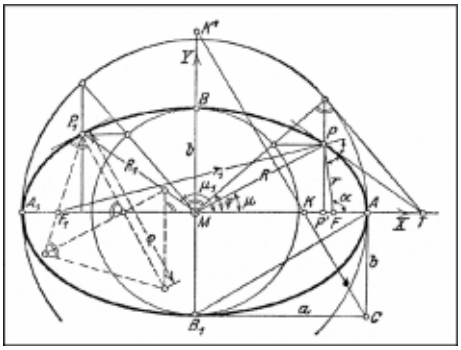


Fig. 3 – La costruzione grafica esatta dell'ellisse

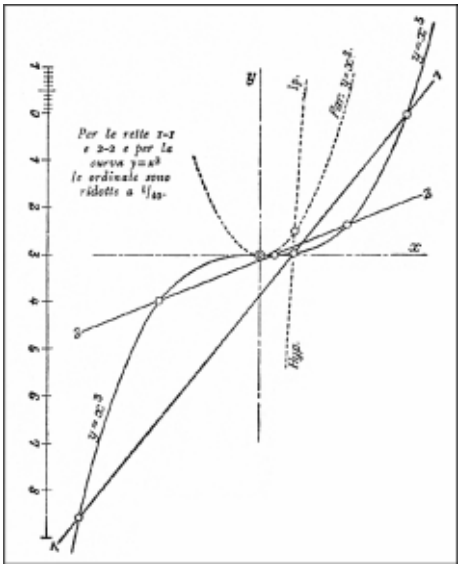


Fig. 4 – Risoluzione grafica di un'equazione di terzo grado

Nell'anno accademico 1867/68 al Politecnico di Milano, sul modello del Politecnico di Zurigo, viene introdotta nei programmi di studio la Statica grafica[9]. Probabilmente essa è la più importante espressione dell'attività grafica nel cam-

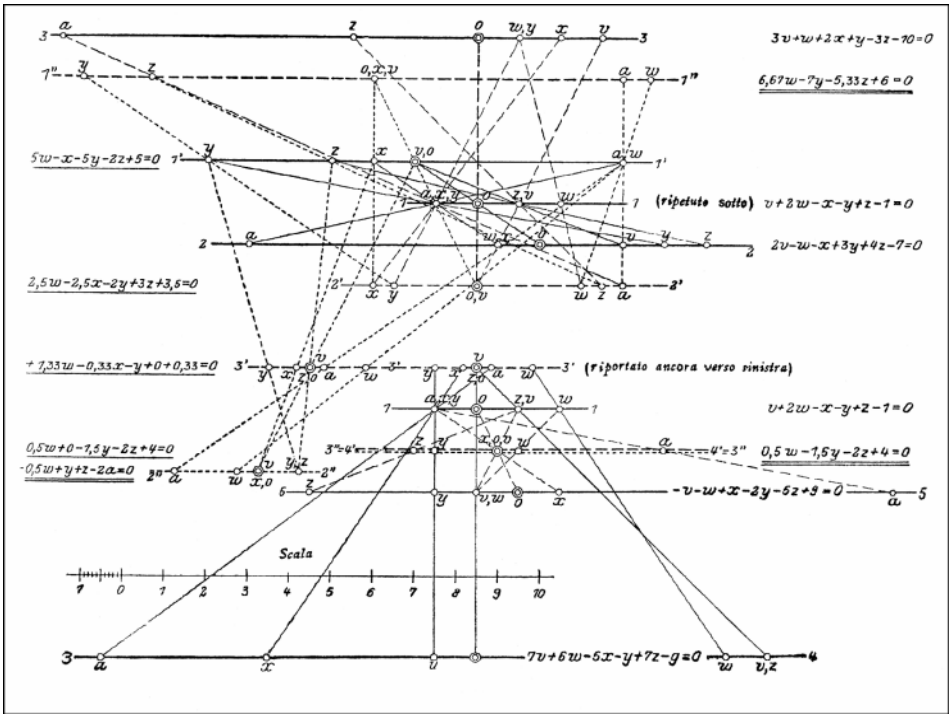


Fig. 5 – Risoluzione grafica di un sistema di equazioni

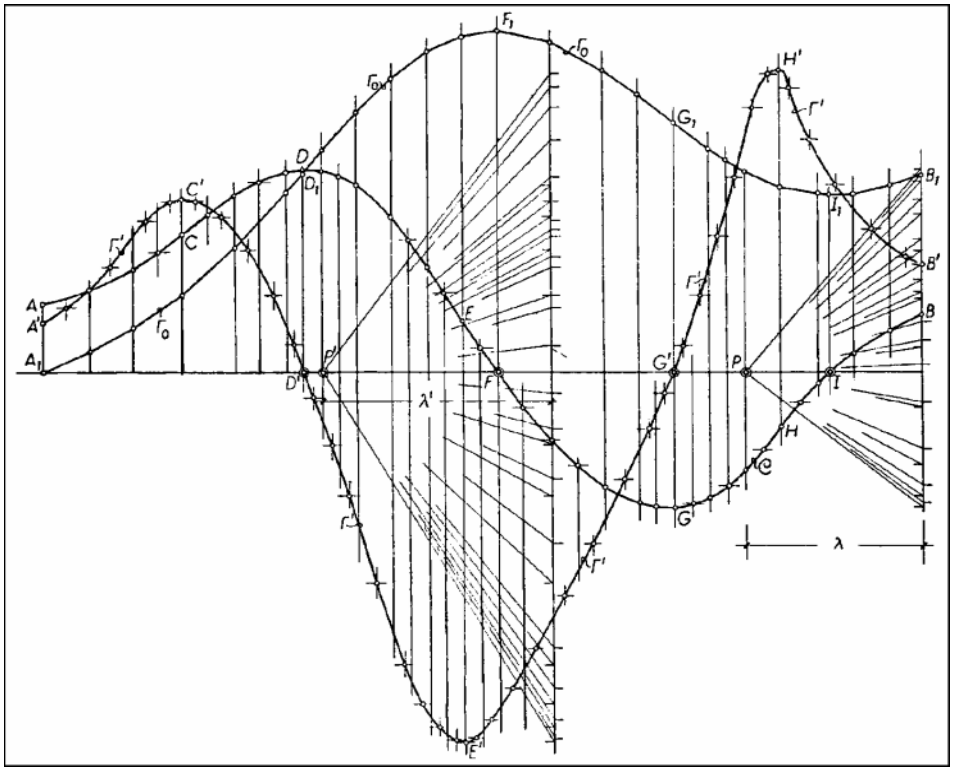


Fig. 6 - Costruzione delle curva integrale (A_1, B_1) e della curva derivata (A', B')

po dell'ingegneria infatti concerne una delle discipline, la Scienza delle costruzioni, che stanno al centro dei problemi dell'ingegneria classica e della formazione dell'ingegnere.

È interessante riportare una frase del professor Culmann, contenuta proprio nell'introduzione della sua *Statica grafica* che afferma: "l'educazione geometrica non è meno importante di quella analitica"[10]. In questa disciplina potremo elencare i principali problemi risolvibili per via grafica: ricerca di baricentri (fig.7)[11] e determinazione delle caratteristiche d'inerzia di sezioni piane (fig.8)[12], composizione (fig.9)[13] e scomposizione di forze, ricerca delle reazioni di strutture isostatiche (fig.10)[14], soluzione interna ed esterna di strutture reticolari (fig.11)[15]. Ma ci sono anche problemi più generali come la verifica degli archi in muratura con la costruzione della curva delle pressioni e il calcolo della spinta di muri di sostegno.

"Comunque, una volta lo studente medio del Politecnico dedicava al disegno una frazione rilevante del proprio tempo, che ritengo arrivasse al 50%; per lo studente attuale (1964) quella frazione non raggiunge il 10 %"[16]. Questa situazione, come abbiamo cercato di dimostrare, era dovuta al fatto che numerosi problemi di ingegneria - e non solo di statica grafica - venivano risolti

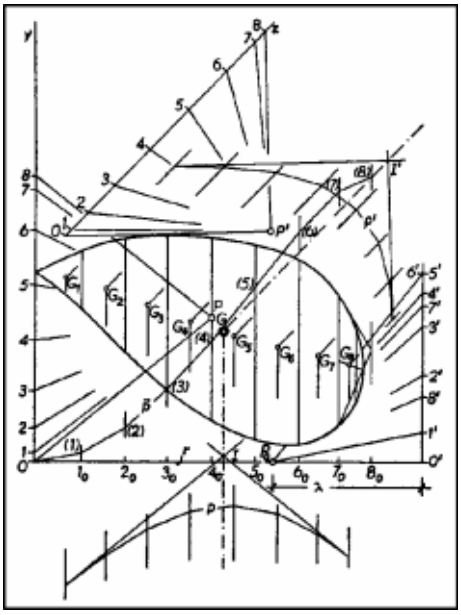


Fig. 7 - Baricentro di una figura piana a contorno curvilineo

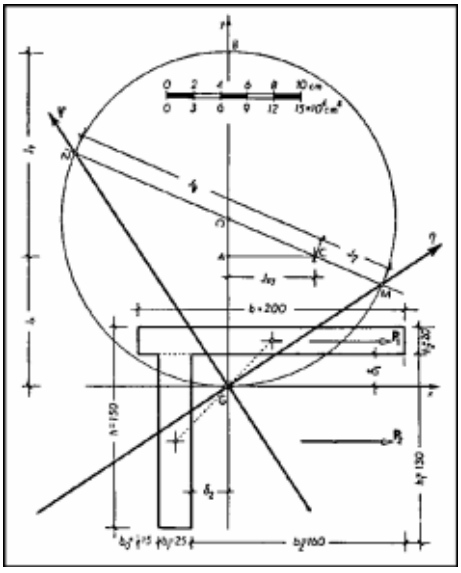


Fig. 8 - Assi principali d'inerzia di sezione composta di rettangoli, col circolo di Mohr

con metodi grafici, metodi che ci è sembrato opportuno indagare non soltanto

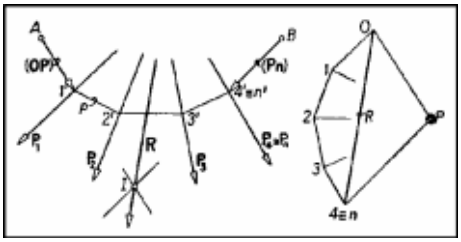


Fig. 9 - Poligono delle forze e poligono funicolare

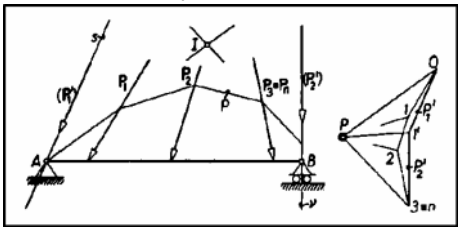


Fig. 10 - Risoluzione esterna di una struttura isostatica con metodo grafico

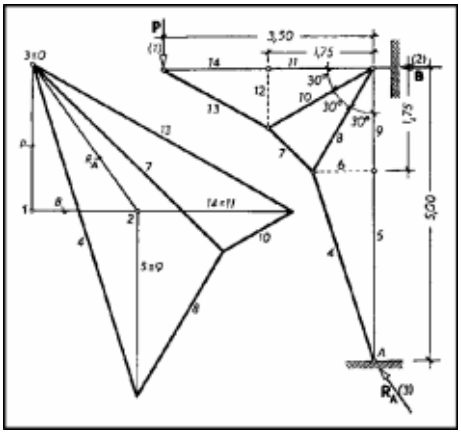


Fig. 11 - Diagramma cremoniano per la risoluzione di una struttura reticolare

per farli conoscere ai più giovani, ma soprattutto col pensiero che possano essere di qualche utilità per il futuro.

Per quanto concerne gli usi del disegno, quello di rappresentazione di manufatti (progetto e rilievo) e di funzioni (diagrammi), la necessità della rappresentazione grafica più o meno permane tutt'oggi anche se gli strumenti per ese-

guirla sono molto diversi. Per quanto concerne invece il terzo aspetto, la soluzione col metodo grafico di problemi della matematica e dell'ingegneria, il momento attuale è molto diverso. Oggi praticamente i metodi grafici non vengono più impiegati in quanto soppiantati dall'introduzione di sistemi automatici di calcolo. Nessuno potrebbe certamente mettere in dubbio che tale introduzione sia un fatto positivo in quanto consente di raggiungere livelli di prestazione molto superiori e soprattutto in quanto consente la risoluzione di problemi assai più complessi e praticamente inavvicinabili nel passato. Tuttavia resta da aggiungere che le soluzioni grafiche offrivano un'evidenza assoluta e richiedevano un magistero che doveva per forza essere acquisito. Oggi molto spesso i problemi di calcolo, specialmente quelli strutturali, vengono definiti da tabelle di numeri e si risolvono con un output costituito ancora di tabelle di numeri, di interpretazione assolutamente non banale e che non danno certamente quell'evidenza. Inoltre l'identità: *possiedo il software = so risolvere il problema* (invece che *posso risolvere il problema*), costituisce un grave difetto che può mettere in crisi l'intero sistema rendendo estremamente aleatoria la soluzione e assolutamente perniciosa la diffusione stessa dell'hardware.

[1] Vedi E. CASTELNUOVO, *Geometria intuitiva*, Firenze, La Nuova Italia, 1959, p. 65.

[2] Nato nell'anno scolastico 1863-64 quale Istituto tecnico superiore di Milano, come Scuola di applicazione per formare ingegneri meccanici ed ingegneri agronomici. Cfr. A. DEI POLI (cur), *Cent'anni di vita del Politecnico attraverso la lettura dei suoi programmi, ordinamenti ed effemeridi*, pag. 137, sta in AA. VV., *Il centenario del Politecnico di Milano. 1863-1963*, Milano, Politecnico di Milano ,1964.

[3] A. DEI POLI, op. cit., p. 143.

[4] Da AA. VV., *Disegni di macchine. Evoluzione di un linguaggio nello sviluppo della tecnica*, catalogo della mostra, Provincia di Udine, Centro Studio sulla storia della tecnica del CNR, Pordenone 1986, p. 53.

[5] Da M. FOERSTER, *Manuale del costruttore*, Milano, Vallardi, 1919, p. 92.

[6] Da M. FOERSTER, *Manuale* …, cit., p. 54.

[7] Da M. FOERSTER, *Manuale.*…, cit., p. 51.

[8] Da O. MAGINI, *Statica grafica*, p. 72.

[9] A. DEI POLI, op. cit., p. 152.

[10] *Ibidem.*

[11] Da O. MAGINI, *Statica grafica*, p. 156.

[12] *Ivi*, p. 250.

[13] *Ivi*, p. 278.

[14] *Ivi*, p. 464.

[15] *Ivi*, p. 511.

[16] Lo afferma Giulio De Marchi nel 1964. Cfr. G. DE MARCHI (cur.), *Il Politecnico fucina di ingegneri e centro studi*, p. 274, sta in AA. VV., *Il centenario*, op. cit.

TOMMASO ESPOSITO, RAFFAELE MAURO

Una dissertazione di laurea presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Napoli

Premessa

Nel dicembre del 2005 uno degli autori di questa nota acquista da un libraio antiquario di Merano un fascicolo a stampa del 1873, di 26 pagine - delle quali una contenente una tavola con 5 figure - edito in Napoli per i tipi della Stamperia del Fibreno, sita a S.Giovanni maggiore Pignatelli (cfr. Fig.1). Esso riporta la dissertazione di Francesco Mastrocinque, "alunno della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Napoli, presentata alla Commissione Esaminatrice per ottenere la laurea". Il lavoro, che oggi si direbbe tesi di laurea, nelle otto parti che lo compongono è un breve ma significativo documento delle conoscenze e degli indirizzi didattici della Scuola, nella seconda metà dell'Ottocento, in tema di scelta tipologica e di modelli di calcolo per le opere d'arte minori che ricorrono nella costruzione del solido stradale.

Per questo motivo si presenta di seguito una sintesi con alcuni commenti dei contenuti della tesi, seguendo l'ordine espositivo adottato da Mastrocinque.

Sintesi della dissertazione

Una breve premessa introduce oggetto e scopo della trattazione, articolata in sette parti, delle quali sei di carattere teorico e l'ultima dedicata alle applicazioni.

In apertura è contenuta una affermazione di principio: "La solidità e l'economia delle costruzioni sono due doti a cui l'Architetto deve porre ogni cura nel progettare qualsiasi opera. Havvi de' casi in cui queste doti trovansi in opposizione fra loro, richiedendo la prima opere indispensabili la cui spesa aumenta il costo della costruzione. Però havvi moltissimi casi in cui con lo scegliere piuttosto l'uno che l'altro sistema di costruzione, mentre non si nuoce alla stabilità, si raggiunge una economia considerevole."

Di pari interesse l'affermazione conclusiva della introduzione: "è utile dunque, sotto il rapporto dell'economia, lo studio delle diverse forme dei muri di sostegno, nei quali [...] senza diminuire di resistenza, si possa diminuire la quantità di muro da costruirsi".

Muri di sostegno e di terrapieno

Il lavoro si propone, quindi, di fornire un criterio per scegliere la forma più opportuna da dare ai muri denominati nella tesi muri di sostegno e di terrapieno (questi ultimi detti oggi muri di controripa) che frequentemente ricorrono nella costruzione del corpo stradale. Lo studio è relativo (come è ovvio, data l'epoca) ai muri che resistono per gravità; il criterio è quello di ricercare, a parità di stabilità, la sezione tra-



MURI

DI

SOSTEGNO E DI TERRAPIENO

DISSERTAZIONE

DI

FRANCESCO MASTROCINQUE

Alunno della Regia Scuola di Applicazione
per gl'Ingegneri in Napoli

PRESENTATA ALLA COMMISSIONE ESAMINATRICE

per ottenere la laurea

NAPOLI
STAMPERIA DEL FIBRENO
S. Giovanni maggiore Pignatelli
1873

Fig. 1 – Frontespizio della dissertazione

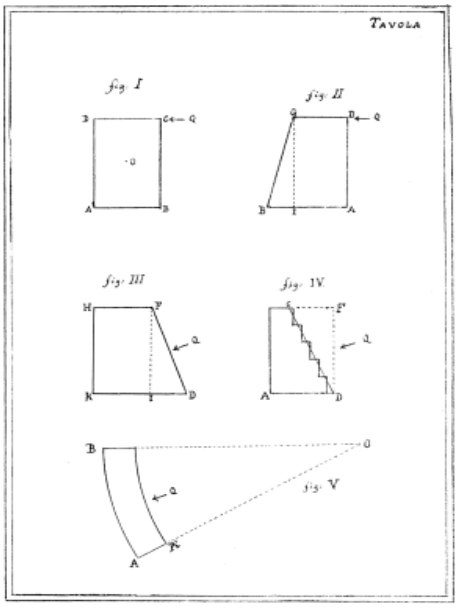


Fig. 2 – Tavola contenuta nella dissertazione

sversale che richiede il minore volume di muratura. Come noto, i muri, sotto l'effetto della spinta del terreno che sorreggono, possono rovinare o per rotazione intorno allo spigolo di base esterno o per traslazione orizzontale. Si tratta, quindi, di individuare, da un lato la spinta del terreno ed il suo punto di applicazione; dall'altro, la forma di muro che, con il minor peso, possa contrastare gli effetti di detta spinta. La trattazione analitica viene svolta (cfr. la Tav.1) per quattro tipi di muri: muri verticali (ovvero con spessore costante) (Fig.I di Tav.1), muri con scarpa esterna (Fig.II di Tav.1), muri con scarpa interna (Fig.III di Tav.1), muri con riseghe interne (Fig.IV di Tav.1).

Altre forme di muri vengono illustrate alla fine della dissertazione, peraltro senza trattazione analitica.

Spinta delle terre

Nel periodo in cui viene svolto questo lavoro (1873), Coulomb (1736-1806) aveva già, da molto tempo, pubblicato la sua teoria sul prisma di massima spinta, talvolta detta "del masso limitato" (1773). Sempre nella seconda metà dell'Ottocento, fino alla data di pubblicazione della dissertazione che qui si esamina, dapprima con Rankine (1856) e poi con Lévy (1869), Considère (1870), Mohr (1871), Winkler (1872), era stata proposta una teoria del tutto diversa da quella di Coulomb, facendo appello alle condizioni-limite dell'equilibrio di un masso illimitato di terra incoerente con superficie superiore piana caricata uniformemente.

Stranamente il Mastrocinque sembra non conoscere la formulazione di Coulomb, anche se pubblicata ben cen-

to anni prima della sua tesi, né le altre appena richiamate o non le ritiene idonee ai problemi da lui studiati, giacché, per valutare la spinta, adotta "la formula generale trovata nel Trattato delle Costruzioni sull'Equilibrio delle Fabbriche, riguardante la spinta delle terre ..."

$$Q = \frac{\pi h^2}{2} tg^2 \frac{1}{2} T \quad (1)$$

in cui
π è il peso di un metro cubo di terra;
h è l'altezza della terra supposta uguale a quella del muro;
T è l'angolo che la scarpa naturale della terra forma con la verticale.

Il "Trattato delle costruzioni" citato nella dissertazione è ivi richiamato senza ulteriori specificazioni, né è stato possibile agli autori di questa comunicazione reperire di esso l'autore, il luogo di edizione, la data, ecc.

La formula (1) è valida quando la coesione è nulla e la parete che sostiene la terra è verticale; l'Autore la utilizza, tuttavia, anche per i muri con scarpa interna ed a riseghe interne. Con il punto di applicazione di Q ad h/3, il momento che tende a rovesciare il muro (momento ribaltante) si scrive

$$M_R = Q \cdot \frac{h}{3} = \frac{1}{6} \pi h^3 tg^2 \frac{1}{2} T \quad (2)$$

A questo punto l'Autore sostituisce i valori di π e T che, a sua detta, più comunemente si incontrano nella pratica costruttiva, ossia π = 1600 kg/m^3 e T = 46°50', per cui risulta

$$M_R = 50 \cdot h^3 \quad (3)$$

Con il predetto valore di T risulta un coefficiente di spinta pari a 0,188; lo stesso coefficiente di spinta, calcolato con la nota formula di Coulomb tg^2 (45-φ/2) e sotto le stesse ipotesi di paramento interno verticale ed attrito terramuro nullo, corrisponde ad un angolo di attrito $\varphi \cong 43°$; da questo punto di vista la relazione adottata appare poco cautelativa.

Ad ogni modo il Mastrocinque pone, per il prosieguo della sua trattazione, che il momento dovuto alla spinta sia sempre pari a 50 volte il cubo dell'altezza.

A partire da questo assunto vengono calcolate, per i quattro tipi di muro prima elencati, le dimensioni con le quali si ottiene un uguale momento stabilizzante; inoltre viene ipotizzato in tutti i casi un peso unitario della muratura pari a 2200 kg/m^3; i risultati ottenuti non sarebbero, quindi, validi per muri in tufo, materiale molto utilizzato, anche al tempo del Nostro, in Campania per la costruzione di opere di sostegno delle terre.

Muro pieno verticale

In questo caso (cfr. Fig.I di Tav.1), detto x lo spessore costante, il momento stabilizzante vale

$$\rho = \frac{2200 \cdot h \cdot x^2}{2} \quad (4)$$

Eguagliando i due momenti si ricava x = 0,213 h e, quindi, un volume di muratura pari a (0,213 h^2) m^3 per costruire 1,00 m di muro.

A questo punto l'Autore osserva correttamente che con lo spessore tro-

vato si è al limite dell'equilibrio e che per la stabilità occorre un coefficiente di sicurezza; allo scopo egli adotta i suggerimenti del de Vauban e del Rondelet.

Il de Vauban era un generale francese del diciottesimo secolo che, per la costruzione di fortificazioni, aveva elaborato dei criteri per il dimensionamento dei muri non riportati in nessun testo tra quelli noti agli autori di questa comunicazione; egli riteneva necessario che il momento resistente dovesse essere di 4/5 maggiore del momento di spinta, corrispondente ad un coefficiente di sicurezza di 1,8.

Il Rondelet affermava che "[...] per tenere i muri di sostegno al sicuro da tutti gli sforzi occorre che il momento resistente del muro sia doppio di quello della spinta". Inoltre, sulla base di una vasta esperienza, il de Vauban ed il Rondelet affermano che un muro verticale deve avere spessore costante pari almeno a 0,3·h; sostituendo questo valore nella (4) risulta

$$\rho = 99 \cdot h^3 \quad (5)$$

praticamente doppio del valore indicato dalla (3).

Il volume di muratura necessario per costruire 1 m di muro è, dunque, $0{,}3 \cdot h^2$.

A questo punto la conclusione è che "[...] qualunque sia la forma di un muro di sostegno o di terrapieno, allora adotteremo alcune date dimensioni per esso, quando risulti il suo momento pari a $99 \cdot h^3$, cioè uguale al momento di resistenza di un muro verticale la cui grossezza sia 0,30 dell'altezza. Un tale muro si dirà muro tipo".

Muro pieno con la scarpa esterna

Questo tipo di muro (cfr. Fig.II di Tav.1) ha lo scopo di allontanare il centro di gravità e far crescere il braccio di leva e, quindi, il momento stabilizzante.

Indicando con 1/b la scarpa, lo spessore x in testa viene ottenuto imponendo che il momento stabilizzante sia pari a $99 \cdot h^3$.

Con semplici passaggi che qui non si riportano si ottiene

$$x = \frac{h}{b}\left(-1+\sqrt{\frac{0{,}27 \cdot b^2 + 1}{3}}\right) \quad (6)$$

V – Muro pieno con la scarpa interna

Per detto muro (cfr. Fig.III di Tav.1) procedendo allo stesso modo si ottiene lo spessore in testa dalla formula

$$x = \frac{h}{b}\left(-\frac{1}{2}+\sqrt{\frac{1}{4}+\frac{0{,}27 \cdot b^2 - 1}{3}}\right) \quad (7)$$

Muro pieno a riseghe interne

In questo caso (cfr. Fig.IV di Tav.1) viene aggiunto al momento stabilizzante dovuto al peso quello della terra che grava sulle riseghe. Per svincolarsi dal numero e dall'ampiezza delle riseghe l'Autore considera la linea fittizia che passa per il centro delle riseghe e che ha scarpa 1/b; il momento resistente dovuto al muro è lo stesso del caso precedente cui si aggiunge il peso del prisma triangolare di terra che insiste sulla linea fittizia; assumendo ancora un peso-volume della terra di 1600 kg/m^3 e sviluppando i passaggi si ottiene

$$x = \frac{h}{b}\left(-0{,}864 + \sqrt{0{,}09 \cdot h^2 - 0{,}073}\right)$$

(8)

Applicazioni

Per mostrare la differenza di cubatura, e, quindi, di spesa, viene svolto un esempio ipotizzando una scarpa 1/b = 1/10, valore, a detta dell'Autore, generalmente usato per i muri a calce.

- *Muro verticale tipo*
  spessore in testa x = 0,30·h m
  cubatura = 0,30·h^2 m^3
- *Muro con scarpa esterna*
  spessore in testa x = 0,2055·h m
  cubatura = 0,2555·h^2 m^3
- *Muro con scarpa interna*
  spessore in testa x = 0,2486·h m
  cubatura = 0,2986·h^2 m^3
- *Muro con riseghe interne*
  spessore in testa x = 0,2123·h m
  cubatura = 0,2623·h^2 m^3

Il muro a scarpa esterna è dunque quello da adottare, tranne che situazioni locali non si oppongano a tale scelta.

A questo punto viene osservato che vi sono altri tipi di muri che, a parità di stabilità, richiedono un minor impiego di materiale; essi sono i muri a speroni (o contrafforti), esterni o interni, ed i muri con gli speroni e le volte di scarico. Tuttavia, questi muri richiedono un maggior tempo di realizzazione e, soprattutto, la massima accuratezza costruttiva, onde evitare danni successivi dovuti alla non accorta costruzione, la cui riparazione vanificherebbe l'economicità iniziale. Questi tipi di muri non sono oggetto, nella dissertazione, di trattazione analitica; essi vengono comunque descritti nella tesi in modo abbastanza dettagliato, fornendo anche alcune indicazioni derivanti dall'esperienza: così si suggerisce, per il muro principale, uno spessore compreso fra 1/5 ed 1/6 dell'altezza, mentre gli speroni, posti normalmente ad interasse di 4,00 m, hanno generalmente larghezza di 1,00 m; la sporgenza alla base deve essere poi oggetto di calcolo condotto con i medesimi criteri esposti in precedenza; essi, tuttavia, non vengono riportati nella dissertazione.

L'Autore conclude il suo lavoro con tre osservazioni. La prima è relativa al calcolo della spinta del terreno: l'aver assunto T = 46°50' ha condotto alle formule riportate in precedenza per la determinazione degli spessori e delle cubature dei quattro tipi di muro. Nel caso in cui questo angolo sia diverso (e noi aggiungeremmo, risulti diverso da quello assunto il peso-volume del terreno) la procedura non varia, ma occorre ripetere il calcolo, giacché il momento ribaltante sarà diverso da 99·h^3.

La seconda osservazione riguarda la stabilità alla traslazione: considerando il muro più leggero tra i quattro, l'Autore scrive la forza resistente come

$$0{,}76 \cdot 2200 \cdot 0{,}208\,h^2 = 387{,}78\,h^2$$

che è più di due volte la forza (spinta) che tende a produrre lo slittamento; l'Autore conclude che per questi muri lo strisciamento non può avere luogo.

Occorre dire che se è vero che questi muri, dato il loro peso, raramente risultano instabili alla traslazione, è an-

che vero che il coefficiente di attrito assunto (0,76) è decisamente molto alto.

L'ultima osservazione è relativa alla fondazione. Il dimensionamento illustrato è relativo ai muri propriamente detti; è chiaro che se vi è una fondazione insufficiente i calcoli esposti in precedenza non hanno valore.

Rimarchevole risulta, infine, la chiusa della dissertazione che, a mo' di dichiarazione di principio, contiene, di fatto, una manifestazione di umiltà ed una assunzione di consapevole fiducia nei propri mezzi intellettuali, sicuramente tempratisi nella dura disciplina dello studio durante gli anni di frequenza della Regia Scuola di Applicazioni per gli Ingegneri in Napoli: "E qui pongo termine al mio assunto. Sono convinto che molto altro si avrebbe potuto dire e con miglior modo esporre, sopra una teoria tanto importante; ma la brevità l'ho proporzionata allo scopo della presente dissertazione, mentre il modo come essa è scritta non è che il risultato di tutto il possibile da me posto in opera per ben riuscire. La speranza d'uno sviluppo maggiore del mio povero ingegno e le conoscenze che si acquisteranno in una buona pratica, mi fanno augurare un miglioramento in avvenire, per modo, che se questo è il primo frutto non sarà, mi lusingo, per certo l'ultimo."

Conclusioni

La dissertazione presentata dall'allievo Francesco Mastrocinque per ottenere la laurea in ingegneria presso la Regia Scuola di Applicazioni per gli Ingegneri in Napoli risulta senz'altro di interesse in prospettiva storico-comparativa, non solo per i procedimenti costruttivi e di proporzionamento strutturale in esso presentati, ma anche per come questi ultimi risultano direttamente finalizzati alle applicazioni, nel contesto di un processo di delimitazione concettuale conforme ai criteri ed ai metodi dell'ingegneria contemporanea.

In questa direzione, va notato come, da un lato, nel periodo in cui viene redatta la dissertazione, il calcolo delle opere è condotto principalmente per via grafica (Poncelet, 1844; Culmann, 1866; Weingarten, 1870), mentre l'approccio proposto dal Mastrocinque è di tipo puramente analitico; dall'altro, tutta la dissertazione è centrata, in modo sicuro e corretto, su procedimenti che, oggi, si direbbero di ottimizzazione strutturale.

Vale, in definitiva, la constatazione che i criteri di calcolo esposti, a parte gli ovvi aggiornamenti su alcune assunzioni e formulazioni, possono riguardarsi come a tutt'oggi pienamente validi.

GIANNI ASTARITA, GIUSEPPE MARRUCCI

L'insegnamento dell'ingegneria chimica: storia e prospettive

Introduzione

L'insegnamento dell'ingegneria chimica è cambiato molto rapidamente durante la sua storia (relativamente breve), in risposta ad una evoluzione ugualmente rapida dei requisiti professionali imposti ai laureati dal mercato del lavoro. In questa comunicazione, dopo una breve carrellata sulla storia culturale dell'ingegneria chimica nei suoi aspetti sia professionali che universitari, viene esaminata la situazione ad oggi. Si identificano aree specifiche di sviluppo, sia in termini di interessi accademici che di presumibili bisogni futuri della professione, e si presenta una sintesi che include raccomandazioni sulle tendenze attese.

Storia

Insegnamenti di ingegneria chimica erano offerti in numerose scuole di ingegneria già alla fine del XIX° secolo. Fino a circa il 1920, i curricula di ingegneria chimica erano basati essenzialmente sulle discipline generali dell'ingegneria, aggiungendovi l'insegnamento della chimica ed alcuni corsi descrittivi delle tecnologie chimiche: l'integrazione fra ingegneria e chimica era molto modesta[1].

Se tale impostazione era adeguata fintantoché l'industria chimica era concentrata su pochi processi, le cui tecnologie erano ottimizzate da lunghi anni di aggiustamenti empirici (*trial and error*), essa cominciò a diventare obsoleta nelle prime decadi del XX secolo, quando l'industria chimica diversificò la produzione verso un maggior numero di prodotti, e nuove tecnologie vennero continuamente introdotte.

La domanda si orientò a quel tempo verso la figura di un professionista il quale, piuttosto che conoscere in dettaglio poche tecnologie ben consolidate, capisse i principi scientifici che sottendono qualunque tecnologia chimica, e fosse perciò preparato, all'occorrenza, a svilupparne di nuove. Il mondo accademico era pronto a raccogliere la sfida: nel 1923, Lewis, Walker, McAdams e Gilliland pubblicarono il loro classico trattato[2], ed il cuore culturale della ingegneria chimica divenne il concetto di "operazioni unitarie": cioè di quelle operazioni (distillazione, assorbimento, scambio termico, ecc.) che, in combinazioni diverse, venivano a costituire tutte le tecnologie chimiche. Ovviamente, tale evoluzione culturale non avvenne allo stesso momento in tutto il mondo, le differenze dovendosi attribuire al livello di sviluppo dell'industria chimica locale.

È importante rendersi conto che, con l'introduzione del concetto di operazioni unitarie, l'ingegneria chimica cessava di essere la somma di ingegneria e chimica, diventando invece una disciplina con una propria, specifica, identità culturale. Corrispondentemente, si moltiplica-

rono i dipartimenti di ingegneria chimica e, sebbene in alcuni paesi le unità organizzative all'interno delle università non avessero la forma dei dipartimenti anglosassoni, gruppi accademici di ingegneria chimica con un forte senso della propria identità culturale si svilupparono ugualmente un po' dappertutto nel mondo. Da allora, tali gruppi sono diventati responsabili della parte essenziale della formazione dell'ingegnere chimico.

Dopo la grande depressione del 1930, la crescita industriale riprese il suo corso. L'industria chimica continuò a diversificarsi, e di fatto alcune metodologie tipiche dell'industria chimica divennero importanti anche in altre industrie manifatturiere: nuovi tipi di operazioni unitarie vennero sviluppate. L'esempio più eclatante fu il progetto Manhattan durante la seconda guerra mondiale[3], dove una metodologia tipica dell'ingegneria chimica fu applicata allo sviluppo di una nuova operazione unitaria, la separazione per diffusione gassosa, per una nuova industria, quella nucleare.

Questi sviluppi produssero un nuovo cambiamento nella domanda professionale. Per un verso, il moltiplicarsi delle operazioni unitarie impose il bisogno di un laureato il quale, piuttosto che essere familiare con tutti i dettagli di quelle esistenti, potesse capire i principi scientifici che le sottintendevano tutte. D'altro canto, lo sviluppo recente delle risorse computazionali sollevava l'ingegnere chimico dal pesante carico dei calcoli necessari per progettare le operazioni unitarie già consolidate; cosicché l'enfasi sui metodi di calcolo grafici tipica del periodo 1930-1950 divenne obsoleta.

Di nuovo il mondo accademico fu pronto a raccogliere la sfida, e nel periodo 1950-1960 il concetto di "fenomeni di trasporto" (meccanica dei fluidi, trasporto di calore e di materia) diventò il cuore culturale dell'ingegneria chimica; questa evoluzione culminò nel 1960 con la pubblicazione del testo di Bird, Stewart e Lightfoot[4]. L'ingegnere chimico veniva formato alla comprensione dei principi scientifici comuni a tutte le operazioni fondamentali, ed era perciò in grado di soddisfare la domanda professionale, non solo dell'industria chimica, ma altresì di tutto uno spettro di industrie manifatturiere dove alcune metodologie tipiche dell'ingegneria chimica erano diventate importanti.

L'evoluzione culturale del nucleo dell'ingegneria chimica si riflesse nelle tematiche ancillari: un tipico esempio è quello della tecnologia dei reattori chimici, che fu fortemente influenzata da una più profonda comprensione scientifica sviluppatasi negli anni 1930-1970, e che ha dato luogo alla disciplina della "ingegneria delle reazioni chimiche". Anche in tale area, lo sviluppo da parte delle industrie di una grande varietà di tecnologie generò la domanda professionale di un ingegnere chimico dotato di un'ampia base scientifica.

Situazione attuale

I curricula di ingegneria chimica nel mondo variano in lunghezza da tre anni (in U.K. tipicamente) a cinque anni (in

Italia ad esempio). Gran parte della differente lunghezza è da collegare alle basi di matematica, fisica e chimica che gli studenti in ingresso hanno acquisito; fatta salva una base di tali contenuti, standard per tutti gli ingegneri, tre anni di formazione accademica sono in genere dedicati all'ingegneria chimica vera e propria.

L'analisi dei curricula nelle università di diversi paesi rivela che la metà circa della formazione in ingegneria chimica è basata sugli stessi argomenti dappertutto nel mondo. A tali contenuti ci riferiremo nel seguito come "discipline caratterizzanti", e sembra giusto che esse costituiscano il sottofondo culturale essenziale di un ingegnere chimico.

Le discipline caratterizzanti includono: stechiometria industriale (cioè bilanci di materia e di energia); termodinamica, con particolare attenzione agli equilibri di fase e di reazione; meccanica dei fluidi; trasporto di calore e di materia; operazioni unitarie; cinetica chimica applicata e ingegneria delle reazioni chimiche; dinamica e controllo dei processi; progettazione degli impianti, compresa la loro economia ed il management. Con diversa enfasi relativa, tutti tali argomenti sono presenti nei curricula di ingegneria chimica.

L'altra metà della formazione nei tre anni di ingegneria chimica è dedicata, nei diversi paesi, o nelle diverse università della stessa nazione, a discipline molto differenti. Esempi tipici sono: corsi ulteriori nelle discipline fondamentali, matematica inclusa; altre discipline ingegneristiche, spesso offerte da dipartimenti diversi dall'ingegneria chimica; argomenti specialistici che riflettono particolari competenze presenti nel dipartimento; materie a scelta dello studente.

Le differenze esistenti sono in parte dovute a ragioni storiche, sono cioè il risultato di tradizioni preesistenti; ma in parte riflettono anche tendenze evolutive, e in questo senso possono indicare possibilità future, specialmente se inquadrate nelle tendenze evolutive della domanda professionale.

Una robusta formazione in altre discipline ingegneristiche è forse un tipico esempio della forza della tradizione; il caso più cospicuo è quello italiano. In Italia l'ingegneria chimica è solo una sezione dell'ingegneria, e i curricula sono in larga parte decisi dal corpo docente dell'intera Facoltà; infatti, non esistono i dipartimenti di ingegneria chimica, o altre strutture equivalenti, con tutti i poteri di decisione autonoma come nella maggior parte degli altri paesi. Inoltre, la professione dell'ingegnere chimico non esiste come tale, poiché lo status professionale è riconosciuto alla figura di "ingegnere", senza distinzioni al suo interno. Perciò non c'è da meravigliarsi se la formazione in discipline di ingegneria generale è ancora molto diffusa in Italia. Al contrario, negli USA, dove autonomi dipartimenti di ingegneria chimica esistono da più di ottant'anni, e dove la professione di ingegnere chimico è diventata autonoma da quasi la stessa data, pochissime discipline di ingegneria generale sono incluse nei curricula di ingegneria chimica.

L'esempio tipico di ciò che può identificarsi come una tendenza evolutiva è il caso in cui una considerevole frazione dei tre anni di formazione è dedicata a materie specialistiche, quale, giusto per fare un esempio, l'ingegneria biochimica. Questi argomenti specializzati generalmente riflettono un interesse di ricerca prevalente nel particolare dipartimento, ed infatti la formazione specialistica al livello della laurea è prevalente in quei dipartimenti che hanno un forte programma di dottorato. La sezione successiva è dedicata ad una analisi di questo tipo di formazione, e della sua relazione con le tendenze evolutive della domanda professionale di ingegneri chimici.

Discipline specialistiche nell'Ingegneria chimica

L'evoluzione della domanda professionale di ingegneri chimici negli ultimi anni è connessa ad importanti sviluppi della realtà industriale. In particolare possiamo concentrare l'attenzione sui seguenti tre aspetti.

A. Il grande sviluppo delle industrie biochimiche. I processi di fermentazione (come la produzione di polisaccaridi per l'estrazione terziaria del petrolio), l'industria farmaceutica, ed i processi di reazione enzimatica hanno raggiunto una scala dove la tecnologia non può semplicemente fondarsi sull'empirismo, e la scienza dell'ingegneria deve intervenire nel progetto e nella conduzione di queste industrie.

B. Nuovi materiali, dotati di comportamenti meccanici e chimico-fisici particolari, stanno diventando sempre più importanti: polimeri e materiali compositi sono l'esempio più cospicuo. Il comportamento peculiare di questi materiali, e la sua stretta correlazione con la tecnologia usata per produrli e trasformarli, sposta sulle industrie che li producono l'onere di ottimizzarne le prestazioni.

C. La sensibilità ecologica ha introdotto la vasta problematica della riduzione e del controllo dell'inquinamento; ovviamente tale problematica non può essere trascurata da una delle principali fonti dell'inquinamento, cioè dall'industria chimica.

I suddetti settori A, B e C richiedono senza dubbio l'abilità professionale degli ingegneri chimici; e tuttavia, mentre tale abilità è necessaria, essa non è sufficiente, dal momento che il bagaglio culturale richiesto include per ciascun settore conoscenze che sono al di fuori delle discipline fondamentali dell'ingegneria chimica. Infatti, nel settore A un risultato utile si ottiene solo sulla base di una buona conoscenza dei principi scientifici delle tecnologie biochimiche; la scienza dei materiali è necessaria nel settore B; possiamo citare la meteorologia e la fisica dell'atmosfera fra i principi scientifici necessari nel settore C.

Inoltre, l'industria chimica tradizionale ha in certo senso raggiunto un asintoto tecnologico, cosicché il passo di evoluzione tecnologica ha rallentato; di conseguenza, la domanda di competenza professionale per unità di prodotto è in diminuzione in tale area.

Si può pertanto concludere che la domanda professionale di ingegneri chi-

mici sta evolvendo nella direzione di richiedere persone che, in aggiunta alla formazione classica dell'ingegnere chimico, posseggano altresì competenze scientifiche specifiche in qualche recente problematica, quali, per rimanere negli esempi citati, l'ingegneria biochimica, la scienza dei materiali, il controllo dell'inquinamento e dei rifiuti.

È forse impossibile preparare un ingegnere chimico che abbia competenze scientifiche in tutte tali aree, e di fatto l'utilità di un tale tipo di preparazione è perlomeno dubbia. Non c'è perciò da sorprenderci se alcuni curricula moderni di ingegneria chimica includono, in aggiunta alle discipline caratterizzanti, un programma coordinato di istruzione in una delle aree prima citate. Dipartimenti diversi della stessa nazione possono offrire curricula che enfatizzano problematiche differenti; questo non costituisce un problema in una società moderna ad elevata mobilità, nella quale gli ingegneri laureati in una regione non sono quindi tenuti a soddisfare tutte le richieste professionali della stessa regione.

La scelta di una particolare problematica da inserire in un curriculum di laurea è ovviamente connessa alle competenze scientifiche dei docenti del dipartimento. Competenze che a loro volta si collegano alla attività scientifica del dipartimento, e quindi al suo programma di dottorato. Dipartimenti molto grandi possono sviluppare programmi coordinati di ricerca in parecchie aree diverse, e corrispondentemente possono offrire parecchie opzioni di istruzione coordinata ai propri studenti. Al contrario, dipartimenti medi e piccoli devono concentrare i loro sforzi verso una, o al più due, delle possibili aree di sviluppo. Mentre questo può implicare una politica che in qualche senso limita una completa libertà di ricerca, bisogna riconoscere che una tale politica è necessaria se si vuole che la ricerca costituisca il naturale supporto culturale ai programmi di insegnamento adeguati alla odierna domanda professionale.

Riferimenti bibliografici

1. O. A. Hougen, *From plumbers to professionals. Bicentennial lecture on the history of chemical engineering*, 82° Congresso Nazionale dell'A.I.Ch.E., Atlantic City, 1976.

2. W. H. Walker, W. K. Lewis, W. H. McAdams, E. R. Gilliland, *Principles of Chemical Engineering,* McGraw-Hill, 1923.

3. S. Groueff, *Manhattan Project*, Little & Brown, 1967.

4. R. B. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lightfoot, *Transport Phenomena*, Wiley, 1960.

* Questa nota è una traduzione dall'inglese di una comunicazione, presentata al congresso della SEFI (Società Europea per la Formazione degli Ingegneri) tenutosi in Italia, a Pavia, nel 1978, che ancora oggi si presenta in gran parte attuale e significativa. Gianni Astarita è prematuramente scomparso nel 1997.

MAURA BOFFITO

La didattica del disegno di architettura tra Otto e Novecento

Dall'autobiografia inedita[1] dell'architetto Riccardo Haupt, particolare interesse rivela il capitolo dedicato "Agli studi di architettura". L'autore, nel raccontare il suo personale percorso di studi, offre uno spaccato di vita accademica di fine Ottocento nella Scuola di Belle Arti di Firenze, con puntuali riferimenti a " Le sezioni di architettura istituite nelle Scuole di Applicazione per gli ingegneri civili….".

Prima di addentrarci nel vivo della questione, però, ritengo opportuno offrire alcune note biografiche dell'autore. Riccardo Haupt nasce a Massa Marittima nel 1864 da una famiglia di origine Sassone e studia alla Scuola di Architettura di Firenze, diretta dall'architetto Giuseppe Castellazzi. Inizia la sua carriera professionale a La Spezia, per trasferirsi, nel 1887, a Genova quale collaboratore dell'architetto Luigi Rovelli. Tra i collaboratori dello studio Rovelli va annoverato l'ingegnere Giuseppe Tallero, incaricato della parte tecnica, che successivamente lavorerà quasi esclusivamente con l'Haupt.

È membro della commissione tecnica per i lavori della futura mostra Colombiana del 1892. Alla fine del 1890, passa allo studio dell'ingegner Cesare Gamba, in qualità di architetto, per tutte quelle opere di carattere artistico inerenti l'ampliamento di via Giulia (poi via XX Settembre). Predilige la progettazione di villini, ma realizza anche alcuni pregevoli palazzi e si dedica con molto interesse all'arte funeraria. Partecipa, insieme a Gino Coppedé ed altri, alla realizzazione dell'Esposizione del 1914. Muore a Genova nel 1944.[2]

"*Erano i tempi dei grandi concorsi; Sacconi vinceva la gara per il monumento a Vittorio Emanuele II in Roma, il Brentano quello della facciata del Duomo di Milano. A Firenze si studiavano i progetti per la sistemazione del centro di essa e si discuteva con plebiscito popolare il coronamento basilicale o tricuspidale della facciata di S. Maria del Fiore di Emilio De Fabris; a Roma il Palazzo di Giustizia del Calderini, la nuova camera dei deputati del Basile, dei nuovi Ministeri ed altre grandi opere. Io m'interessavo moltissimo a questi avvenimenti ed ero attratto verso l'architettura con la più grande vocazione per cui decisi di coltivarne gli studi*". Si apre così il IV capitolo dell'autobiografia, che giustifica in qualche modo la sua scelta verso gli studi di architettura.

L'insegnamento della Scuola si svolgeva, dopo i corsi preparatori comuni, in tre anni di studi; un quarto anno, non obbligatorio, consentiva al candidato di conseguire il diploma di licenza di professore di disegno architettonico e gli dava diritto, dopo aver superato le prove scientifiche, all'esercizio professionale.

Prima della costituzione delle Scuole di Applicazione degli ingegneri (legge Casati 1859), in Toscana gli architetti si formavano frequentando i corsi presso le Accademie di Belle Arti.[3] Il corredo scientifico, poi, era offerto dagli studi svolti presso istituti tecnici, "*ma gli architetti del tempo si formavano specialmente con la pratica acquisita negli studi dei più anziani e provetti professionisti. Le sezioni di architettura istituite nelle Scuole di Applicazione per gli ingegneri civili non furono mai rigogliose e frequentate. Solo il 7,3% di essi frequentava la sezione di applicazione di architettura, come risulta dalla relazione Boselli del luglio 1889 al Senato, nella quale dichiarava che di sette istituti scientifici nel Regno, sopra centinaia di iscritti alla facoltà d'ingegneria e sezione di architettura, soltanto 36 seguivano questo ramo specializzato*". Il corso di studi, infatti, presentava le stesse difficoltà di quello di ingegneria civile, ma non apriva le porte a tutti i rami della professione. L'impostazione delle Scuole di Applicazione, che non contemplava la possibilità di inserire nel piano degli studi discipline di carattere storico-umanistico, appariva, quindi, inadeguato alla formazione degli architetti. A tale proposito, l'Haupt dichiara con evidente orgoglio: "*Nei grandi concorsi di architettura e nella esecuzione delle opere più significative, i laureati della Scuola di Applicazione raramente si cimentavano, mentre gli studenti delle Belle Arti raccoglievano i frutti migliori, ottenevano l'esecuzione dei lavori, e mantenevano alto anche all'estero il decoro della nostra architettura*".

È utile ricordare che in Italia, nel 1885, si dibatteva la questione di nuove scuole di architettura[4] per valorizzare più efficacemente gli studi impartiti negli istituti artistici del Regno e pervenire ad una laurea di Architetto. In questa lotta non mancano gli sforzi di Camillo Boito, del Castellazzi e di Giacomo Franco[5] . Le deliberazioni legislative non erano sufficienti ad eliminare i contrasti esistenti fra le parti dissidenti, ovvero gli accademici ed i tecnici. Gli accademici, infatti, insistevano nel provare come l'architettura fosse un'espressione di arte, come la pittura e la scultura, anche se per la prima erano necessarie qualità tecniche per conseguire il proprio scopo, qualità che tali artisti acquisivano con la loro genialità e con la loro esperienza.

"*I tecnici invece sostenevano che l'architettura aveva sempre avuto il carattere di una scienza applicata alle costruzioni svoltasi secondo i tempi e le varie civiltà, e i vari mezzi di esecuzione, fino a formar così ogni espressione di stile e di forma alla quale dava rilievo il sussidio della decorazione. I sostenitori della prima tesi capitanati dal Boito, volevano che le nuove scuole superiori di architettura fossero una emanazione più completa specialmente nei riguardi tecnici nelle sedi degli istituti artistici, dai quali fino allora erano usciti quegli architetti che avevano dimostrato con le loro opere, la qualità più espressiva dell'architettura italiana*".

Sembra che le "conclusioni conciliative" votate dalle Camere per i nuovi ordinamenti della scuola non abbiano soddisfatto nessuna delle due parti (accademici e tecnici); ciò non di meno a Roma, e solo in quella città, fu fatto l'esperimento con studenti che prima avevano seguito gli studi artistici, a cui viene aggiunto un corso biennale di integrazione scientifica presso la Scuola di Applicazione degli ingegneri e dalla quale uscirono valenti professionisti come il Giovannoni, il Melani ed il Calcaprina di Genova tanto per citarne alcuni. Anche questa soluzione, però, venne in seguito abbandonata.

Dovevano trascorrere più di venti anni prima di arrivare ad una riforma completa che vede l'istituzione della prima Scuola Superiore di Architettura fondata a Roma, sotto la direzione di Manfredo Manfredi. La sede provvisoria di tale scuola, fu istituita presso l'istituto di Belle Arti di Roma "*con la prevalenza occasionale del concetto artistico su quello scientifico sempre sostenuto"*.

Dopo questo inquadramento su dispute accese, intenzioni e ripensamenti in ambito nazionale, l'architetto Haupt riprende il filo del discorso sui propri studi "*la riforma delle scuole era in quei tempi oggetto di speranza per una prossima realtà; Giuseppe Castellazzi*[6] *nell'interesse dei suoi discepoli, aveva tentato in Firenze di avviare a questa riforma l'integrazione della parte scientifica con un corso preparatorio sulla scienza delle costruzioni affidato al Prof. Collignon e alla meccanica applicata alle stesse affidato al Prof. Castagna*". In attesa delle riforme scolastiche, Riccardo Haupt conclude i suoi studi nel 1886 "*senza la possibilità di vedere realizzato il completo assestamento della scuola, costretto ormai a seguire le orme di quei professionisti che mi avevano preceduto*".[7] Durante i quattro anni trascorsi all'Accademia di Firenze, Riccardo Haupt ricorda con ammirazione ed affetto il suo "*primo maestro*" Giuseppe Castellazzi e gli insegnamenti da lui impartiti nei corsi di Rilievo dei Monumenti e di Restauro. Insegnamenti che gli saranno utili per una appropriata applicazione degli stili architettonici "*alla composizione di temi costruttivi che più si addicevano agli stili studiati come ai primi tempi si manifestava la tendenza edilizia*".

Nel primo anno di studio, quindi, dovrà progettare un museo per l'arte egizia in "stile egiziano" ed un museo per l'arte greca nello stile successivo; l'anno seguente si cimenta nella progettazione di un vasto politeama all'aperto in "stile romano".[8] A questo proposito l'Haupt osserva: "*È notevole in questo progetto, il confronto del concetto dell'arco scenico sviluppato dapprima nella curva policentrica usata nei moderni teatri ma non contemplata negli edifici romani e l'altra soluzione dell'arco a pieno centro, più conforme all'antica architettura*".

Seguirono altri progetti fra cui quello relativo all'epoca romanica di un tabernacolo addossato all'esterno di una cattedrale o quello inerente il periodo del-

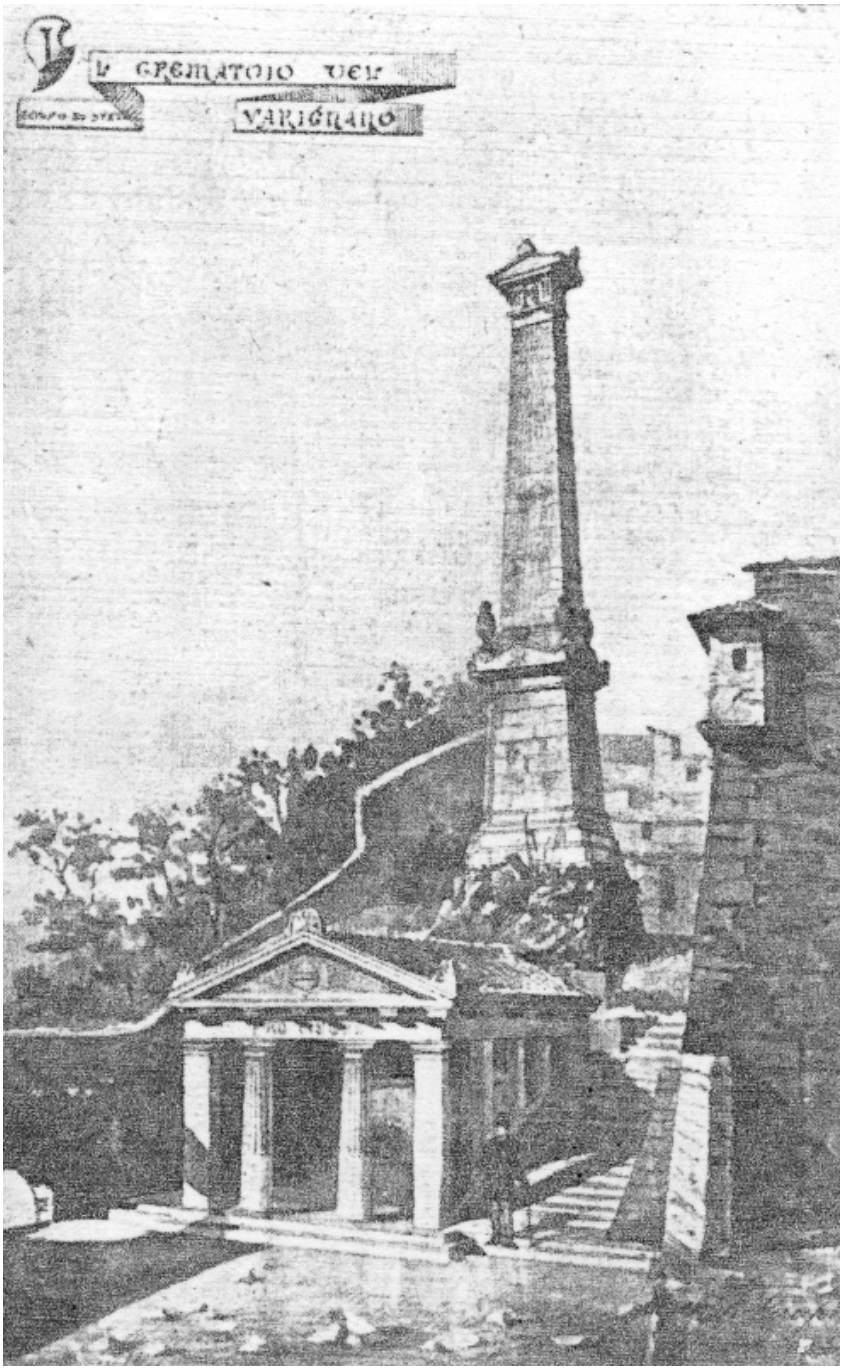


Fig. 1 – Tempio crematorio eseguito al Varignano (La Spezia) - Arch. Riccardo Haupt

l'architettura "*archiacuta toscana*" per un tempio crematorio; infine un progetto per una residenza signorile, *di carattere ogivale veneziano*" e, da ultimo, il progetto di una grande villa in "*stile Rinascimento*".

Il tema di composizione per ottenere il diploma finale verteva sul progetto di una caserma, in "stile medioevale".[9]

La preparazione professionale dell'Haupt, dopo gli studi accademici, proseguiva frequentando corsi speciali

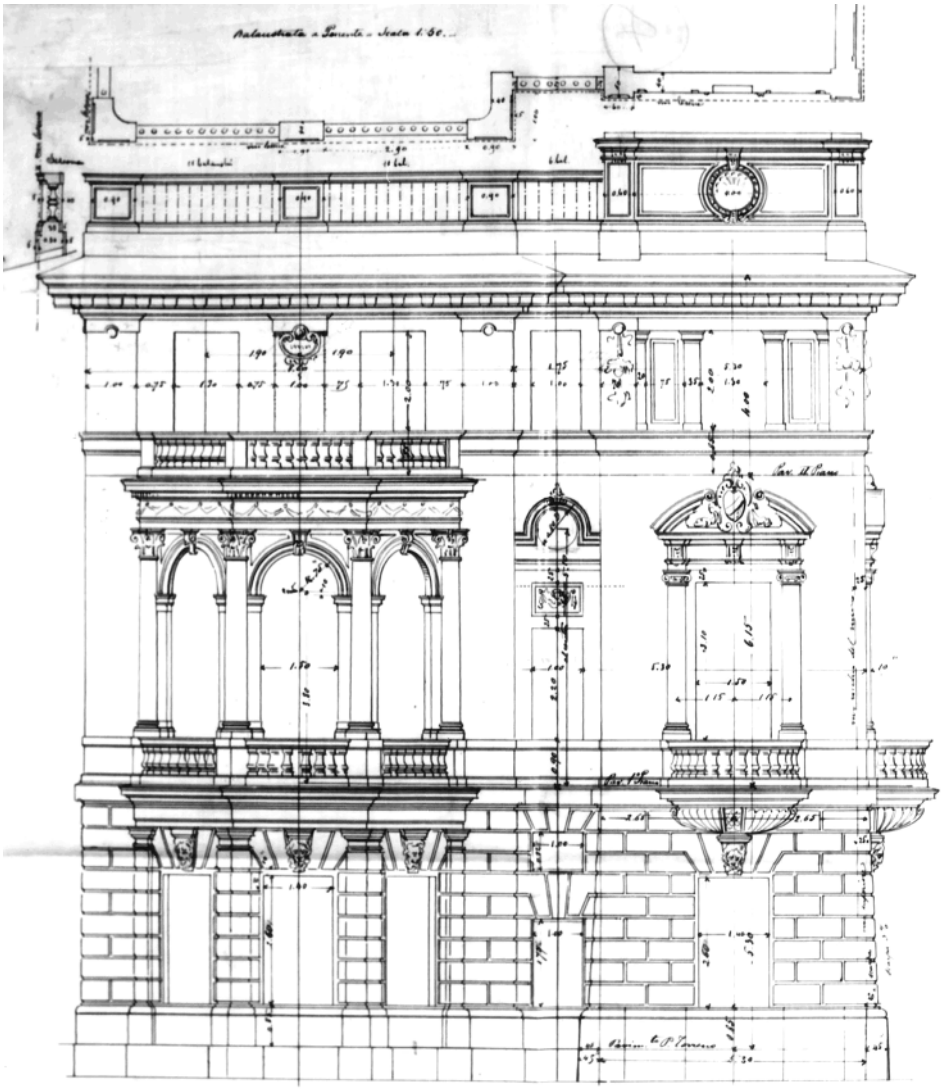


Fig. 2 – Villa Armando Raggio in Albaro (Genova), particolare del prospetto di ponente - Arch. Riccardo Haupt

presso l'Istituto Tecnico di Genova in fisica sperimentale, in chimica applicata, in geometria pratica, in celerimensura ed in meccanica, oltre ad approfondimenti nella scienze delle costruzioni ed in statica grafica. A questo, che l'architetto Haupt definisce "corredo di integrazione degli studi artistici", si deve aggiungere il tirocinio da lui svolto, per circa quattro anni, presso lo studio Rovelli di Genova: "*studio di uno dei più valenti architetti*".[10]

Questa sua attività gli valse la nomina "*di Accademico di Merito della classe di architettura dell'Accademia Ligustica di Belle Arti nel 1883*"; la "*accettazione nel collegio degli ingegneri ed architetti di Firenze nel 1884*" e la "*nomina di Accademico corrispondente della Regia Accademia di Belle Arti di Firenze nel 1884*".

Il capitolo dedicato agli studi di architettura si conclude con una velata forma di rimpianto: "*Ho voluto indicare con tali descrizioni gli studi artistici di quei tempi ormai lontani e sorpassati. I laureati delle scuole superiori di architettura dei giorni nostri* (anni Quaranta del secolo scorso), *possono avere idee e propositi più moderni, ma è d'uopo riferirsi a 60 anni prima di ora, quando da poco tempo si manifestava l'applicazione del ferro che il Mengoni aveva usato largamente nella galleria di Milano, e alla fine del Secolo XIX, dove aveva il suo trionfo nell'arditezza della Mole Antonelliana di Torino, nella torre di 300 metri di altezza ideata da Eiffel per l'esposizione di Parigi 1889*".

A queste considerazioni negative fa seguito, però, un auspicio e la speranza per il futuro: "*L'architettura moderna sembra oggi fortemente staccata dalle antiche tradizioni e dagli stili che formavano la catena di successive trasformazioni, ma non potrà tardare, specialmente nei concetti decorativi, a riallacciarsi alle tradizioni spezzate*".

Lo svolgimento del capitolo dedicato "Agli studi di Architettura" da parte dell'Haupt può sembrare non del tutto omogeneo, in quanto pare deviare dal suo percorso autobiografico per inserirsi in un contesto di problematiche generali e difficili ai fini della semplice conoscenza della vita e delle opere di un artista.

La rilettura più attenta del capitolo, però, mi ha permesso di individuare ed apprezzare la struttura del testo, dal momento che l'inserimento iniziale della situazione nazionale delle Scuole di Architettura, ha consentito all'autore di esprimere un tributo doveroso al suo maestro, Giuseppe Castellazzi, oltre a dare lustro al proprio percorso di formazione accademica.

[1] Si tratta di un dattiloscritto di 307 pagine, redatto dallo stesso Haupt e portato a termine nell'agosto del 1943, consultato presso l'Archivio Storico del Comune, Palazzo Ducale a Genova. I brani riportati tra virgolette sia nel testo sia nelle note, se non diversamente indicato, s'intendono tratti dal dattiloscritto dell'architetto Haupt.

[2] Per un approfondimento sulla vita e le opere di alcuni architetti di fine Ottocento operanti a Genova, cfr. M. Boffito, *I protagonisti di fine Ottocento a Genova,* in Disegno e immagine della città dell'Ottocento. Seminario di Studi, Trieste, 1990, pp. 219-229; Id., *L'espansione sulle colline d'Albaro*, in A. Maniglio Calcagno, Giardini parchi e paesaggio della Genova dell'800, Genova, Sagep, 1984, Cap. XII, pp. 179-195.

[3] Per l'inquadramento generale in merito ai problemi inerenti l'insegnamento delle scuole di architettura di questo periodo, si veda R. Gabetti-P. Marconi, *L'insegnamento dell'architettura nel sistema didattico franco-italiano*, in "Controspazio", giugno 1971, pp. 37-42.

[4] Nella seduta del 18 Marzo 1890, il ministro Boselli presentava un disegno di legge per la costituzione delle Scuole Superiori di Architettura, "*in tale occasione hanno preso la parola il Villari, il Lampertico ed altri ancora, concludendo con la istituzione delle scuole a Roma e a Napoli, ed in seguito a Firenze e a Venezia, e mantenendo con speciali riforme quelle esistenti delle altre facoltà del regno*".

[5] La questione del diploma di Stato era variamente discussa e da taluni ritenuta inutile. Nel giornale "Arte e Storia" del 31 Agosto 1891, viene pubblicata un'intervista fatta dall'Haupt ad Alfredo Melani sulla necessità del diploma: egli " *scriveva con argute argomentazioni la sua opinione sulla libera professione e diceva che il suggello di stato non era una garanzia della capacità professionale dell'artista, che non ha necessità di sanzione legale per eseguire il suo pensiero, essendo sufficiente la legge sulla responsabilità del costruttore a tutela del pubblico interesse*".

[6] Giuseppe Castellazzi nasce a Verona nel 1834. Consegue la laurea in ingegneria a Padova nel 1856; l'anno seguente si trasferisce a Venezia per frequentare l'Accademia di Belle Arti e perfezionarsi in architettura. Compie lunghi viaggi d'istruzione all'estero, "*riportando specialmente dalla Grecia, dall'Egitto e dall'Oriente ricca messe di motivi architettonici che pubblicava coi disegni magistralmente eseguiti*". Dopo alcuni anni dedicati all'esercizio della professione a Venezia, nel 1874 vince il concorso per la cattedra di geometria e architettura all'Accademia di Belle Arti di Firenze, di cui, poco dopo, diviene direttore. Pubblica numerosi saggi di carattere storico e tecnico. Muore a Firenze nel 1887. Cfr., oltre al diario di Haupt, anche il *Dizionario Biografico degli Italiani*, 21, Roma, 1978, pp. 656-660.

[7] In mancanza di legislazioni precise, la professione dell'architetto continua ad essere esercitata (secondo gli ingegneri …. in maniera abusiva!) dai Professori di Disegno Architettonico, titolo che, come si è visto, viene rilasciato dalle Accademie di Belle Arti.

[8] La composizione, ispirata ai motivi architettonici delle terme, dei teatri antichi e degli archi di trionfo, fa parte dei saggi che la Scuola di Architettura di Firenze presenta all'Esposizione Nazionale di Torino del 1884, dove verrà valutata "*meritevole della più grande distinzione d'onore*".

[9] "*L'ex tempore doveva essere eseguito in otto ore e sigillato sotto vetro per non apportarvi sostanziali riforme, e lo sviluppo del progetto doveva compiersi in venti giorni, con lo studio delle varie piante, dei prospetti, delle sezioni dei dettagli costruttivi e decorativi, d'una veduta prospettiva e di una relazione tecnica*".

[10] La carriera di Luigi Rovelli inizia a Milano, dove nasce nel 1850, come stuccatore delle grandi aquile della Galleria Vittorio Emanuele II, opera di Giuseppe Mengoni realizzata negli anni tra il 1865 ed il 1877. Contemporaneamente, frequenta i corsi serali organizzati dall'Accademia di Brera, completando così la sua formazione e si trasferisce a Genova per iniziare la sua professione di architetto, anche se privo di un titolo di studio ufficiale. La stima dimostratagli dai committenti e le opere realizzate gli valgono la laurea in Architettura al Politecnico di Milano. Per le sue indubbie capacità

ottiene la nomina a Cavaliere di Merito dell'Accademia di Belle Arti di Genova per Ornato ed Architettura. Le opere realizzate dal Rovelli, circa duecento, privilegiano in percentuale piuttosto elevata le costruzioni di tipo a *palazzina*, genericamente riconducibili al filone della villa di fine Ottocento. Dimostra una certa versatilità nelle numerose opere di restauro e di riqualificazione di edifici preesistenti; viene inoltre ricordato quale "*eccellente e genialissimo disegnatore di giardini*". Muore a Rapallo nel dicembre 1911. Per ulteriori approfondimenti, si rimanda ai testi citati alla nota 2.

Riccardo Barsotti, Stefano Bennati, Danilo Capecchi, Giuseppe Ruta

L'insegnamento della scienza delle costruzioni in Italia

La scienza delle costruzioni nasce come disciplina universitaria negli anni '70 dell'Ottocento, quando i corsi di meccanica delle costruzioni, nell'ambito di un riordino degli studi, prendono appunto il nome di scienza delle costruzioni. *La teoria del calcolo strutturale era in larga parte già abbastanza sviluppata. La diffusione delle costruzioni in acciaio rendeva però necessaria per il loro dimensionamento la preparazione di una classe di tecnici che possedesse in modo diffuso le conoscenze sviluppate essenzialmente dalle scuole francese e tedesca. Il terreno era comunque fertile perché nella seconda metà dell'Ottocento in Italia c'era una forte scuola di teoria dell'elasticità, seppure con un approccio di tipo fisico matematico piuttosto che ingegneristico. In questo lavoro si vuole presentare una ricostruzione dello sviluppo della scienza delle costruzioni come disciplina universitaria, a partire dall'Unità d'Italia sino ai primi anni del secondo dopoguerra. L'attenzione è posta sugli aspetti didattici con un commento dei manuali in uso nelle principali scuole di ingegneria d'Italia.*

Introduzione

Questo lavoro è parte di una ricerca più ampia con l'obiettivo di indagare sull'evoluzione della didattica della scienza delle costruzioni in Italia. Qui si assume un quadro di riferimento semplificato. Si limita intanto il significato del termine scienza delle costruzioni alla disciplina che si insegnava nelle università e nei politecnici agli allievi ingegneri industriali e civili. La data *a quo* è fissata dalla istituzione delle prime Scuole di Applicazione per ingegneri, tra cui la più importante è forse quella di Torino, nel 1860. A questo periodo risale la titolazione *scienza delle costruzioni* ai corsi di costruzioni. La data *ad quem* può essere fissata al 1941, con la stampa dei manuali di Odone Belluzzi e di Gustavo Colonnetti.

Per una ricostruzione storica significativa della didattica della scienza delle costruzioni bisogna indagare sul contenuto dei corsi, sul modo di svolgere le lezioni, sui professori e sulla loro preparazione scientifica, sui manuali adottati e sulle dispense distribuite. Fondamentale è anche l'indagine sui piani di studio dei politecnici, per capire il peso della disciplina sull'intero corso e principalmente per individuare della materie fiancheggiatrici, propedeutiche o successive. Di particolare interesse è la comprensione del ruolo della statica grafica; questa disciplina talvolta faceva parte integrante del corso di scienza delle costruzioni ma poteva anche essere un insegnamento a parte. Non secondario è anche conoscere i programmi delle scuole secondarie allora esisten-

ti: istituti tecnici, istituti per geometri, dove insegnavano professori molto bravi. Infine fondamentale è l'indagine sul modo di insegnare le discipline strutturali nei paesi europei più legati culturalmente all'Italia, tra cui la Germania.

In questo lavoro ci si limita però a considerare solo un aspetto, quello relativo ai manuali adottati dalle varie scuole italiane; e ancora più sinteticamente, assumendo per il momento un'ipotesi tutta da verificare relativa all'omogeneità dell'insegnamento sul territorio nazionale, ci si limita a esaminare i manuali di scienza delle costruzioni esistenti sul mercato. In questo modo crediamo ci si possa fare una prima idea sull'evoluzione della didattica della scienza delle costruzioni e comunque preparare del materiale utile per la ricerca più ampia.

Dapprima si riassume il contenuto dei manuali considerati da noi rappresentativi del periodo considerato e di ognuno di essi si fa un'analisi adottando un tipo di lettura unificato. Infine si tenta una sintesi per tracciare una linea evolutiva.

Le Scuole di Applicazione

Il varo della *Legge organica sulla pubblica istruzione del 13 novembre 1859*, meglio nota come legge Casati, è un evento fondamentale della nostra ricostruzione. Con tale legge vengono infatti istituite nel costituendo Regno d'Italia le Scuole di applicazioni di ingegneria, separando così gli studi di ingegneria da quelli di matematica. La legge Casati stabilisce un principio importante per tutte le lauree professionalizzanti, stabilendo che non ci deve essere una distinzione importante tra i corsi propriamente scientifici e i corsi professionalizzanti[1]. Ciò per quanto riguarda le scuole di ingegneria implica la possibilità di riallacciarsi, almeno in parte, al modello di ingegnere scienziato proposto dall'*École polytechnique* francese.

La storia della facoltà di ingegneria e l'organizzazione degli studi comincia a essere oggetto di analisi da parte degli storici professionisti[2]. Anche la scienza delle costruzioni ha cominciato a essere analizzata. Di un certo interesse è un articolo di Edoardo Benvenuto[3] che tratta approfonditamente l'argomento, seppure non separando bene l'aspetto della didattica da quello della ricerca. Brevemente, Benvenuto ritiene che vi siano due anime della scienza delle costruzioni; quella del professionista che si riallaccia a tradizioni del passato (*Arte del fabbricare*) e quella dello scienziato che vuole costruire una teoria rigorosa fortemente radicata nella matematica. Sostiene inoltre che queste due anime sono coesistite almeno sino agli anni quaranta e sono rappresentate in modo paradigmatico da due manuali degli anni '40 del Novecento.

L'anima pratica sarebbe rappresentata del manuale *Scienza delle Costruzioni* di Odone Belluzzi (prima edizione 1941); l'anima scientifica dal manuale ancora intitolato *Scienza delle costruzioni* di Gustavo Colonnetti (edito nel 1941, ma riedizione elaborata del testo *Principi di statica dei solidi elastici* del 1916[4]). Il discorso di Benvenuto, che ci sembra solo in parte condivisibile, va precisato.

Il problema del rapporto tra l'arte del fabbricare e la scienza del costruire è parte del problema più ampio del rapporto tra scienza e tecnologia, però con qualche peculiarità. La scienza delle costruzioni tratta di fenomenologie che, sebbene complesse, sono più semplici di quelle affrontate nelle altre branche dell'ingegneria (meccanica, chimica, elettrotecnica) e quindi più facilmente formalizzabili in una teoria assiomatizzata. Inoltre una parte importante della scienza delle costruzioni, la teoria dell'elasticità, era stata sviluppata in modo approfondito agli inizi dell'Ottocento in quanto parte di un programma di ricerca proprio della fisica e della fisica matematica, relativo alla costituzione della materia, la trasmissione della luce, l'elettromagnetismo.

Quando alla fine dell'Ottocento lo sviluppo dell'industria e dei trasporti richiede di affrontare dei problemi strutturali complessi ci si trova a disporre di un'arte del costruire e di una scienza del costruire molto ben sviluppate e si pone il problema della loro integrazione. Si deve dire che questa integrazione, almeno in Italia, si realizza in modo abbastanza veloce a partire dalla seconda metà dell'Ottocento. Ciò anche perché in Italia c'era una importante scuola di teoria dell'elasticità, quella di Enrico Betti, che aveva raggiunto importanti risultati in ambito europeo[5].

Si può avere una idea della evoluzione della didattica della scienza delle costruzioni facendo riferimento alla scuola torinese, che è al momento quella meglio conosciuta. Come applicazione della legge Casati del 1859, nel 1860 nasce a Torino la Scuola di Applicazione per gli ingegneri (civili)[6]. Giovanni Curioni (1831-1887), professore straordinario di Costruzioni presso questa scuola dal 1865, successore di Luigi Federico Menabrea (1809-1896), è tra i primi a rinominare il suo corso "scienza delle costruzioni", nel 1877.

Il manuale di riferimento di Curioni è l'*Arte di fabbricare*[7], un'opera "monumentale" sviluppata in sei volumi e cinque appendici a partire dal 1864, con riedizioni varie. La parte del manuale che riguarda la scienza delle costruzioni propriamente detta è il primo volume dal titolo *Resistenza dei materiali e stabilità delle costruzioni* (terza edizione 1872, prima edizione del 1867), insieme ad alcune appendici scritte comunque dopo le prime edizioni. Il volume è diretto sia ad allievi ingegneri sia ad allievi delle scuole tecniche secondarie, pertanto è mantenuto a un livello di matematizzazione piuttosto basso. Esso si rifà ai manuali dell'*Arte del costruire* del passato[8] e all'ormai classico *Résumé des leçons* di Navier[9]. Il manuale tratta brevemente della resistenza dei materiali senza introdurre in modo preciso il concetto di tensione (come del resto fa Navier) e passa subito all'esame della resistenza della travi, considerando prima la trazione (capitolo II), poi la compressione (capitolo III, senza riferimento alla stabilità dell'equilibrio), la torsione (capitolo IV), il taglio (capitolo V), la flessione (capitolo VI). Affronta anche, brevemente, il caso degli archi (capitolo X). Manca quasi del tutto una

parte dedicata alla teoria delle strutture, con l'eccezione di un cenno alla travature reticolari (capitolo XIII).

A Curioni succede nel 1882 Camillo Guidi (1853-1941). Il suo testo *Lezioni di scienza delle costruzioni*[10] è testimone di una sintesi ormai avvenuta tra l'arte del costruire e la scienza del costruire. L'impostazione del manuale è di tipo assiomatico deduttivo, seppure con un livello di formalizzazione inferiore a quello in uso allora nella fisica matematica[11]. All'inizio sono introdotti elementi importanti di meccanica dei continui: la tensione del continuo tridimensionale, la deformazione infinitesima, il legame costitutivo. Segue una trattazione estesa della solido prismatico, trattata seguendo un approccio semplificato alla Saint-Venant.

A questi preliminari meccanici segue una parte abbastanza sviluppata di meccanica delle strutture. Essa è ancora in forma embrionale rispetto alle trattazioni moderne e si limita a considerare l'approccio secondo la teoria della linea elastica che consente di risolvere in modo pratico solo problemi strutturali semplici. Per finire si trova una trattazione semplificata della stabilità dell'equilibrio. Da segnalare un discreto uso della statica grafica.

Bisogna segnalare in questo periodo la presenza nel politecnico di Torino di Alberto Castigliano (1847-1884), allievo di Curioni, che si laureò nel 1873. Il ruolo di Castigliano, che nel 1879 scriverà un testo fondamentale[12], deve essere ancora chiarito nell'ambito della stesura dei manuali della scienza delle costruzioni. Il testo di Castigliano è strutturato come un manuale moderno. Inizia con una trattazione abbastanza estesa di meccanica dei continui, con un approccio molecolare come quello di Saint-Venant. Segue una trattazione abbastanza estesa del solido di Saint-Venant; infine c'è un ampio capitolo di meccanica delle strutture sviluppato secondo una trattazione da considerare pionieristica. Per la prima volta sono presentate delle procedure generalizzate per la soluzione dei sistemi iperstatici di travi. La tecnica usata è quella della minimizzazione dell'energia elastica complementare, facendo uso esteso di quelli che oggi vanno sotto il nome di teorema di Menabrea e primo e secondo teorema di Castigliano.

La non appartenenza di Castigliano al mondo accademico spiega solo in parte l'insuccesso del suo testo teorico e anche dei manuali pratici che era riuscito a pubblicare prima di morire[13].

A Camillo Guidi succede nel 1828 Gustavo Colonnetti (1886-1968) che con il suo testo *Principi di statica dei solidi elastici* del 1916 fissa un modello della manualistica della scienza delle costruzioni che durerà almeno fino agli anni '70 del Novecento. Colonnetti segue un approccio assiomatico deduttivo, introducendo anche temi specifici delle sue ricerche, in particolare la teoria delle dislocazioni. La trattazione di Guidi è resa più formale e la parte di meccanica delle strutture ha ormai la sua forma moderna, utilizzando per le tecniche di soluzione dei problemi strutturali i teoremi energetici e il principio dei lavori

virtuali. Il metodo è ancora quello delle forze, in quanto quello degli spostamenti doveva apparire, in mancanza di mezzi di calcolo efficienti, come sostanzialmente impraticabile.

I manuali considerati

La tabella 2.1 riporta l'elenco dei manuali esaminati. Alcuni sono già stati commentati, altri lo saranno in seguito. L'appendice riporta le schede dei manuali non commentati, per consentire al lettore la verifica delle conclusioni da noi tratte.

I manuali più vecchi tra cui quello di Curioni (1867) e di Pullino (1866, *vedi* scheda A.1) hanno un approccio di tipo problematico e si rifanno in parte ai testi francesi dell'*Arte del costruire*. A partire dal testo di Guidi si trova una presentazione, ribadita da Castigliano, che, come già detto, diventerà classica. La presentazione vede la scienza delle costruzioni divisa in due parti. Nella prima parte è presente una trattazione abbastanza importante di meccanica dei continui con la definizione della deformazione (in genere infinitesima), della tensione e del legame costitutivo. Segue una trattazione abbastanza formalizzata del problema di Saint-Venant. Nella seconda parte si affrontano i temi di meccanica delle strutture, affrontati in larga parte con il metodo delle forze. Gli algoritmi di soluzione sono basati sul principio dei lavori virtuali o sui teoremi di minimo dell'energia potenziale e dell'energia complementare elastica.

Autore	Titolo	Anno, città
Giacinto Pullino	*Resistenza dei materiali e meccanica applicata*	1866, Castellamare
Giovanni Curioni	*L'arte di fabbricare*	1867, Torino
Alberto Castigliano	*Théorie des systèmes élastiques et ses applications*	1879, Torino
Emilio Almansi	*Introduzione alla scienza delle costruzioni*	1901, Torino
Cesare Ceradini	*Meccanica applicata alle costruzioni*	1910?, Milano
Camillo Guidi	*Lezioni sulla scienza delle costruzioni*	1891, Torino
Gustavo Colonnetti	*Principi di statica dei solidi elastici. Scienza delle costruzioni.*	1916, 1941, Torino
H. Müller-Bresalu	*La scienza delle costruzioni*	1927, Milano
Odone Belluzzi	*Scienza delle costruzioni*	1941, Bologna
Letterio Donato	*Lezioni di scienza delle costruzioni*	1938, 1955, Pisa
Giulio Krall	*Appunti dalle lezioni di scienza delle costruzioni*	1937 Napoli

Tabella 2.1 - Testi esaminati

Si potrebbe individuare il punto di maturazione e di equilibrio della evoluzione dei manuali di scienza delle costruzioni nell'opera già citata di Colonnetti *Scienza delle costruzioni* edito nel 1941. Il libro rispetta l'impostazione del 1916, ma è più preciso. Alla meccanica dei continui è dedicato un maggior spazio. Anche la parte di meccanica delle strutture è approfondita. Vi sono importanti applicazioni riguardo alle linee di influenza e alle curve delle pressioni, sviluppate con i metodi integrali e i teoremi energetici di reciprocità. Sono presenti anche: forti cenni alle coazioni termiche e meccaniche (si parla apertamente di distorsioni di Volterra); alcune descrizioni di elastoplasticità; una ricca bibliografia e numerose foto relative ad espe-

rienze di fotoelasticità. Non vi sono esempi particolarmente ricchi riguardo alle travature.

Vale la pena di segnalare quanto scrive Colonnetti nella prefazione al suo libro:

Queste pagine - in cui ho raccolte le lezioni da me impartite quest'anno agli allievi del Politecnico di Torino - rispecchiano fedelmente la concezione didattica a cui io ispiro tutto il mio insegnamento; il quale si propone, deliberatamente, finalità di alta cultura, e, solo subordinatamente, di preparazione professionale.

La scelta degli argomenti è stata fatta con quest'unica preoccupazione: di offrire allo studioso l'occasione di conoscere i principii fondamentali, di approfondirne il significato e la portata, di vedere come si possa su di essi costruire un corpo razionale di dottrine, e come questo possa poi venire, di volta in volta, utilizzato per risolvere problemi concreti.

Gli argomenti che meglio si prestano a tale scopo sono stati sviluppati a fondo. Altri, per se stessi non meno importanti, ma sotto questo punto di vista meno suggestivi, sono stati in tutto o in parte trascurati. Il lettore non troverà qui la solita raccolta di soluzioni fatte, da applicare –a proposito od a sproposito– a tutti i problemi che la pratica tecnica gli potrà presentare. Ma potrà imparare ad analizzare ed a risolvere ciascuno di quei problemi, rendendosi conto del valore delle ipotesi su cui la soluzione si fonda e del grado di approssimazione ch'essa comporta[14].

Anche questo modo di concepire la scienza delle costruzioni è oggi quello generalmente accettato; non si tratta solo di presentare dei metodi di soluzione dei problemi strutturali, ma anche, e forse soprattutto, di sviluppare un discorso razionale sulla meccanica dei continui e sulla meccanica delle strutture che possa consentire all'ingegnere professionista di utilizzare tecniche e metodi in modo pienamente consapevoli.

A questa linea di impostazione della scienza delle costruzioni c'è un'unica eccezione, sebbene importante. Si tratta di quella seguita da Odone Belluzzi (1892-1956) nel suo testo *Scienza delle costruzioni* edito ancora nel 1941. Belluzzi segue un approccio che in gran parte si discosta dallo schema assiomatico deduttivo, e che potrebbe essere definito problematico, riallacciandosi in qualche modo a Müller-Breslau (1851-1925; vedi tabella A.5) e a Stephen Timoshenko (1878-1972), che poco prima di Belluzzi aveva pubblicato un fortunato testo di scienza delle costruzioni, che sarà tradotto anche in italiano[15].

L'aspetto problematico appare netto nella prima parte del volume primo dove si tratta il solido prismatico. La trattazione classica di Saint Venant (peraltro ben citato) è sostanzialmente abbandonata, salvo un suo uso locale. Si definiscono i vari problemi, trave soggetta a trazione-compressione, a taglio, a flessione, a torsione. Si trovano i risultati utili alla verifica strutturale utilizzando il minimo numero possibile di prerequisiti. Anziché introdurre tutta la teoria all'inizio come si fa nelle trattazioni

assiomatiche, se ne introducono elementi mano a mano che servono. Poiché non è necessaria una trattazione tridimensionale della tensione e della deformazione, esse sono introdotte in modo molto semplice ed intuitivo, senza nessun riferimento per esempio al loro carattere tensoriale.

La trattazione invece assume un carattere assiomatico nella seconda parte del primo volume in cui sono introdotti i teoremi energetici. Essi vengono presentati in modo sufficientemente astratto, anche se sono subito utilizzati per risolvere problemi strutturali.

Il secondo volume è difficilmente classificabile; a parte alcuni aspetti teorici connessi all'ellisse di elasticità e alle linee di influenza, si tratta di un elenco di metodi pratici per la soluzione dei telai, sia con il metodo delle forze sia con il metodo delle deformazioni (per esempio il metodo di Cross).

Nel terzo volume, che tratta i gusci, si adotta un approccio sostanzialmente assiomatico deduttivo, riducendo comunque al minimo gli aspetti di meccanica dei continui. Il quarto volume tratta la teoria della stabilità; è un argomento tipico della meccanica delle strutture e viene sviluppato in modo approfondito, seppure senza far riferimento a un approccio formalizzato. Anche per capire lo spirito che ha animato Belluzzi nella stesura del suo manuale è utile far riferimento alla prefazione del suo testo.

Lo studio delle deformazioni dei corpi elastici si può risolvere seguendo due criteri diversi. La Teoria della elasticità conserva nello studio il rigore matematico, ma deve limitarsi a casi di solito molto semplici e schematici, i soli per i quali si riesce a determinare la soluzione. La Scienza delle costruzioni invece rinuncia spesso a tale rigore poco fecondo, pur di risolvere in modo utile i problemi della pratica [...].

Inoltre la Teoria della elasticità parte da alcune ipotesi fondamentali e svolge le sue ricerche matematiche senza più preoccuparsi del comportamento reale dei corpi, che spesso si scosta notevolmente da tali ipotesi[...][16].

Si noti la valutazione sostanzialmente contrapposta a quella di Colonnetti.

Il ruolo di Belluzzi nella didattica della scienza delle costruzioni è stato certamente importante data la enorme popolarità dei suoi manuali, specie del primo che è stato letto da generazioni di studenti. Esso però deve essere ancora precisato. Bisogna capire perché il suo modo di fare scienza delle costruzioni sia rimasto sostanzialmente isolato, nonostante la fortuna editoriale del suo testo. E perché vi sia stata questa fortuna quando il testo stesso è stato generalmente usato solo come manuale di fiancheggiamento alla teoria sviluppata dal docente di scienza delle costruzioni seguendo l'approccio assiomatico deduttivo. Inoltre perché nell'università di Bologna, prima con Silvio Canevazzi (1852-1918), poi con Giuseppe Albenga (1882-1957), precedessori di Belluzzi, e poi con Osvaldo Zanaboni e Michele Capurso suoi successori, si è sempre seguito l'approccio assiomatico deduttivo alla Colonnetti.

[1] Articolo 47 della legge Casati: "L'istruzione superiore ha per fine di indirizzare la gioventù, già fornita delle necessarie cognizioni generali, nelle carriere sì pubbliche che private in cui si richiede la preparazione di accurati studi speciali, e di mantenere ed accrescere nelle diverse parti dello stato la cultura scientifica e letteraria".

[2] V. Marchis, Le radici di una scuola politecnica, *Progettare*, n. 309, marzo 2007; A. Silvestri, La nascita delle facoltà di ingegneria e di architettura in Italia, *I Convegno di Storia dell'ingegneria*, Napoli, 2006; A. M. Zorgno (a cura di), *Materiali tecniche progetto*, Milano, Franco Angeli, 1995; E. Siviero, I. Zampini, *L'ingegneria italiana nel Novecento*, ricerca in corso presso lo IUAV, Venezia, 2006.

[3] E. Benvenuto, Dall'arte del fabbricare alla scienza delle costruzioni, in A. M. Zorgno (a cura di), *Materiali tecniche progetto*, cit., pp. 60-75.

[4] G. Colonnetti, *Scienza delle costruzioni*, Torino, Einaudi, 1941; G. Colonnetti, *Principi di statica dei solidi elastici*, Pisa, Spoerri, 1916.

[5] D. Capecchi, G. Ruta, R. Tazzioli, *Enrico Betti,:teoria dell'elasticità, Benevento*, Hevelius, 2006.

[6] La scuola si trasformerà in Politecnico con la legge del 23 giugno 1906.

[7] G. Curioni, *L'arte di Fabbricare. Ossia corso completo di istituzioni teoriche pratiche per ingegneri*, Torino, Negro, 1864-1884. 6 voll. e 5 appendici.

[8] B. F. de Belidor, *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, Paris, chez Claude Jombert, 1729; J. Rondelet, *Traité théorique et pratique de l'art de batir*, Paris, chez M. A. Rondelet, 1830-1832.

[9] C.-L.-M.-H. Navier, *Résumé des leçons données a l'école des ponts et chausées sur l'application de la mécanique a l'établissement des constructions et des machines*, Paris, Dunod, 1826-1864.

[10] C. Guidi, *Lezioni sulla scienza delle costruzioni*, vol. 2; Torino, lit. Salussolia, 1891.

[11] Un testo di riferimento può essere E. Betti, *Teoria della elasticità*, estratto dal Nuovo Cimento, Pisa, tip. Pieraccini, 1874.

[12] A. Castigliano, *Théorie des systèmes élastiques et ses applications*, Torino, Negro, 1879.

[13] V. Nascè: *Alberto Castigliano, railway engineer: his life and times*, "Meccanica", 19, 1984, pp. 5-14.

[14] G. Colonnetti; *Scienza delle costruzioni*; cit., Prefazione.

[15] S. Timoshenko, *Strength of Materials*, Toronto, Toronto University, 1940; *Scienza delle costruzioni*, Torino, Viglongo, 1955-1956.

[16] O. Belluzzi, *Scienza delle costruzioni*, Bologna, Zanichelli, 1941. Vol. 1, Prefazione

Schede

Scheda A.1. Giacinto Pullino; *Resistenza dei materiali e meccanica applicata*; Castellammare, Tipografia stabiana, 1866. Organizzazione: Problematica

- *Meccanica dei continui*: Assente.
- *Solido prismatico*: Tutto il primo volume. Formalizzazione modesta: approfondita solo in qualche tratto.
- *Meccanica delle strutture* (travi piane); Brevissimi cenni; qualche esempio.
- *Metodi integrali*;: Assenti.
- *Non linearità*; Descrizione fenomenologica della rottura.
- *Stabilità equilibrio*: Cenni.
- *Sicurezza*: Cenni.
- *Criteri di resistenza*; Cenni:

Pullino si dichiara allievo di Menabrea. Sono presenti nel manuale numerosissime tabelle, abachi e specchietti relativi a risultati di prove sperimentali, quasi come se il manuale fosse una serie di esempi campione e risultati sperimentali per la pratica professionale. Gli enunciati sul comportamento delle travi sotto gli stati elementari di sollecitazione sono assai qualitativi e si basano essenzialmente su risultati sperimentali. Sono presenti l'equazione dell'"elastica" e alcuni casi semplici di sua integrazione.

Scheda A.2. Emilio Almansi; *Introduzione alla scienza delle costruzioni*; Torino, C. Clausen, 1901. Organizzazione: Assiomatica.

- *Meccanica dei continui*: Estesa. Formalizzazione elevata.
- *Solido prismatico*: Estesa per casi semplici del problema di Saint Venant. Formalizzazione elevata
- *Meccanica delle strutture* (travi piane): Equazione dell'"elastica" . Formalizzazione idem c.s.
- *Metodi integrali*: Assenti.
- *Non linearità*: Non trattate
- *Stabilità dell'equilibrio*: Cenni a proposito dell'elastica.
- *Sicurezza:* Sufficiente. Formalizzazione elevata.
- Criteri di resistenza: Sufficiente. Formalizzazione idem c.s.

Appare più, come dice il titolo, un ponte tra la meccanica razionale e la scienza delle costruzioni, fatta da uno studioso di meccanica razionale e volta all'utilizzo nelle applicazioni. Estremamente preciso, rigoroso, assiomatizzato.

Scheda A3: Giulio Krall, *Appunti delle lezioni di Scienza delle Costruzioni* (raccolti da V. Amicarelli), G.U.F. Mussolini Sezione Editoriale, Napoli, 1937. Organizzazione: Assiomatica?

- *Meccanica dei continui*: Praticamente assente. C'è un accenno all'analisi dello stato di tensio ne e ai cerchi di Mohr; le componenti di tensione sono introdotte in modo intuitivo.
- *Solido prismatico*: Non usa i risultati di De Saint-Venant; in modo euristico determina la distribuzione delle sole tensioni normali. Metodi grafici per il calcolo delle cds.&
- *Meccanica delle strutture* (travi piane): Trattazione limitata ai sistemi staticamente determi nati.
- *Metodi energetici*: Cenno. Accenna all'uso dei teoremi dei lavori virtuali, di Castigliano e della minima energia potenziale per la soluzione dei sistemi iperstatici.
- *Non linearità*: Assenti

- *Stabilità dell'equilibrio*: Assente
- *Sicurezza*: Assente
- *Criteri di resistenza*: Assenti

Il volume tratta principalmente la statica dei sistemi determinati e sembra dunque relativo a una sola parte del corso. Cenni sulle cupole. L'ultimo capitolo è dedicato alla fotoelasticità. Gli argomenti sono trattati in modo poco rigoroso. Non ci sono riferimenti bibliografici.

Scheda A.4: Cesare Ceradini; *Meccanica applicata delle terre, cemento armato*; Milano, Vallardi, 1910?. Organizzazione: Assiomatica.

- *Meccanica dei continui*: In parte. si tratta di tensioni con riferimento essenziale alle travi. Formalizzazione secondo la matematica dell''800. Forte appoggio ai metodi grafici
- *Solido prismatico*: Estesa; geometria delle aree piane, tensioni nelle travi, casi particolari del problema di Saint Venant. Formalizzazione idem c.s.
- *Meccanica delle strutture* : Estesa. Travi piane. Formalizzazione idem c.s.
- *Metodi integrali*: Estesa. Formalizzazione idem c.s.
- *Non linearità*: assente.
- *Stabilità dell'equilibrio*: Più che sufficiente. Formalizzazione idem c.s.
- *Sicurezza*: Cenni nei cap. II (tensioni nelle travi), XVII (spinta delle terre), XVIII (calcestruzzo armato).
- *Criteri di resistenza*: Sufficiente. Assieme a casi particolari del problema di Saint-Venant. Formalizzazione idem c.s.

Sono inoltre presenti estesamente: travi ad asse curvo, spinta delle terre, calcestruzzo armato. Non sono presenti cenni bibliografici ricchi se non nella premessa e nelle note ai capitoli sulla spinta delle terre e sul calcestruzzo armato. Non si parla mai ovviamente di computerizzazione ma l'accenno continuo a metodi grafici di soluzione approssimata, dividendo i domini in strisce finite od in campate finite è assai "moderno" e, in qualche modo, orientato al calcolo automatico ed approssimato.

Scheda A.5: Heinrich Müller-Breslau; *La scienza delle costruzioni*; Milano, Hoepli, 1927. Organizzazione: Problematica

Meccanica dei continui: Specializzata alle tensioni nelle travi, nei volumi secondo, terzo e quarto. Cenni più generali nel volume quarto. Formalizzazione buona. Forte uso della statica grafica.

- *Solido prismatico*: Estesa. Formalizzazione idem c.s.
- *Meccanica delle strutture*: Enormemente estesa: gran parte del volume primo, tutti i restanti volumi. Problemi piani e spaziali. Formalizzazione idem c.s.
- *Metodi integrali*: Estesa, volumi secondo, terzo e quarto. Formalizzazione idem c.s.
- *Stabilità dell'equilibrio*: Estesa, volume terzo e quarto. Formalizzazione idem c.s.
- *Computerizzazione*: Fortissimo ricorso a metodi grafici approssimati a strisce finite e campate finite. Formalizzazione idem c.s.
- *Sicurezza*: Cenni.
- *Criteri di resistenza*: Cenni.

Il manuale è una vera miniera di teoria rigorosa aiutata da calcolo grafico per la soluzione di problemi pratici di travi e tralicci, piani e spaziali, determinati e indeterminati, con vincoli fissi, cedevoli, elastici e non, e soggetti ad azioni meccaniche e coazioni. La monografia è pressoché tutta dedicata a queste applicazioni, con l'aiuto di metodi ricchi (metodi energetici, teoremi di reciprocità) ma finalizzati alla soluzione di problemi reali disparati. Ricche appendici bibliografiche. In special

modo, nel quarto volume (contenente gli ultimi metodi utilizzati da Müller-Breslau) si fa un breve excursus storico dell'uso dei metodi di Castigliano in Germania, con accenni alla polemica con Otto Mohr, Grashof ed altri.

Scheda A.6: L. F. Donato, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, 2 volumi, Tipo-Lit. Regia Accademia Navale, Livorno 1938. Organizzazione: Assiomatica.

Meccanica dei continui: Metà della Parte I; trattazione non estremamente rigorosa.

Solido prismatico: Altra metà della Parte I; Casi di Saint Venant trattati estesamente partendo da campi di spostamento.

Meccanica delle strutture (travi piane): Trattazione estesa ma non estremamente rigorosa. Uso di metodi grafici e analitici.

Metodi energetici: Parte II. Uso esteso dei teoremi dei lavori virtuali, di Castigliano e di Menabrea.

Non linearità: Assente

Stabilità dell'equilibrio: Tratta estesamente la trave di Eulero in campo elastico e in campo plastico; metodo omega.

Dinamica: Assente

Criteri di resistenza: Esaminati anche con riferimento ai casi di Saint Venant; cenni sulla fatica.

La parte I è sviluppata in modo poco approfondito. I dettagli non sono molto curati. La parte II è più corposa, anche qui però gli argomenti sono presentati in modo non del tutto chiaro. Relativamente alle travi sono descritti in dettaglio i principali metodi per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti (per via analitica e per via grafica). In questa parte sono compresi anche i criteri di crisi.

Scheda A.7: Letterio F. Donato, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni*, Colombo Cursi Editore, Pisa, 1955. Organizzazione: Assiomatica.

Meccanica dei continui: Metà della Parte I, Sufficiente.

Solido prismatico: Metà della Parte I. Casi di Saint Venant trattati estesamente, partendo da campi di spostamento.

Meccanica delle strutture (travi piane): Trattazione estesa ma non estremamente rigorosa. Uso di metodi grafici e analitici.

Metodi energetici: Parte II: Uso esteso dei teoremi dei lavori virtuali, di Castigliano e di Menabrea.

Non linearità: Assenti.

Stabilità dell'equilibrio: Tratta estesamente la trave di Eulero in campo elastico e in campo plastico; metodo omega.

Criteri di resistenza: Esaminati anche con riferimento ai casi di Saint Venant; cenni sulla fatica.

Rispetto all'edizione precedente sono sistemate alcune imprecisioni e sono colmate alcune lacune (nella torsione ad esempio compaiono i metodi approssimati per le sezioni sottili).

Anche nella parte II gli argomenti sono presentati in modo non del tutto chiaro. Relativamente alle travi sono descritti in dettaglio i principali metodi per il calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti (per via analitica e per via grafica). Rispetto all'edizione precedente non ci sono grossi cambiamenti; viene aggiunto un capitolo sulle linee e le superfici d'influenza; c'è una lista di 18 riferimenti bibliografici all'inizio del primo volume (i riferimenti non sono richiamati nel testo).

FRANCESCA ROMANA D'AMBROSIO

Evoluzione dei modelli di termoregolazione del corpo umano

Introduzione

I modelli di termoregolazione sono uno strumento utilissimo nella determinazione della risposta dell'uomo all'ambiente termico e nella valutazione delle condizioni di comfort e/o di stress termico, da caldo e da freddo.

Questo lavoro vuole rappresentare un tentativo di ricostruzione dell'evoluzione dei modelli di termoregolazione sulla base della bibliografia disponibile presso il gruppo di ricerca EQUATEC (Environmental Quality Team of Campania), costituito da docenti del DIMEC e del DETEC (Dipartimento di Energetica, Termofluidodinamica e Condizionamenti Ambientali dell'Università degli Studi di Napoli Federico II), fondato nel 1983 dal prof. Gaetano Alfano (Alfano, 2007).

Caratteristiche dei modelli

Un modello completo di termoregolazione deve comprendere la rappresentazione di due tipi di processi:

- gli scambi termici all'interno del corpo e tra il corpo stesso e l'ambiente (sistema passivo o controllato);
- i meccanismi attraverso i quali il corpo controlla gli scambi termici al fine di mantenere la sua temperatura in un campo ristretto di valori (sistema attivo o di controllo).

In letteratura si ritrovano diverse classificazioni dei modelli (Hardy, 1972; Lotens, 1988; Houdas, 1981). Qui si seguirà quella di Hardy, che distingue i modelli in due categorie: quelli qualitativi e quelli quantitativi: dei primi fanno parte i verbali, i figurativi, i chimici ed i neuronali; dei secondi, i fisici ed i matematici. Per quel che riguarda questi ultimi, ci si discosterà dalla trattazione di Hardy, che li presenta in ordine cronologico, distinguendoli invece a seconda del numero di parti in cui dividono il corpo umano.

I modelli qualitativi

I modelli verbali

Le informazioni su questi modelli sono state tratte essenzialmente da (Hardy, 1972).

I modelli verbali furono i primi ed i più rudimentali, in quanto sono essenzialmente descrittivi e si limitano ad enunciare alcune ipotesi; sono stati molto utili per un primo approccio al problema della termoregolazione, ma non permettono una precisa descrizione di un sistema complicato quale quello termoregolatorio. Il primo a formulare un modello di tale tipo probabilmente fu Claude Bernard che, nella "Introduction à l'étude de la médicine éxpérimentale", del 1865, si interessò di regolazioni biologiche.

Il ruolo importante ricoperto dall'ipotalamo nella termoregolazione, fu discusso da Ott nel 1884 e Richet nel 1885. Essi scrissero che "quando un animale è sottoposto al freddo o al caldo, esso

regola la sua temperatura e la mantiene ad un valore fissato" e indicarono i "centri termostatici", costituiti da centri termogenici, termoinibitori e termolitici, aventi lo scopo di regolare la temperatura.

Il modello di Ott e Richet fu sorpassato nel 1902 da quello di Rubner, che sostenne l'esistenza di tre forme di regolazione della temperatura, quella fisica, quella chimica e quella metabolica, individuando i campi di valori della temperatura ambiente in cui tali regolazioni intervengono. Il grande merito di Rubner è quello di aver applicato, per la prima volta, il primo principio della termodinamica al sistema uomo.

Nel 1913 Meyer riprese le idee di Ott e le espose in una forma più chiara e moderna, ipotizzando la presenza di due centri distinti collegati fra loro, ma con funzioni antagoniste: un centro termogenico, che si occupa della risposta al freddo producendo energia termica, ed un centro termolitico, che si occupa della risposta al caldo disperdendo energia termica. Il modello di Ott-Meyer è stato a lungo utilizzato per la spiegazione della termoregolazione.

Per ciò che riguarda poi il fenomeno della febbre, Liebermeister nel 1871 espose la sua concezione: "una sostanza pirogena agisce in modo diretto o indiretto sui centri di termoregolazione in modo da stabilire una temperatura più elevata". Egli affermò inoltre che "durante la malattia febbrile, la termoregolazione non è in alcun caso perduta, ma agisce allo stesso modo che se l'individuo fosse in buona salute". Tale concetto è valido ancora oggi ed è stato in parte ripreso nella teoria del set-point variabile.

I modelli sotto forma di figure

Ancora una volta, la fonte è (Hardy, 1972). Questi modelli rappresentano il sistema di termoregolazione in maniera più completa di quelli verbali, anche se spesso si limitano a considerarlo come una scatola nera, senza analizzare la struttura e le funzioni dei singoli componenti.

Il modello di Dubois del 1948 è il primo modello di questo tipo. Contiene gran parte delle conoscenze attuali, rappresentando i componenti neurofisiologici del sistema di termoregolazione e le loro connessioni con effettori, ghiandole sudoripare, vasi sanguigni cutanei e muscoli scheletrici.

Il modello di Hensel del 1952 correla molte funzioni fisiologiche con informazioni di due tipi: inibizione ed eccitazione.

Il modello di Benzinger et al. (1961), in fig. 1, riprende l'idea di Hensel di un recettore termico centrale, ma ne limita la sensibilità solo al caldo, mentre ritiene la pelle sensibile solo al freddo. L'ipotalamo anteriore rappresenta il centro di regolazione contro il caldo: senza ricevere impulsi da altri recettori, trasforma il segnale di temperatura, che egli stesso genera, in impulsi nervosi ed invia agli effettori un comando di vasodilatazione o di sudorazione. Il centro di regolazione contro il freddo elabora i segnali provenienti dalla pelle ed invia il comando del brivido. I due centri di re-

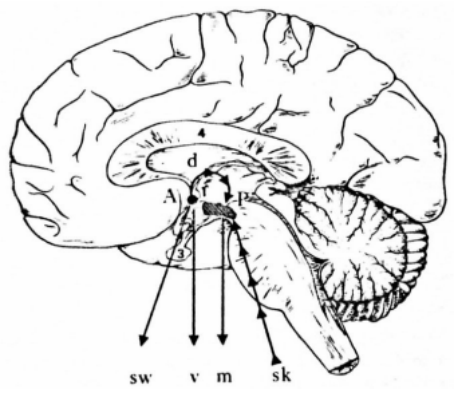


Fig. 1 - Modello di Benzinger.
Da (Benzinger e Kitzinger, 1961). A: ipotalamo anteriore; P: ipotalamo posteriore; d: via di comando interna; sw e v: vie di comando rispettivamente delle ghiandole sudoripare e dei vasi sanguigni cutanei; m: via di comando dei tessuti produttori di energia termica; sk: via d'accesso delle informazioni provenienti dai recettori cutanei del freddo; 1: commessura anteriore; 2: chiasma ottico; 3: ipofisi; 4: corpo calloso

golazione sono interconnessi, in modo da determinare un'eventuale inibizione della regolazione contro il freddo in base al segnale di temperatura dell'ipotalamo anteriore. Tale modello è applicabile all'organismo sia fermo che in movimento.

Il modello di Chatonnet e Cabanac, riportato in figura 2, parte dall'esame della struttura anatomica. E' il primo modello che prevede un'origine comune per la regolazione fisiologica e per quella comportamentale; ipotizza che la regolazione comportamentale sia dovuta alla sensazione di discomfort causata dagli stimoli centrali e periferici ed alla risposta fisiologica.

I modelli neuronali

A partire dagli anni '60 si è cominciato ad approfondire il ruolo che i

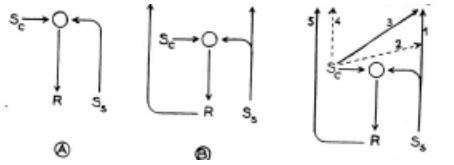


Fig. 2 - Rappresentazione grafica dei modelli concettuali della termoregolazione e delle interazioni tra gli stimoli termici che provocano le sensazioni di caldo, di freddo e di discomfort termico: a) sensibilità termica centrale, b) sensibilità termica cutanea, c) reazioni termoregolatorie. (Da Chatonnet e Cabanac, 1965). S_c: sensibilità termica centrale; S_S: sensibilità termica cutanea; R: reazioni termoregolatrici

neuroni svolgono nella termoregolazione. Tali modelli sono basati essenzialmente sul funzionamento, a livello del sistema nervoso, del sistema di termoregolazione, escludendo tutte le altre componenti (ormonale, muscolare, vascolare, ecc...).

I modelli esistenti si occupano di parti limitate del sistema di neuroni coinvolto nella termoregolazione e non ne forniscono un quadro completo.

Un primo modello fu quello di Hammel, del 1965, basato su alcuni risultati sperimentali, nel quale non sono presenti i due centri, quello del freddo e quello del caldo, ma sono gli impulsi provenienti dalla periferia a determinare i segnali di errore che producono il comando.

Sono stati poi realizzati schemi più semplificati come quello di Maeskrey e Bligh, che riprende (Hardy, 1972) le caratteristiche essenziali del precedente modello:

- la convergenza di informazioni provenienti da differenti zone termosensibili sui neuroni "integratori";

• la separazione della rete di neuroni responsabili della termolisi da quella della termogenesi, con reciproco effetto di inibizione.

I modelli chimici

In seguito agli studi di Feldberg e Myers sulle iniezioni di adrenalina e noradrenalina nel ventricolo celebrale laterale del gatto, gli studi sulla microanatomia del sistema nervoso hanno conosciuto un forte sviluppo. I modelli che ne sono derivati presuppongono che gli scambi, o l'elaborazione, di informazioni siano dovuti allo scambio o alla produzione di sostanze chimiche (Hardy, 1972).

I modelli quantitativi

Sono stati raggruppati sotto questo nome tutti i modelli che permettono sia di effettuare misure che di calcolare i valori di alcune grandezze, consentendo, contrariamente a quelli precedenti, di effettuare simulazioni.

I modelli fisici

Cercano di approssimare i fenomeni reali, considerando l'uomo come una scatola nera che interagisce termicamente con l'ambiente e rappresentando gli scambi termici attraverso un indice. I limiti di questi modelli sono nella non completa rappresentatività dei meccanismi di termoregolazione, nella difficoltà di realizzazione, negli elevati costi e nella scarsa versatilità; a fronte di ciò, si sono rivelati molto utili per la comprensione e lo studio di alcuni fenomeni particolari.

Nel 1947, Machle e Hatch (McDonald e Wyndham, 1950) presentarono un modello di termoregolazione di tipo conduttivo-capacitivo, in cui il corpo è modellizzato come una capacità termica e le reazioni dovute alla presenza dell'ambiente esterno come una resistenza termica; il metabolismo è rappresentato da un generatore.

Nel 1948 Pennes verificò l'applicabilità al sistema uomo delle leggi che regolano lo scambio termico; in seguito a sperimentazioni effettuate sul braccio di una serie di soggetti, arrivò alla conclusione (Pennes, 1948) che è possibile usare:

• la legge di Newton per lo scambio pelle-ambiente

• la legge di Fourier in simmetria cilindrica per lo scambio conduttivo

• la relazione $q = mc\Delta t$ per lo scambio sangue-tessuti, con:

m = flusso ematico, kg/s;

c = calore specifico, J/kgK

Δt = differenza tra la temperatura del sangue e quella del generico tessuto, K.

Nel 1958 Aschoff, avvalendosi dell'analogia fluidotermodinamica, dimostrò l'importanza del fenomeno di scambio termico in controcorrente negli arti.

Un modello interessante è quello di Mac Donald e Wyndham del 1950, che si rifà al modello di Machle e Hatch e nel quale viene introdotto il concetto di bagnatura della pelle, che sarà poi ripreso negli anni '70 come indice di discomfort.

Il modello di Mac Donald e Wyndham ha subito negli anni modifiche e sviluppi, dando luogo, tra gli altri, a quel-

lo di Cornew et al., che considera il corpo umano diviso in quattro strati, per ciascuno dei quali la resistenza termica e la produzione di energia termica sono ancora rappresentate attraverso un'analogia elettrica; sono inoltre presi in considerazione i flussi termici evaporativi dovuti alla respirazione.

I modelli matematici: generalità

Già a partire dagli anni '30 il problema della modellizzazione matematica dell'interazione uomo-ambiente termico fu affrontato con notevole competenza alla J.B. Pierce Foundation (Gagge, 1937; Gagge et al. 1937; Gagge et al., 1938; Winslow et al., 1936; Winslow et al., 1937).

I modelli matematici, che distinguono il sistema di controllo dal sistema controllato, consistono in un sistema di equazioni matematiche che descrivono i concetti fisici e/o le ipotesi sul funzionamento dei circuiti della regolazione. Il principale difetto di questi modelli è l'alto livello d'astrazione, ampiamente compensato dalla loro versatilità, in quanto consentono di modificare tutti i parametri e persino le ipotesi utilizzate. Sono tutti basati sull'espressione matematica del primo principio della termodinamica applicato al sistema "uomo".

Come già detto questi modelli saranno classificati in base al numero di parti in cui suddividono il corpo umano.

Modelli ad un cilindro

Quello di Burton (Burton, 1941) è il primo modello matematico di termoregolazione, nel quale il corpo umano è assimilato ad un cilindro omogeneo e la soluzione del campo termico è rappresentata mediante funzioni di Bessel. Burton verificò la validità del suo modello attraverso un esperimento in cui un soggetto fu posto in un bagno, inizialmente alla temperatura di 32,5°C e rapidamente portato a 36°C; fu ipotizzato che questo brusco aumento di temperatura comportasse una rapida vasodilatazione, con una conduttanza termica quadruplicata. I risultati dell'esperimento indicarono che:

- affinchè la temperatura si stabilizzi sono necessarie alcune ore;
- la temperatura interna in un primo momento decresce, poi aumenta;
- le variazioni radiali delle temperature iniziali e finali sono paraboliche.

Nel 1965 Stolwijk e Hardy presentarono un primo modello per la valutazione degli scambi termici, utilizzato per calcolare le temperature della pelle e dei tessuti sottocutanei in presenza di sorgenti radianti. Questo modello, che considera il corpo formato da 8 strati in serie fra loro, è applicabile solo in assenza di aggiustamenti vasomotori e di sudorazione.

Nel 1968 Wyndham e Atkins, partendo dall'osservazione che il modello a più cilindri proposto da Hardy e Stolwijk rappresenta una soluzione parziale del problema della modellizzazione della termoregolazione, in quanto non tiene conto delle relazioni esistenti tra la sudorazione e gli scambi termici conduttivi, e tra la temperatura centrale e quelle periferiche, relazione peraltro complessa, propongono un nuovo modello, basato su quello di Mac Donald e

Wyndha (Wyndham e Atkins, 1968). Il modello prevede due centri di controllo: uno, che riguarda le dispersioni, e che sovrintende alla sudorazione ed all'aumento della conduttanza termica dei tessuti, l'altro, che riguarda la conservazione dell'energia, che sovrintende alla vasocostrizione ed al brivido; ambedue i centri ricevono segnali sia dalla pelle che dall'ipotalamo.

In condizioni di neutralità o di leggero freddo non accade nulla di particolare; al freddo, si ha una diminuzione di temperatura interna e superficiale, per cui vengono stimolati sia i ricettori dell'ipotalamo che quelli della pelle, con conseguente aumento del metabolismo che, a sua volta, determina un aumento della temperatura interna e l'attivazione del sistema di dissipazione, fino a raggiungere valori di temperatura interna per i quali non scatta la dissipazione.

Al caldo, è solo il centro della dissipazione che entra in funzione, stimolato dai recettori interni e da quelli superficiali.

Nel 1969 (Atkins e Wyndham, 1969) venne presentato un modello più avanzato, che schematizza il corpo con un cilindro suddiviso in quattro sezioni concentriche:

1. il nucleo centrale, che comprende lo scheletro e gli organi centrali, esclusi quelli direttamente associati al sistema circolatorio;
2. i muscoli, nei quali viene prodotta l'energia termica durante l'esercizio *(struttura omogenea);*
3. i tessuti sottocutanei e il grasso;
4. la pelle, che è interessata in minima parte dagli scambi convettivi con il sangue *(struttura omogenea*).

L'energia termica è generata nello strato muscolare ed è trasferita agli strati più esterni per convezione attraverso i vasi sanguigni, e per conduzione attraverso i tessuti. Lo strato esterno di pelle è scarsamente irrorato dai vasi sanguigni, quindi in esso gli scambi termici avvengono essenzialmente per conduzione. Ciascuno strato è assunto omogeneo, cioè al suo interno sono ritenuti uniformi i valori della conducibilità e della capacità termica, la produzione di energia metabolica ed il trasferimento di energia termica al sangue. La conduzione tra i vari strati avviene solo in direzione radiale. Il sistema circolatorio è considerato separatamente; il sangue, sia venoso che arterioso, ha la stessa temperatura degli strati che attraversa e gli scambi che avvengono in controcorrente tra le vene e le arterie adiacenti sono trascurati, ipotizzando che gli scambi termici avvengano solo attraverso i capillari più sottili.

Per quanto riguarda il sistema di controllo, i recettori termici sono collocati sull'epidermide, nel midollo spinale e nell'ipotalamo e la temperatura interna è quella media arteriosa; le temperature di riferimento sono utilizzate per controllare il flusso sanguigno, e quindi la vasomotricità, la produzione di energia termica e la sudorazione. Il modello viene risolto alle differenze finite.

Tra i modelli ad un solo cilindro va ricordato quello di Gagge dei primi anni '70 (Nishi e Gagge, 1971; Gagge et al., 1971; Gagge, 1973a; Gagge, 1973b), ri-

visto successivamente dall'autore fino al 1988 (Fobelets e Gagge, 1988), nel quale il corpo umano è schematizzato come un cilindro a due strati concentrici ed omogenei: il nucleo centrale e l'epidermide, cui può essere sovrapposto lo strato di abbigliamento.

Il sistema controllato viene caratterizzato attraverso dei bilanci di energia effettuati su ciascuno dei due strati: lo strato più interno scambia energia termica con l'epidermide per conduzione e per convezione attraverso i vasi sanguigni, e con l'ambiente esterno per evaporazione e convezione con la respirazione; è ancora in tale strato che si ha la produzione di energia metabolica e di lavoro muscolare. Lo strato più esterno scambia energia termica, oltre che con il nucleo, con l'ambiente esterno per evaporazione, convezione ed irraggiamento.

Il sistema di controllo utilizza tre temperature di riferimento: quella del nucleo, quella della pelle e quella media corporea, i cui valori sono confrontati con i rispettivi set-point per dare luogo ai segnali. In particolare, il segnale di caldo dal nucleo determina la vasodilatazione; il segnale di freddo dalla pelle determina la vasocostrizione; la sudorazione è proporzionale linearmente al segnale di caldo dal corpo nel suo complesso ed esponenzialmente al segnale di caldo dalla pelle (perché la sudorazione venga attivata è necessaria la presenza di ambedue i segnali). Infine, il brivido dipende dai segnali di freddo provenienti sia dal nucleo che dalla pelle (è sufficiente che uno dei due sia nullo perchè il brivido non si attivi). Il modello di Gagge, meglio noto come modello a due nodi, è alla base del calcolo dell'indice ET^* (New Effective Temperature) (Alfano et al., 1997; ASHRAE, 2005) utilizzato per molti anni dalla ASHRAE Standard 55 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".

Il modello di Crosbie et al. (Hardy, 1972) schematizza il corpo umano come un cilindro a tre strati. La grandezza regolata è una temperatura media del corpo, calcolata a partire dai valori di temperatura del nucleo centrale, dei muscoli e dell'epidermide.

Hardy e Dubois effettuarono su questo modello una sperimentazione, dimostrando che fornisce buoni risultati in un ampio campo di temperature.

I modelli a più cilindri

In questi modelli il corpo umano è rappresentato da due o più cilindri, ciascuno composto da due o più strati. Analogamente a quanto si è visto per i modelli ad un cilindro, tra i vari strati si hanno scambi termici conduttivi in direzione radiale, tra i nuclei ci sono scambi convettivi attraverso il sangue e la superficie della pelle scambia energia termica con l'ambiente per convezione, irraggiamento ed evaporazione; il nucleo scambia direttamente con l'ambiente per evaporazione e convezione nella respirazione.

Nel 1961 Wissler (Wissler, 1961; 1963; 1966; 1970; 1971) propose un nuovo modello, che rappresenta i circuiti della termoregolazione. Wissler ebbe il merito di indicare tutti i fattori fisici e

fisiologici di cui un modello deve tener conto:
- le differenze locali di temperatura;
- gli scambi termici conduttivi causati dai gradienti di temperatura;
- gli scambi termici convettivi attraverso il sangue;
- la geometria del corpo;
- la conducibilità termica degli strati superficiali di grasso e dell'epidermide;
- gli scambi in controcorrente tra arterie e vene;
- i flussi di energia termica verso l'ambiente dovuti all'evaporazione attraverso le vie respiratorie;
- i flussi di energia termica verso l'ambiente dovuti all'evaporazione attraverso la pelle;
- l'accumulo di energia termica all'interno dell'organismo;
- le condizioni dell'ambiente.

Il modello di Wissler rappresenta dunque il corpo umano come l'insieme di sei elementi cilindrici (la testa, il tronco e gli arti) e considera la possibilità di uno scambio in controcorrente tra le arterie e le vene. Wissler elaborò anche modelli più dettagliati, che però, all'epoca, richiedevano lunghi tempi di calcolo, per cui non vennero mai applicati; tuttavia, l'idea di dividere il corpo in più segmenti è stata ripresa con successo nei modelli successivi.

Uno dei primi modelli completi è quello di Smith e James del 1964 (Smith e James, 1964), che simula il comportamento termico di un uomo in un ambiente caldo e nel quale il corpo umano è suddiviso in sei segmenti (la testa, il tronco, le braccia e le gambe), ciascuno costituito da tre strati omogenei concentrici (il nucleo centrale, che contiene gli organi interni, lo scheletro ed i muscoli, lo strato sottocutaneo e la pelle). Il modello tiene conto degli scambi in controcorrente nelle estremità, il che comporta una riduzione del flusso termico verso l'ambiente.

Nel 1966 Stolwijk e Hardy (Stolwijk e Hardy, 1966) proposero un nuovo modello, schematizzato in figura 3, nel quale il sistema passivo è rappresentato un po' più dettagliatamente rispetto ai modelli visti precedentemente: i segmenti sono tre (testa, tronco e arti), ciascuno dei quali è a sua volta suddiviso in tre strati (pelle, muscoli e visceri). Per la regolazione si usano tre temperature: quella dell'elemento centrale della testa, che rappresenta l'ipotalamo, una temperatura media dell'epidermide ed una temperatura media dei muscoli, che è sostanzialmente un indice del livello di esercizio muscolare effettuato.

Il segnale della regolazione è proporzionale al prodotto delle variazioni di temperatura del cervello e della pelle rispetto ai loro set-point e il flusso sanguigno nei muscoli è unicamente legato al metabolismo, che a sua volta dipende dall'attività. Un elemento di grande interesse di questo modello è l'interpretazione del meccanismo del brivido: il sangue presente nei muscoli, freddo, è spinto verso il centro del corpo per l'apporto improvviso di sangue arterioso necessario ai muscoli all'istante del brivido, il che aumenta il flusso freddo verso il centro provocando un aumento del brivido; l'energia termica prodotta è in ec-

cesso e si ha un arresto del brivido, in quanto la temperatura si sarà stabilizzata ad un livello superiore.

Il modello di Stolwijk del 1970 (Stolwijk, 1970), proposto per i programmi Skylab e Apollo della NASA e successivamente modificato (Stolwijk et al. 1973) fu il primo a tenere in conto tutti i fattori indicati da Wissler, riprendendo per grandi linee il primo modello passivo di Wissler a sei segmenti: la testa il tronco, le braccia, le mani, le gambe ed i piedi. La caratteristica principale del modello di Stolwijk, è la completezza. Infatti, fornisce in ogni istante tutte le temperature dei compartimenti, che possono essere utilizzate per la regolazione e, consente la massima flessibilità nell'inserimento dei dati; inoltre, riassume molto bene tutte le conoscenze acquisite sulla termoregolazione alla data della sua formulazione. Non a caso, questo modello è quello cui ancora oggi si ispirano tutti coloro che lavorano in questo settore (d'Ambrosio et al., 1993; van Marken Lichtenbelt et al., 2004; Sukstanskii e Yablonskiy, 2004; Yi et al., 2006).

Nel 1974 Montgomery ha fornito una versione del modello di Stolwijk specificamente rivolta allo studio del comportamento termico dell'uomo immerso in acqua (Montgomery, 1974).

Il modello di Gordon (Gordon e Roemer, 1975; Gordon et al., 1976) è molto interessante: il modello passivo utilizzato è un'estensione del modello di Wissler che divide il corpo in 14 segmenti (fronte, viso, cranio, collo, torace, addome, braccia, mani, gambe e piedi), ciascuno

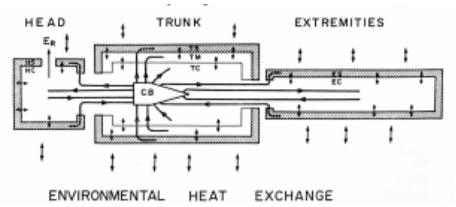


Fig. 3 - Modello del sistema termico passivo dell'uomo di Stolwijk ed Hardy. Da (Stolwijk e Hardy, 1966).
E_R: evaporazione attraverso l'apparato respiratorio; CB: compartimento sanguigno centrale; HC: nucleo della testa; HS: pelle della testa; TC: nucleo del tronco; TM: muscoli del tronco; TS: pelle del tronco; EC: nucleo degli arti; ES: pelle degli arti

avente forma cilindrica o sferica; la suddivisione spinta della testa tiene conto degli scambi termici attraverso le vie aeree superiori in condizioni di freddo intenso. Per quel che riguarda gli elementi di controllo della regolazione, sono sempre presenti le temperature del cervello e della pelle, ma intervengono anche i flussi termici attraverso l'epidermide, valutati in base al numero di recettori termici per unità di superficie di ciascuna parte.

Il modello è concepito per simulare l'esposizione al freddo, quindi non tiene conto della sudorazione, se non per quella parte di evaporazione non termoregolatrice che esiste sempre, cioè la diffusione. L'originalità del modello sta nella presenza di un comando per la vasomotricità anche a livello dei muscoli degli arti. I test sperimentali sembrano provare la validità di tale modello.

Il modello di Miller e Seagrave del 1974 simula il comportamento termico di un soggetto immerso in acqua. Il modello passivo è costituito da 15 elementi

cilindrici (testa, torace, addome, e per ciascun arto, le parti prossimali, mediane e distali). La testa, il torace e l'addome sono costituiti da cilindri a tre strati: cutaneo, muscolare e centrale, mentre i cilindri che rappresentano gli arti sono a due strati. Il solo meccanismo di termoregolazione considerato nel modello è la vasomotricità cutanea; il comando della vasodilatazione è proporzionale alle differenze tra la temperatura dell'ipotalamo e la temperatura media cutanea rispetto ai loro set-point. L'importanza di questo modello sta nel fatto che Miller e Seagrave dimostrarono che in condizione di immersione le temperature auricolare, esofagea e rettale non sono affatto rappresentative della temperatura del sangue che affluisce al cuore.

Rassegne sui modelli di termoregolazione sono state fatte, tra le altre, da Lotens (Lotens, 1988; Lotens e Havenith, 1991) e da Wissler (Wissler, 1988).

Modelli recenti

I modelli più recenti sono tutti derivati da quello di Stolwijk con le sue successive modificazioni (Stolwijk, 1982), dal quale si differiscono per una serie di motivi:

- presentano un numero di nodi molto più elevato;
- considerano l'abbigliamento;
- tengono conto dei risultati delle ricerche svolte negli ultimi anni nel settore della fisiologia del corpo umano;
- tengono conto delle più recenti teorie sullo scambio termico attraverso gli abiti (CEN, 2007);
- tengono conto dei risultati sugli scambi termici uomo-ambiente (Malchaire, 2000).

Va sottolineato che non tutti i modelli disponibili sono stati testati attraverso sperimentazioni in camera climatica, per cui la loro affidabilità è tutta da dimostrare e che molti modelli rispondono bene solo a certe condizioni ambientali (per esempio, non è facile trovare modelli che simulino la risposta fisiologica in ambiente freddo). Attualmente, si sta cercando di organizzare, a livello internazionale, un Robin Test per confrontare i risultati ottenibili con i diversi modelli disponibili e realizzarne uno che possa fornire risultati corretti in qualunque tipo di ambiente.

Prospettive

Grazie alla continua ricerca nel settore, i modelli di termoregolazione, finora utilizzati solo in specifici ambiti di ricerca, quali quelli dei programmi aerospaziali, saranno in grado in futuro di prevedere con sempre maggiore precisione la risposta dell'uomo all'ambiente termico. Di conseguenza, la loro applicazione sarà sempre più vasta: dalla progettazione degli impianti di climatizzazione alla previsione del rischio termico negli ambienti di lavoro, dalla progettazione dell'abbigliamento sportivo alla previsione delle conseguenze termiche derivate dall'indossare abbigliamenti protettivi.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del PRIN "Studio termofluidodinamico di componenti di facciata

adattativi per il comfort ed il risparmio energetico".

Bibliografia

Alfano G., d'Ambrosio F.R., Riccio G. 1997. La valutazione delle condizioni termoigrometriche negli ambienti di lavoro: comfort e sicurezza. Napoli: CUEN.

Alfano G. 2007. La qualità degli ambienti interni. Scritti dal 1984 al 2003. Napoli: Cuzzolin Editore.

ASHRAE. 2005. Physiological principles, comfort and health. Ch. 8 di ASHRAE Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning.

Atkins A.R. e Windham C.H. 1969. A study of temperature regulation in the human body with the aid of an analogue computer. Pflugers Arch, 307, 104-119.

Benzinger T.H., Pratt A.W. e Kitzinger C. 1961. The thermostatic control of human metabolic heat production. In: Proceedings of National Academy of Science U.S.A., 47, 730-739.

Burton A.C. 1941. The operating characteristics of the human thermoregulatory mechanism. In: Temperature its measurement and Control in Science and Industry, 522-528. New York: Reinholds Publishing Corporation.

CEN. 2007. Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble. Standard EN ISO 9920. Bruxelles: Comité Européen de Normalisation.

Chatonnec J. Cabanac M. 1965. The perception of thermal comfort. International Journal of Biometereology. 9(2), 183-193.

d'Ambrosio F.R, Candas V., Hermann C. 1993. A mathematical model of thermoregulation to evaluate thermal comfort. Proceedings of 2nd International Conference on Energy and Environment towards the year 2000, 2, 1031-1043, Capri.

Fobelets A.P.R., Gagge A.P. 1988. Rationalization of the effective temperature, ET*, as a measure of the entalpy of the human indoor environment. ASHRAE Transactions, 94(1), 12-31.

Gagge A.P. 1937. A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration. American Journal of Physiology, 120,277-287.

Gagge A.P. 1973a. A two node model of human temperature regulation in FORTRAN. In: Bioastronautics Data Book (2nd Edition). Washington D.C.: National Aeronautics and Space Administration.

Gagge A.P. 1973b. Rational temperature indices of man's thermal environment and their use with a 2-node model of his temperature regulation. Federation Proc., 32(5), 1572-1582

Gagge A.P., Herrington L.P. e Winslow C.E.A. 1937. Thermal exchanges between the human body and its athmospheric environment. American Journal of Hygiene, 26(1), 84-102, 1937.

Gagge A.P., Winslow C.E.A. e Herrington L.P. 1938. The influence of clothing on physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. American Journal of Physiology, 124(1), 30-50.

Gagge A.P., Stolwijk J.A.J., e Nishi Y. 1971. An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Transactions, 77(1), 247-262.

Gordon R. G. e Roemer R.B. 1975. The effect of radial modal spacing on the performance of a mathematical model of the human temperature regulatory system. IEE Transactions on Biomedical Engineering, January, 80-83.

Gordon R.G., Boemer R.B., Horvath S.M. 1976. A mathematical model of the human temperature regulatory system: transient cold exposure response. IEEE Transactions on biomedical engineering. BME-23(6), 434-444.

Hardy J.D. 1972. Models of temperature regulation - A review. In: Essays on temperature regulation, 163-186, Bligh and Moore eds. Amsterdam: North Holland Publishing Company.

Houdas Y. 1981. Modelling of heat transfer in man. In: Bioengineering, thermal physiology and comfort, 7 , 111-121, Cena and Clark eds. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.

Lotens W.A. 1988. Comparison of thermal predictive models for clothed humans. ASHRAE Transactions, 94(1), 1321-1341.

Lotens W.A., e Havenith G. 1991. Calculation of clothing insulation and vapour resistance. Ergonomics, 34(2), 233-254.

Malchaire J., Piette A., Kampmann B., Mehnert P., Gebhardt H., Havenith G., Den Hartog E., Holmer I., Parsons K., Alfano G., Griefahn B. 2000. Development and validation of the predicted heat strain model, The Annals of Occupational Hygiene, 44.

Mc Donald D.K.C. e Wyndham C.H. 1950. Heat transfer in man. Journal of Applied Physiology, 3, 342-364.

Montgomery L.D. 1974. A model of heat transfer in immersed man. Annals of biomedical engineering, 2, 19-46.

Nishi Y., e Gagge A.P. 1971. Humid operative temperature. A biophysical index of thermal sensation and discomfort. Journal of Physiology (Paris), 63, 365-368.

Pennes H.H. 1948. Analysis of tissue and arterial blood temperatures in the resting human forearm. Journal of Applied Physiology, 1, 93-122.

Smith P.E., e James E.W. 1964. Human responses to heat stress. Archives of environmental health, 9, 332-342.

Stolwijk J.A.J. 1970. Mathematical model of thermoregulation. In: Physiological and behavioural temperature regulation (eds. Hardy, Gagge, Stolwijk), 48, 730-721. Charles C. Thomas Pub.

Stolwijk J.A.J. 1982. Whole body heating -thermoregulation and modeling. Medical Physics Monograph n. 8: Physical aspects of hyperthermia (ed. Nussbaum), 565-586. New York: American Institute of Physics Inc.

Stolwijk J.A.J. e Hardy J.D. 1966. Temperature regulation in man - A theoretical study. Pflugers Arch Ges Physiol, 291, 129-162.

Stolwijk J.A.J. Nadel E.R., Wenger C.B. e Roberts M.F. 1973. Development and application of a mathematical model of human thermore-

gulation . Arch Sci Physiol, 27, A303-A310.

Sukstanskii A.L., Yablonskiy D.A. 2004. An analytical model of temperature regulation in human head. Journal of Thermal Biology 29 (2004) 583–587

van Marken Lichtenbelt W.D., Frijns A.J.H., Fiala D., Janssen F.E.M., van Ooijen A.M.J., van Steenhoven A.A. 2004. Effect of individual characteristics on a mathematical model of human thermoregulation. Journal of Thermal Biology, 29, 577–581.

Windham C.H., Atkins A.R. 1968. A physiological scheme and mathematical model of temperature regulation in man. Pflugers Arch, 303, 14-30.

Winslow C.E.A., Herrington L.P., Gagge A.P. 1936. A new method of partitional calorimetry. American Journal of Applied Physiology, 116, 641-655.

Winslow J.D., Herrington L.P., e Gagge A.P. 1937. Physiological reactions of the human body to varying environmental temperatures. American Journal of Applied Physiology, 120(1), 1-22.

Wissler E.H. 1961. Steady-state temperature distribution in man. Journal of Applied Physiology, 16(4), 734-740.

Wissler E.H. 1963. An analysis of factors affecting temperature levels in the nude human. Temperature its measurements and control in science and industry, 3(3), 603-612. New York: Reinholds Publishing Corporation.

Wissler E.H. 1966. A mathematical model of the human thermal system. Chem. Eng. Prog. Symp. Ser., 62, 66-79.

Wissler E.H. 1970. The use of finite difference techniques in simulating the human thermal system. In: Physiological and behavioural temperature regulation (eds. Hardy, Gagge, Stolwijk), 27, 367-388. Charles C. Thomas Pub.

Wissler E.H. 1971. Comparison of computed results obtained from two mathematical models: a simple 14-node model and a complex 250-node model. Symposium International de Thermorégulation comportementale, Lyon, 1970. Journal of Physiology (Paris), 63, 91-95.

Wissler E.H. 1988. A review of human thermal models. In: Environmental ergonomics (eds. Mekjavic, Bannister, Morrison), part 4, 267-285. London: Taylor & Francis.

Yi L., Aihua M., Ruomei W., Xiaonan L., Zhong W., Wenbang H., Liya Z., Yubei L. 2006. P-smart-a virtual system for clothing thermal functional design. Computer-Aided Design, 38, 726–739.

Antonio Cottone, Tiziana Basiricò

Un sogno durato un secolo: il Politecnico di Palermo

La istituzione della Scuola di Applicazione per Ingegneri

Con Decreto 17/10/1860[1] il pro-dittatore Mordini[2] estendeva, con modifiche, alla Sicilia la legge 3725 del 13/11/1859 sulla Pubblica Istruzione[3].

All'art. 7 veniva annessa alla Facoltà di scienze fisiche e matematiche dell'Università di Palermo una Scuola di applicazione i cui insegnamenti corrispondevano a quelli indicati nell'art. 53 della legge[4].

La Legge distingueva nel Titolo II, l'Istruzione Superiore e nel Titolo IV l'Istruzione Tecnica, nel primo veniva annessa alla Facoltà di scienze fisiche e matematiche di Torino una Scuola di applicazione in surrogazione del Regio Istituto Tecnico[5], nel secondo veniva eretto a Milano un R. Istituto tecnico superiore cui era unita una Scuola d'applicazione per gli ingegneri civili[6].

Le due istituzioni per la formazione di ingegneri dovevano avere caratteristiche diverse; a quella di Torino si doveva accedere con una laurea in matematica, a quella di Milano si poteva accedere direttamente da una scuola tecnica ed eventualmente proseguire gli studi presso la Scuola di applicazione[7].

Una commissione presieduta da Quintino Sella elaborò per Milano un documento proponendo una struttura simile a quella di altre scuole europee[8] e quindi pensata come completamento degli studi intrapresi negli istituti tecnici e con un indirizzo a carattere prevalentemente pratico.

Il lavoro della Commissione non ebbe alcun esito poiché con R.D. 13/11/1862 fu istituito "...in Milano, un Istituto tecnico superiore[9] al quale si accedeva dopo aver frequentato un biennio presso una Facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali…" Agli iniziali diplomi di Ingegnere civile e Ingegnere meccanico si aggiunse con R.D. 3/9/1865 il diploma di Architetto civile.

La Scuola di applicazione di Palermo ebbe difficoltà sin dall'inizio rispetto alle analoghe istituzioni di Torino e Milano dovute alla mancanza di una industria che richiedeva tecnici adeguati ai compiti che il nuovo Stato che si andava costruendo aveva bisogno e dalla presenza di collaudate scuole tecniche.

Le difficoltà sia finanziarie[10] che legate al reperimento di una sede idonea fecero ritardare l'attivazione della Scuola palermitana.

Il Rettore Stanislao Cannizzaro visitò nel novembre del 1866 la Scuola di applicazione per gli ingegneri di Torino e l'Istituto Tecnico Superiore di Milano, già funzionanti ed ebbe contatti con il Ministro Berti al fine di ottenere l'effettiva attivazione della Scuola di applicazione per gli ingegneri di Palermo. Rientrato in sede ottenne dalle amministrazioni comunali e provinciali il sostegno

per i locali e le attrezzature ed il consenso scritto dei professori coinvolti a farsi carico, senza compenso dei corsi necessari.

Per quanto riguardava i locali venne in aiuto la legge della soppressione delle corporazioni religiose e l'incameramento dei beni ecclesiastici che consentì all'Università di occupare il monastero della Martorana e di insediarvi la Scuola di applicazione per gli ingegneri che quindi iniziò effettivamente la sua attività dall'anno accademico 1867-68 sotto la direzione di Giovan Battista Filippo Basile[11]. La permanenza delle carenze strutturali veniva ribadita in quasi tutti i discorsi di apertura degli anni accademici successivi.

Intanto ai primi del Novecento una commissione di ingegneri ed architetti, nominata dal Rettore e presieduta da Ernesto Basile[12], aveva elaborato i progetti per gli edifici universitari destinati a sorgere nel terreno di proprietà degli eredi Archirafi adiacente all'Orto Botanico.

Nel marzo del 1901, i rettori delle tre università siciliane raggiungono l'accordo per citare in giudizio il governo al fine di ottenere i sei milioni assegnati dal decreto del pro-dittatore Mordini del 19/10/1860[13].

Intanto la causa intentata dai tre Rettori languiva nei Tribunali e la vicenda si sarebbe risolta solo con la legge 13/7/1905 n. 384 che ripartiva il contributo Mordini tra le tre Università Siciliane tenendo comunque conto delle somme già stanziate negli anni precedenti e senza alcuna rivalutazione.

Nell'attesa dell'emanazione del provvedimento il Rettore invitò Facoltà e Scuole ad esporre le necessità ed ottenutele, nominò le Commissioni speciali per reperire le aree, elaborare i progetti dei nuovi edifici, riordinare la sede centrale. A Palermo furono assegnati £. 1.214.688,14 da erogare in nove rate annuali a decorrere dall'a.a. 1906-07 oltre ad un assegno perpetuo di £.40.000 disponibile dall'a.a. 1905-06.

Il 2/2/1906 fu costituito l'ufficio tecnico dell'Università[14] al quale veniva affidata la progettazione e la direzione dei lavori programmati.

I progetti dovevano basarsi sul piano di massima proposto dal Consiglio Accademico e approvato dal Ministro nel febbraio del 1906.

Furono subito approntati tre progetti[15] tra cui quello per la Scuola di applicazione per un importo dei lavori di costruzione di £ 78.374 e di £ 11.400 per l'arredamento.

Con le somme a disposizione furono costruito solo alcuni Istituti[16] sul terreno Archirafi. I lavori di tali edifici, inoltre, proseguirono lentamente a causa dell'incremento dei costi e dell'incombenza della guerra che trasformò gli edifici ancora incompleti in presidi militari che furono restituiti alla funzione universitaria solo nel 1920.

In quegli stessi anni la trasformazione della Scuola di applicazione di Torino in Politecnico (1906) indusse le autorità palermitane a fare motivata richiesta considerando il Politecnico una risorsa per lo sviluppo economico e culturale dell'intera isola[17].

In conseguenza di ciò con la legge n.571 del 20/8/1907[18] venne istituita all'interno della Scuola di applicazione una sezione industriale, mentre il progetto di politecnico veniva rimandato e con esso la realizzazione del nuovo edificio per la Scuola di applicazione.

Ma il crescente numero degli Istituti, oltre alla nuova sezione industriale, portarono alla necessità di un ampliamento dei locali della Scuola, che fu realizzato attraverso la sopraelevazione dell'edificio dell'ex monastero della Martorana[19], sede della Scuola fin dalla sua fondazione (fig. 1).

Tale realizzazione pesò gravemente sul bilancio universitario che fu ulteriormente aggravato dal venire meno dei finanziamenti statali, impegnati per il conflitto mondiale.

Ma nonostante la sopraelevazione i locali dell'ex monastero della Martorana risultavano insufficienti, anche perché in detti locali era ospitata anche la Scuola di matematica e l'Istituto di disegno.

In dette circostanze fu avviata una interessante trattativa che andava oltre il bisogno di locali. "*Precisamente in data 19/04/1917…fu inoltrata al Ministero la proposta di trasformare la Scuola stessa in Politecnico a somiglianza di quanto era già avvenuto per Milano e per Torino nei primi del secolo...nella relazione che accompagna la proposta di trasformazione si legge che era prevista la costruzione ex novo di un edificio dell'importo complessivo di £1.160.000*"[20]. Ma a causa dell'imperversare della guerra la pratica venne respinta perché "*nelle attuali condizioni di finanza non è possibile impegnare l'erario per la ingente spesa annua di £ 424.000; si potrà riprendere in considerazione la proposta a guerra finita*" [21].



Fig. 1- Ex monastero della Martorana sede della Scuola di applicazione con la sopraelevazione del 1907

Il Politecnico nel primo dopoguerra

Con la fine della guerra l'università dovette nuovamente affrontare il problema dell'assetto edilizio: la realizzazione degli edifici per la nuova sede del Policlinico, la creazione di un Politecnico ed il recupero degli edifici universitari della via Archirafi, che nel periodo bellico erano stati adoperati come Ospedale militare.

A tal fine il rettore Spallitta si adoperò molto recandosi nel febbraio del 1919 al Ministero essendo convinto che dotare Palermo di un Politecnico era da ritenere l'innovazione più significativa per mantenere ed espandere le attività produttive che lo stato di guerra aveva contribuito a sviluppare.

A tal fine il Consiglio Accademico nella seduta del 4/8/1919 scrive al Presidente del Consiglio dei Ministri, al Ministro della P.I., al Ministro dei lavori pub-

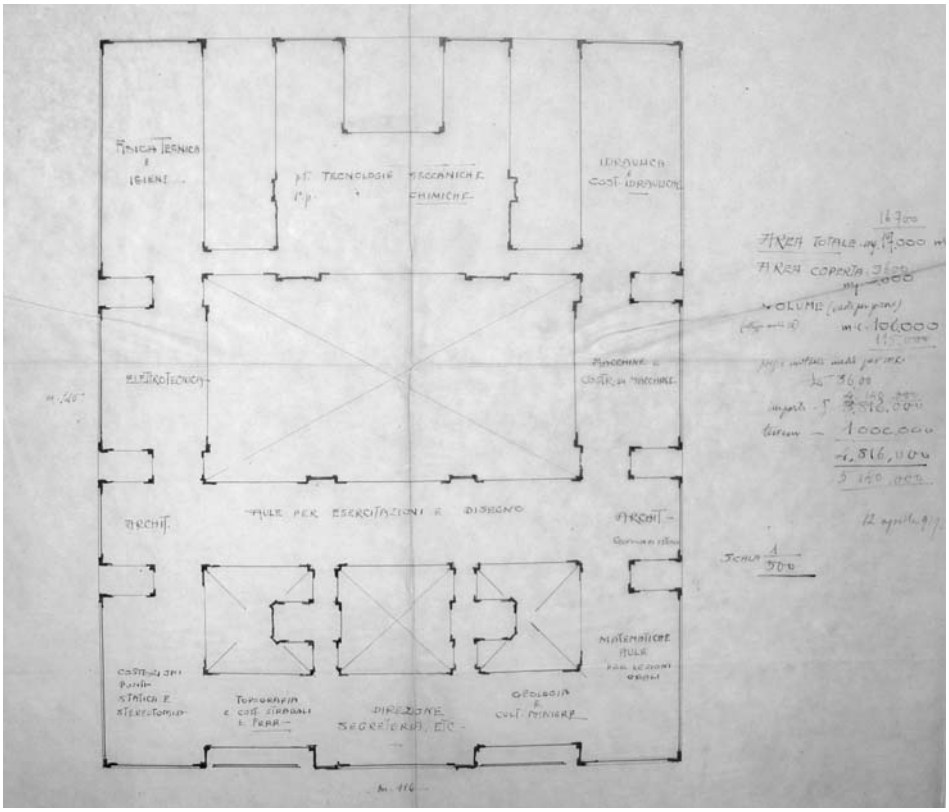


Fig. 2 – Schema planimetrico con destinazioni d'uso del Politecnico di Palermo realizzato da Ernesto Basile nel 1919

blici ed ai deputati locali sollecitando l'approvazione del progetto di legge relativo ai provvedimenti speciali in favore di Palermo che prevedeva anche "*la sistemazione edilizia universitaria e la costruzione del Politecnico secondo il piano di massima approvato dai Corpi tecnici*".

Il Ministro della Pubblica Istruzione Baccelli il 9 settembre risponde che "*ha già dato la sua piena adesione all'atto di governo che* […] *prevede anche la istituzione di un Politecnico*"[22].

Visto il consenso del Ministro il 22/12/1919 il direttore della Scuola di applicazione, Salemi Pace, trasmetteva al rettore, che a sua volta l'avrebbe trasmesso al Ministero, il "*Progetto per la trasformazione della Scuola di applicazione in Politecnico*" e la relativa lettera illustrativa, che già il 15 aprile era stata presentata alla Commissione governativa per i provvedimenti a favore di Palermo.

Nella relazione che accompagna il progetto Salemi Pace rileva "*che si rende necessaria la trasformazione della Scuola in Politecnico, dati i concetti moderni che devono informare l'ordinamento degli insegnamenti d'inge-*

gneria, e che si rende assolutamente indispensabile la costruzione del nuovo edificio scolastico, essendo impossibile, come già si è dovuto constatare, accogliere la popolazione scolastica in numero di 483 addiscenti nell'attuale locale, topograficamente disadattato e privo di ampi laboratori e sale di disegno"[23].

Il progetto del nuovo edificio redatto da Ernesto Basile, di cui è stato ritrovato uno schizzo planimetrico con le destinazioni d'uso e la relazione, (fig. 2), occupava un'area pressoché quadrata (metri 146 x 116) all'interno della quale venne studiata una struttura finalizzata a creare "…*padiglioni che costituiscano riparti indipendenti gli insegnamenti affini, collegare questi padiglioni con brevi passaggi, collocare in sito centrale le aule per le esercitazioni grafiche che servono a molteplici discipline di tutti e cinque gli anni di corso*…"[24] (fig. 3). In particolare erano previsti in prossimità dell'ingresso i locali della Direzione e della Segreteria, nei locali perimetrali tutte le aule di "Geologia e Colt. miniere", "Matematiche per lezioni orali", "Architettura economia ed estimo", "Macchine e costruzione di macchine", "Idraulica e costruzioni idrauliche", "Tecnologie meccaniche" (a piano terra) e "Tecnologie chimiche" (in corrispondenza a primo piano), "Fisica tecnica e Igiene", "Elettrotecnica", "Architettura", "Costruzioni ponti", Statica e stereotomia", "Topografia e costruzioni stradali e ferroviarie", ed infine tra gli atri trovavano sistemazione le aule per "Esercitazioni e Disegno".



Fig. 3-Relazione di progetto del Politecnico redatta da Ernesto Basile il 12 aprile del 1919

Con il sistema di atri, uno ampio al centro e tre più piccoli in prossimità dell'ingresso era possibile consentire una migliore illuminazione dei vari locali, per la maggior parte distribuiti lungo il perimetro dell'edificio.

La collocazione si ritiene debba essere nell'area Archirafi come si può dedurre da una planimetria pubblicata[25] e che riporta un edificio corrispondente allo schema del Basile e tagliato su via Lincoln a causa di una probabile indisponibilità di parte dell'area occupata da edifici esistenti.

L'edificio doveva sorgere su un'area totale di mq 16.700, occupando un'area di mq 9.600 ed un volume (vuoto per pieno) di mc 115.000 considerando

un'altezza media di m 12. Il prezzo per la costruzione del fabbricato considerando un prezzo unitario al mc di £ 36 pertanto era di £ 4.140.000. Per il terreno, invece, era prevista una spesa di £ 1.000.000.

La spesa complessiva, secondo quanto riportato nella relazione di Salemi Pace allegata al progetto, "*calcolata per tale progetto era di £ 6.687.000 per la costruzione del fabbricato, per impianti ed acquisto di materiale scientifico, per insegnamenti e relativi stipendi, per indennità di direzione di gabinetti, per personale aiutante, assistente tecnico e servente, per dotazioni annuali degli istituti, gabinetti scientifici e laboratori, per direzione e personale di segreteria, per manutenzione dell'edificio e per spese generali, devesi aumentare di altre £ 313.000, tenuto conto dei recenti aumenti di stipendi, sicchè l'intera spesa ascenderebbe a £ 7.000.000*"[26].

La creazione di un Politecnico, oltre ad avere rilevanza didattico-scientifica, coronava le aspirazioni del corpo docente più strettamente legato alla promozione industriale della città, che avrebbe influito pure sul futuro economico e culturale della Sicilia.

Ma già nel marzo del 1920 il presidente del Consiglio Nitti aveva cambiato sette ministri, tra i quali i due più importanti per l'università di Palermo. Il nuovo ministro all'Istruzione Andrea Torre ottenne dal nuovo ministro al tesoro Luigi Luzzatti uno stanziamento di £ 6.500.000 per la "*sistemazione edilizia*" dell'università di Palermo che in aggiunta al milione precedentemente assegnato portava il finanziamento ad un totale di £ 7.500.000[27], senza una chiara ripartizione alle varie Scuole ed Istituti.

Nell'agosto dello stesso anno, dopo la caduta del governo Nitti e l'avvento del nuovo con a capo Giolitti, viene specificato dal nuovo ministro della Pubblica Istruzione, Benedetto Croce, che del finanziamento totale di £ 7.500.000, £ 1.500.000[28] sarebbero state destinate alla Scuola di applicazione per l'istituzione del Politecnico[29].

Ma l'intromissione ministeriale nella ripartizione della somma non trovò l'accordo del Rettore Spallitta che il 13 settembre dello stesso anno rassegnò le dimissioni.

A seguito dell'intervento del Consiglio accademico, che appoggiava ed apprezzava il lavoro di Spallitta, il ministro Croce, il 18 novembre del 1920, nello specificare la scelta operata nella ripartizione dei fondi, respinse le dimissioni del rettore e restituì all'università l'autonomia decisionale per quanto riguarda tutto l'assetto edilizio e la ripartizione dei fondi ai vari Istituti secondo i relativi bisogni. In particolare il Ministro precisa che la ripartizione della somma era stata dovuta innanzitutto alla diminuzione della somma richiesta[30] per il programma di opere edilizie con rettorale del 28-01-1919 n. 556 pari a £ 9.750.000 (in cui era specificato che £ 2.000.000 erano per l'assetto della Scuola di applicazione) ed in proporzione ai fabbisogni che in detta rettorale erano specificati. Il Ministro fa presente, inoltre, che le somme residuali dal-

l'acquisto del fabbricato Dagnino che nel frattempo era stato proposto per l'assetto della Scuola di applicazione potranno essere destinate alla sistemazione degli altri Istituti universitari. Infatti, nel settembre del 1920 l'aspirazione della Scuola di applicazione a trasformarsi in Politecnico sembrò concretizzarsi con l'avvio della trattativa d'acquisto da parte del Direttore della Scuola, Salemi Pace, portata avanti sin dall'aprile dello stesso anno, di un edificio adibito ad uso opificio industriale[31] (costruito dai signori Luigi e Federico Dagnino come sede della omonima ditta di mobili) privato sito in via Enrico Albanese 25 per destinarlo a sede del Politecnico.

Tale edificio corrispondeva, infatti, alle esigenze immediate degli Istituti della Scuola (fig. 4) ed inoltre consentiva un notevole risparmio rispetto alla costruzione di un nuovo edificio giacché la spesa prevista per l'acquisto e la sistemazione del fabbricato era di circa £ 800.000.

L'immobile in questione era stato valutato dall'ingegnere Antonino La Manna della Scuola di applicazione[32], pari a £ 586.700 da corrispondere in "*quattro annualità di £ 135.000, a partire dall'anno finanziario 1921-1922*", con il contributo annuo di £ 150.000 che il Consiglio Accademico aveva deciso di stanziare per la realizzazione del Politecnico per una durata di dieci anni. L'assegnazione £ 150.000 dell'anno in corso sarebbe stata destinata ai lavori di ampliamento e di sistemazione dell'edificio.

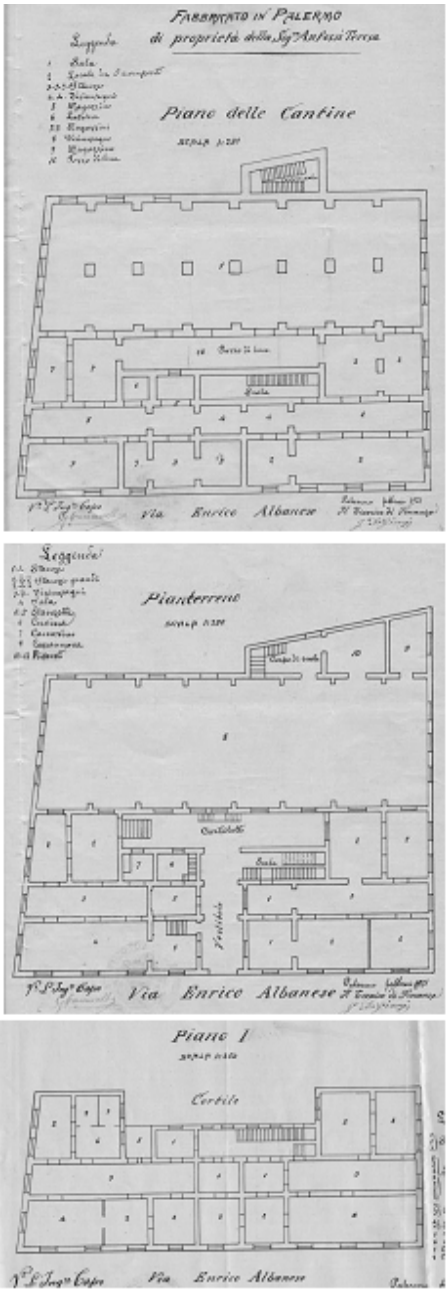


Fig. 4 - Piante del Palazzo Dagnino riportate nella relazione di stima dell'ing. La Manna



Fig. 5 - Palazzo Petix allo stato attuale trasformato in sede di un istituto bancario

L'iter burocratico del contratto d'acquisto dell'immobile si protrasse per alcuni mesi, e nonostante il Consiglio direttivo della Scuola (Giovanni Salemi Pace, Ernesto Basile e Carlo Folco) avesse già nel mese di aprile del 1921 espletato tutte le formalità (approvazione della relazione estimativa dell'Ufficio Tecnico di Finanza, come richiesto al Ministero per convalidare l'operazione), il 21 maggio 1921 l'edificio era stato venduto al signor Francesco Petyx (fig. 5)[33].



Fig. 6 - La Vigna del Gallo nel 1864

Nel 1920 il Rettore incarica il prof. Zanca[34] di studiare la possibilità di realizzare la città universitaria nel rione Vigna del Gallo (fig. 6)[35], un'ampia zona compresa tra via Archirafi, corso dei Mille e via Lincoln[36].

Nella planimetria redatta da Zanca del marzo del 1922 gli edifici vengono dislocati in tre grandi isolati "…in guisa da conseguire la economia nei servizi necessari…", uno comprendente i padiglioni delle cliniche e quattro piccoli edifici di servizio, l'altro con l'Istituto di Fisica, di Geologia e quello di Matematica e Disegno e l'ultimo isolato adiacente a via Lincoln e frontale ai tre edifici già esistenti di Chimica generale, Materia Medica e Zoologia, interamente occupato dagli edifici per la Scuola di applicazione[37].

Con tale collocazione la Scuola di applicazione per ingegneri insieme agli istituti scientifici avrebbe costituito un vero e proprio politecnico.

Notiamo dalla planimetria[38] riportata in figura alcune modifiche apportate all'edificio della Scuola di applicazione progettato da Ernesto Basile. In particolare la pianta dell'edifico del Basile viene risagomata per adattarsi probabilmente al minore terreno a disposizione, 14100 mq contro i 16700 del progetto originario, per la presenza di edifici esistenti sulla via Lincoln (fig. 7).

Con il cambio di regime politico l'aspirazione al Politecnico di Palermo venne accantonata. Con il rettore Francesco Ercole (1923-1932), il progetto della cittadella universitaria in via Archirafi venne abbandonato poiché considerato

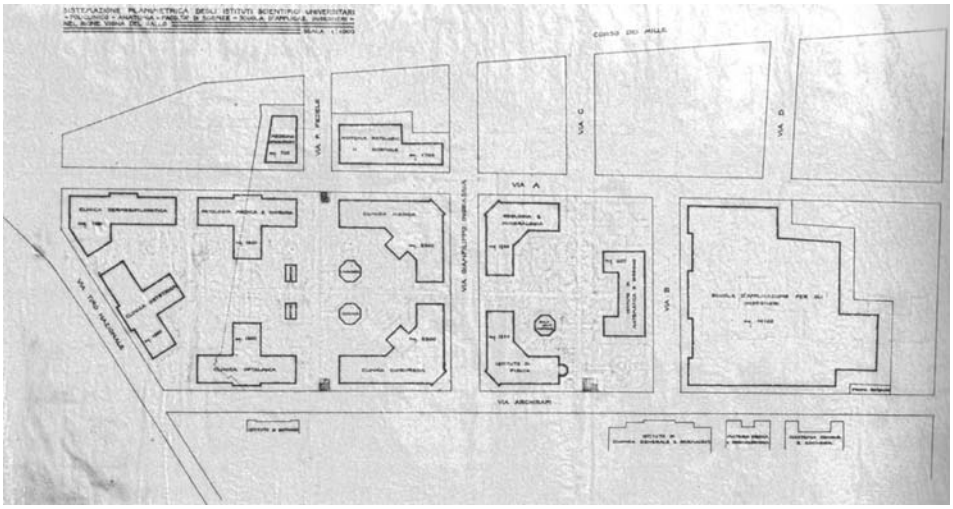


Fig. 7-Planimetria della cittadella universitaria in via Archirafi redatta da Zanca nel 1921

troppo esoso in quanto "troppo grandioso"[39] e l'attenzione venne rivolta alla costruzione del Policlinico nel rione della Feliciuzza[40].

Ultima speranza per la Scuola di applicazione di trasformarsi in Politecnico era l'autonomia ottenuta con la riforma Gentile (di cui al R.D. 2102 del 30/3/1923)[41] che aveva, infatti, fatto trasformare la scuola di Milano nel secondo Politecnico italiano. Tale speranza durerà poco poiché con la legge De Vecchi del 1935 verranno istituite nelle Università le Facoltà di Ingegneria al pari delle altre Facoltà.

Il Politecnico nel secondo dopoguerra

La seconda guerra mondiale impegnò docenti e studenti in altre attività, la città subì bombardamenti a tappeto che precedettero l'invasione dell'isola da parte degli alleati anglo-americani nel luglio del '43. Col governo alleato l'attività riprese lentamente e furono presi diversi provvedimenti anche per l'Università, tra i quali l'istituzione di una facoltà di Architettura (1944) rendendo forse più vicina una organizzazione in Politecnico che vedeva, come è avvenuto anni dopo nel terzo Politecnico italiano, quello di Bari, la coesistenza delle due Facoltà.

Nel giro di pochi anni a causa delle ampliate attività di ricerca e della crescita studentesca, si era interrotto l'equilibrio prebellico fra funzioni, spazi e attrezzature. Approfittando dell'intenzione manifestata dagli eredi degli Orlèans, di volere alienare il fondo di loro proprietà nel piano di S. Teresa, l'università il 24-07-1950 acquistò circa 40 ettari della tenuta[42] per costruivi la cittadella universitaria.

Nella realizzazione si diede precedenza alla facoltà di Ingegneria, che aveva conquistato uno spazio significativo all'interno dell'Ateneo con la sua ampia e complessa articolazione didattico-



Fig. 8-Vista degli edifici a pettine della Facoltà di Ingegneria al parco D'Orlèans

scientifica, e che, con le crescenti esigenze del rapido sviluppo della tecnica, puntava ambiziosamente all'autonomia, con la costruzione di un complesso edilizio di vaste proporzioni, capace di ospitare un Politecnico, alla cui istituzione la Facoltà aspirava da anni.

La nuova struttura concepita dai progettisti[43] si può dire che riprende l'idea del Politecnico di Basile del 1919 di vari padiglioni per singolo Istituto collegati tra loro. Tale idea fu ripresa da uno degli allievi di Basile e progettista del complesso edilizio, il prof. Salvatore Benfratello che aveva progettato gli edifici della Facoltà di Ingegneria di Pisa durante la sua permanenza in quella sede. Il progetto, infatti, era composto da un monoblocco a pettine a tre elevazioni (fig. 8), parallelo all'asse longitudinale distributore della cittadella con una sequenza di cinque denti destinati ad ospitare la maggior parte degli Istituti in cui era organizzata la facoltà, con fasce per le aule didattiche, per la ricerca e per i laboratori sperimentali; un braccio normale al monoblocco per le aule di disegno ed un corpo lineare obliquo per l'ingegneria chimica e per le applicazioni di impianti nucleari; un interposto blocco per le attività del biennio propedeutico (mai realizzato); una testata per gli uffici e la presidenza; un separato edificio per la fisica tecnica e l'elettrotecnica[44].

Nella primavera del 1962 fu avviato un ulteriore tentativo di promuovere una legge intesa ad istituire un Politecnico, costituito dalle Facoltà di Ingegneria e di Architettura, ma l'iniziativa abortì sul nascere "*forse perché fu fatta senza molta convinzione e soprattutto non ebbe l'essenziale apporto della partecipazione di tutte le energie della Facoltà, per la quale i tempi non erano ancora maturi*[45]".

Solo nel 1973 la Facoltà alla cui gestione partecipavano diverse componenti, conseguenza dei provvedimenti urgenti dell'Università, si riprese l'idea del Politecnico superando la visione ottocentesca e la situazione di Torino e Milano che erano costituite solo dalle Facoltà di Ingegneria ed Architettura.

Si propone quindi un Politecnico che aggreghi oltre ad Ingegneria ed Architettura, Agraria ed Economia al fine di contribuire al progresso delle ricerche di base e tecnologiche nel campo della produzione e dell'organizzazione del territorio in un corretto contesto economico e commerciale.

Il dibattito durò a lungo con difficoltà poiché le altre Facoltà erano diffidenti di rapportarsi con una Facoltà, quella di Ingegneria, che era maggiormente organizzata e dotata di mezzi, strutture e collegamenti con il territorio consolidati. Si pervenne quindi nel 1994 ad un documento che prevedeva un nucleo fondato sulle Facoltà di Ingegneria ed

Architettura al quale potevano aggregarsi Agraria, Economia e altri settori vicini al territorio ed all'economia.

Al fine di allargare il consenso e le adesioni al progetto si propose l'istituzione di una nuova "Università Scientifica e Politecnica". Questa nuova Università, favorita tra l'altro dall'esigenza di decongestionare i grandi Atenei doveva servire da cerniera tra l'area debole costituita dai paesi che si affacciavano nel mediterraneo e l'Europa industrializzata.

Il Politecnico del Mediterraneo

Parallelamente alle iniziative d'Ateneo viene portata avanti l'idea finanziata dall'U.E. con il piano 2000-2006 di un "*Politecnico del Mediterraneo*" la cui vicenda andrebbe al di fuori dei limiti di questo articolo.

Dopo un bando pubblico regionale di studio di fattibilità che portava alla costituzione di una nuova Università in luoghi difficilmente comprensibili e tentativi campanilistici tra le varie sedi universitarie si è arrivato, a conclusione del periodo finanziario U.E. 2000-2006 ad una soluzione che prevede un Politecnico del Mediterraneo formato dai poli scientifico-tecnologici delle quattro università siciliane (alle tre storiche Palermo, Messina e Catania si è recentemente aggiunta l'università privata di Enna).

Tali Università hanno redatto un piano nell'ambito delle somme stanziate destinate essenzialmente allo start up[46].

Si auspica che come richiesto dalla Regione Siciliana tale Progetto Politecnico possa avere nel Programma 2007-2013 la fase di effettivo sviluppo.

Guardando le realtà di Torino, Milano e Bari certamente il "Politecnico del Mediterraneo" non sembra la soluzione auspicata da più di un secolo, ma un'organizzazione più funzionale attraverso i poli tematici degli Atenei ed una struttura a rete il cui funzionamento effettivo potrà essere verificato solo successivamente.

[1] Pubblicato sul "Giornale Officiale Straordinario" del Governo della Provincia di Palermo, fascicolo VI bis dell'ottobre 1860.

[2] Giuseppe Garibaldi sbarcato in Sicilia l'11 maggio 1860 si proclamava "dittatore" in nome di Vittorio Emanuele II re d'Italia. Il 17 settembre lasciava Napoli, dove erano in corso le operazioni militari, tornava a Palermo e insediava un nuovo governo presieduto da Antonio Mordini "prodittatore".

[3] La Legge prendeva il nome dal suo estensore Gabrio Casati e riguardava tutti i livelli di istruzione ed era stata emanata per il regno piemontese. Dopo che nella Sicilia liberata fu progressivamente estesa a tutte le nuove annessioni e nei principi fondamentali rimase in vigore sino alla riforma di Giovanni Gentile del 1923.

[4] Gli insegnamenti previsti erano: 1-Meccanica applicata alle macchine ed idraulica pratica; 2-Macchine a vapore e ferrovie; 3-Costruzioni civili, idrauliche e stradali; 4-Geodesia pratica; 5-Disegno di macchine; 6-Architettura; 7-Mineralogia e Chimica docimastica; 8-Agraria ed economia rurale.

[5] G.M. Pugno, *Storia del Politecnico di Torino*, Torino 1959.

[6] AA. VV., *Il centenario del Politecnico di Milano 1863-1963*, Milano 1964.

[7] Questa distinzione ci ricorda i diplomi di laurea e le lauree triennali delle "riforme" universitarie degli ultimi anni.

[8] Nel documento noto come Relazione Susani emesso il 14/10/1860 si fa riferimento a Karlsruhe, Zurigo, Hannover, Dresda, Parigi, Freeburg, Londra.

[9] Presso tale Istituto era stato inviato per gli anni 1867-1869 Giovanni Salemi Pace, che diverrà in seguito direttore della Scuola di applicazione di Palermo.

[10] I fondi di tre milioni di lire stanziati dal Mordini per la"...fondazione e ingrandimento dei gabinetti, laboratori ed altri stabilimenti dipendenti dall'università.." richiesti ripetutamente dall'ateneo furono resi disponibili solo dal 1905.

[11] A. COTTONE, *L'insegnamento dell'Architettura nella Facoltà di Ingegneria di Palermo*, in "Contributi per una storia della Facoltà di Ingegneria di Palermo" a cura di F.P. La Mantia, Palermo 2006.

[12] Succede nel 1891 al padre Giovan Battista Filippo Basile nella cattedra di Architettura tecnica. Egli fu anche uno dei maggiori esponenti dell'architettura liberty in Italia. Tra le sue opre ricordiamo: villa Igea, il palazzo della Cassa di Risparmio per le Province Siciliane, il palazzo delle Assicurazioni Generali di Venezia, le ville Paternò, Florio, Basile, Deliella, etc.

[13] Erano stati stanziati 3 milioni per Palermo ed 1,5 milioni ciascuno per Catania e Messina.

[14] Secondo quanto stabilito nella seduta dell'1/8/1905 detto Ufficio doveva essere presieduto dal Prof. Ernesto Basile ed essere composto dagli Ingg. Armò, Capitò, La Manna, Buttaffari, tutti facenti parte della Scuola di applicazione.

[15] Gli altri progetti riguardavano l'Istituto di Fisiologia e Chimica fisiologica ed il Laboratorio di Igiene.

[16] L'Istituto di Fisiologia e quello di Patologia.

[17] A detta del rettore Riccobono "costituire un nucleo di tecnici che possano e sappiano efficientemente avviare la Sicilia alla rigenerazione economica, la quale non può che avvenire per questa via".

[18] Le scuole di Torino e Milano ebbero sin dall'inizio una sezione per la formazione di ingegneri industriali che si affiancava a quella di ingegneri civili.

[19] Il progetto di ampliamento fu redatto nel 1906 dall'ing. Antonio La Manna e fu presentato con l'intestazione "sistemazione degli attuali locali e impianto dei nuovi per la Sezione industriale".

[20] G. BENFRATELLO, *La giovane e vecchia facoltà di ingegneria di Palermo*, Conferenza tenuta in facoltà nel maggio 1974. Riproduzione a ciclostile. Cfr. riassunto nell'intervento in Palermo-Rotary", 2, 1974.

[21] Dalla lettera che il 23/07/1917 S.E. Orlando inviò al Sindaco di Palermo.

[22] Lettera del Ministro dell'Istruzione del 9-9-1919 (Prot. 20231) indirizzata al rettore Spallitta, documentazione custodita presso il Dipartimento di Medicina sperimentale DIMES. Sezione fisiologia umana (ex Istituto di fisiologia) e resa disponibile dal prof. Vittorio La Grutta, attuale Direttore (BIBLIOTECA DIMES).

[23] Relazione del 22/12/1919 (Prot. 264) inviata dal Direttore della Scuola di applicazione al Rettore unitamente al progetto redatto da Ernesto Basile per la trasformazione della Scuola in Politecnico (BIBLIOTECA DIMES).

[24] Relazione allegata al progetto redatta da Ernesto Basile il 12 aprile del 1919.

[25] P. Barbera - M. Giuffrè (a cura di), *Un archivio di architettura tra ottocento e novecento. I disegni di Antonio Zanca (1861-1958)*, Palermo 2005.

[26] Relazione del 22/12/1919 (Prot. 264) inviata dal Direttore della Scuola di applicazione al Rettore unitamente al progetto redatto da Ernesto Basile per la trasformazione della Scuola in Politecnico (Biblioteca DIMES).

[27] È stato possibile destinare alle opere progettate la somma di £ 7.500.000 di cui £ 1.000.000 prelevate dai fondi autorizzati col decreto luogotenenziale 17/11/1918 n. 1698 e £ 6.500.000 assegnati col D.L. n. 909 del 30-05-1920.

[28] Tale somma doveva servire per l'acquisto di un edificio privato in via Enrico Albanese da destinare a nuova sede della Scuola d'Applicazione, avviato dal direttore della Scuola, Giovanni Salemi Pace e autorizzata dal Ministero.

[29] L. Paoloni, *Storia politica dell'Università di Palermo dal 1860 al 1943*, Palermo, 2005.

[30] Poiché dal gennaio del 1920 era continuata l'ascesa dei prezzi per tutte le prestazioni e le forniture del mercato edilizio.

[31] L'edificio era esteso oltre 4500 metri quadri di superficie coperta, sui piani cantinato, terreno e primo ed aveva una volumetria complessiva di circa 4.000 mc.

[32] Relazione estimativa del 14/02/1921 (Biblioteca DIMES).

[33] A. M. Ruta-M. Li Castri-F. Seminerio, *Palazzo Petyx a Palermo. Da opificio del mobile a sede di Palermo di una banca siciliana*, Palermo, 2005.

[34] Allievo prediletto di Giuseppe Damiani Almeyda, dopo avere insegnato a Messina, gli succede alla cattedra di Disegno d'ornato e architettura elementare a Palermo. Il suo lavoro didattico e progettuale copre un vasto arco temporale che va dall'ultimo decennio dell'Ottocento all'immediato secondo dopoguerra.

[35] D. Enea (tesi di laurea di), *L'ex Istituto di zoologia di via Archirafi. Analisi e recupero*, (relatore Prof. A. Cottone), Palermo, 1999.

[36] A. I. Lima, *L'orto botanico di Palermo*, Palermo 1978.

[37] R. Corrao, *Architettura a Palermo tra le due guerre: idee, progetti e cultura tecnica. Tre casi a confronto*, tesi di dottorato di ricerca in ingegneria Edile:Tecniche di progettazione e produzione edilizia, IX ciclo. Coordinatore Prof. Benedetto Colajanni, Tutor Prof. Antonio Cottone.

[38] P. Barbera - M. Giuffrè (a cura di), *Un archivio di architettura, cit.*

[39] Memoriale del 1925 del rettore Ercole (Biblioteca DIMES).

[40] Avvenuta a seguito del finanziamento per opere pubbliche di £ 27.000.000 stanziato dal Governo nazionale col decreto n. 886 del 1926 e conclusasi con la realizzazione degli edifici nel 1934.

[41] Con la riforma Gentile, la R. Scuola d'Applicazione per gl'ingegneri civili ed industriali e per gli architetti, come in tutto il regno, veniva autonomamente costituita in R. Scuola d'Ingegneria.

[42] Facendo ricorso a due sovvenzioni ipotecarie con il Banco di Sicilia e con la Cassa di Risparmio per l'ammontare complessivo di 100 milioni.

[43] Salvatore Benfratello, Salvatore Caronia Roberti, Enrico Castiglia.

[44] G. BENFRATELLO, *La Facoltà di Ingegneria di Palermo*, in "La storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria a Palermo e in Italia" a cura di V. CARDONE E F.P. LA MANTIA, Salerno 2006; G. Benfratello, *Profilo storico della Facoltà di Ingegneria di Palermo*, in "Contributi per una storia della Facoltà di Ingegneria di Palermo" a cura di F.P. LA MANTIA, Palermo 2006.

[45] G. BENFRATELLO., 1974, *op. cit.*

[46] Con decreto del 27/06/2007 viene approvato il documento "Linee guida per la realizzazione del Politecnico del Mediterraneo fase di start up" e con decreto del 31/07/2007 dell'Assessore dei Beni Culturali ed Ambientali e della Pubblica Istruzione "POR Sicilia 2000/2006, misura 6.06b, Politecnico del Mediterraneo – Finanziamento progetti Università di Palermo, Kore di Enna, Messina e Catania" vengono ripartite tra le quattro università siciliane le somme destinate alla fase di start up. All'università di Palermo vengono destinati • 6.434.753,00.

MARGHERITA BONGIOVANNI

Donne e tecnologia: il caso del Politecnico di Torino tra la fine dell'Ottocento e gli anni Cinquanta

Dopo l'Unità d'Italia, una delle prerogative del nuovo Stato fu quella di apportare ai ceti popolari un livello di istruzione di base che conducesse all'alfabetizzazione, e contemporaneamente rendere la donna un soggetto attivo in grado di svolgere un ruolo importante nella trasformazione del Paese. Inserire anche la donna nel piano di sviluppo dell'istruzione nazionale non fu cosa semplice dal momento che il retaggio culturale dell'Ottocento era ancorato a false superstizioni che la imprigionavano allo spazio domestico. Lo Stato italiano si faceva promotore, tramite l'estensione della Legge Casati a tutto il territorio della Penisola, di una scuola pubblica, laica ed uguale per tutti, al di là di ogni barriera di ceto o di sesso, cercando inoltre di strappare la donna al monopolio culturale della Chiesa.

Con la creazione di scuole post-elementari, stimolate da una circolare del Ministro dell'Istruzione Pubblica del 1869, che delegava la loro attuazione a comuni e province, si mirava a colmare un grande ammanco: licenziate a nove anni dalle scuole elementari, le giovani che volevano prolungare il proprio corso di studi, dovevano compiere 15 anni per accedere all'unico sbocco superiore previsto per le fanciulle, la Scuola Normale, che diplomava le "maestrine" - diversa sorte era destinata agli uomini, che potevano frequentare corsi secondari prima di iscriversi ad un livello superiore di studi.

In questo contesto si guardava ai modelli educativi Europei che miravano ad un'educazione femminile polivalente e che avevano creato scuole che rispondevano a una precisa richiesta di educazione delle donne provenienti da ceti sociali diversi. Nel corso degli anni si arrivò alla richiesta di una formazione professionale che non fosse rivolta solo ad un'utenza maschile, ma anche a quella delle donne che proprio in quegli anni cercavano nuove possibilità di lavoro al di fuori di quelle connesse all'insegnamento, per affacciarsi al mondo impiegatizio, in uffici, negozi, piccole imprese. La manodopera femminile aveva dato un gran contributo allo sviluppo manufatturiero dell'Ottocento. Sin dalla metà del secolo le lavoranti a domicilio, le operaie in fabbrica, le commesse ed impiegate popolavano il mondo del lavoro.

L'inserimento della donna nell'industria italiana, ed in particolare in quella piemontese, presentava due aspetti fondamentali: quello quantitativo, riguardante la presenza numerica delle donne nel lavoro, e quello qualitativo, strettamente connesso con l'istruzione e con la qualificazione professionale. Per quanto riguarda il primo aspetto, le donne pie-

montesi, sino agli anni ’60 del ‘900 lavorarono in misura quasi costante. Ciò tenendo conto, naturalmente, dell’aumento della popolazione, di una certa rotazione e evoluzione e dell’immenso progresso industriale. Per quanto riguarda il livello dell’istruzione, al contrario, si rilevano o gli eccezionali e faticatissimi inserimenti di pochissime, o la marginalità se non l’emarginazione di quasi tutte. La letteratura tipica ha generalmente omesso il contributo delle donne e il rapporto tra esso e lo sviluppo e l’innovazione tecnologica.

Negli ultimi anni dell’800 e nei primi del ‘900 le donne non potendo raggiungere livelli di istruzione alti, costituivano una manodopera non qualificata, impiegata nella lavorazione di serie e nei gradi più bassi della lavorazione medesima.

Per quanto riguarda l’istruzione superiore, visto l’ambiente socio-culturale del tempo, il Piemonte, ancorato a pregiudizi sul ruolo della donna e sulla sua inferiorità intellettuale e sociale, dimostrava di avere limitazioni ancor più forti nei confronti del sesso femminile.

La cultura, per le donne è stata infatti, come afferma Graziella Pagliano, specchio di una condizione sociale femminile che specie in Italia, risultò molto in ritardo rispetto agli altri paesi europei.

Nel periodo postunitario, quando si pose il problema di dare una valida preparazione alla classe dirigente che avrebbe governato e diretto a vari livelli il paese, le donne non facevano parte se non come compagne (madri, mogli, figlie ecc.) dell’uomo. Ad esse erano “per natura” precluse tutte le professioni cosiddette “liberali”. Si pensava che la presenza della donna all’università portasse sia ad un decadimento dei costumi, sia ad un abbassamento dei livelli di studio, sia ad una invadenza occupazionale femminile post-laurea con conseguente sottrazione dei posti di lavoro agli uomini. La consapevolezza del ruolo di subalternità durata per troppi secoli, non lasciò il posto, anche per le stesse donne, al diritto di affermare la propria identità e così l’accesso al “sapere” e all’esercizio delle proprie abilità, fu spesso avvertito come una sorta di concessione.

Certe problematiche sono state sentite, analizzate ed evidenziate con un grande ritardo rispetto alla nascita, allo sviluppo e al contributo dato alla crescita socio-culturale del nostro Paese.

Il grande evento che portò le donne ad una matura consapevolezza dei propri diritti e delle proprie responsabilità nel mondo del lavoro e dell’occupazione nell’industria, fu la Prima Guerra Mondiale.

In Piemonte, che diventò forse la regione più avanzata industrialmente, le donne durante la guerra occuparono il posto che era degli uomini nelle fabbriche, negli uffici, nei servizi pubblici. Questo fu un definitivo collaudo delle capacità, e quasi tutte le donne, che in condizioni così difficili avevano retto così bene alla prova, finita la guerra continuarono a lavorare. Questo fatto contribuì ai cambiamenti nel costume, e ad una diversa e più moderna concezione dei rapporti sociali, ma i risultati tangibili

si ebbero solo molto più avanti negli anni.

Ci si chiede ora nell'educazione superiore e più in generale nell'università, quale sia stato il ruolo della donna e dove essa sia stata socialmente collocata.

Francesca Brezzi ripercorrendo le tappe della legislazione scolastica sostiene che, attraverso una sistematica discriminazione sessuale, la donna fu relegata a forme d'istruzione subalterna o peggio ancora costruite su misura per il sesso femminile, a guisa di apartheid scolastico (come l'apertura dei licei femminili). Le donne erano escluse dai concorsi per l'insegnamento secondario, permesso era l'accesso all'Università, ma precluso l'esercizio di molte professioni ritenute inidonee alle donne. Tranne poche eccezioni, le stesse donne non avanzavano alcuna protesta, né denuncia contro un sistema formativo dichiaratamente razzista e quelle poche che tentarono di ribellarsi agli spazi angusti e alle regole imposte dall'Italia del tempo, lo fecero aderendo e partecipando a fenomeni letterari come il futurismo e politici come il fascismo, in cui si illusero di trovare cifre di emancipazionismo che ben presto scomparvero nelle aperte discriminazioni della politica fascista.

La situazione universitaria torinese di fine secolo conferma quello che avvenne a livello nazionale: il periodo di grande slancio economico (1896 - 1913) vide quasi stazionario il numero degli iscritti all'università, ma determinò solo un diverso rapporto di iscritti ai vari indirizzi di studio privilegiando quelli i cui sbocchi professionali meglio inserivano nella trasformazione produttiva ed economica della nazione. La presenza femminile all'università nell'Ottocento fu resa comunque estremamente difficile dai problemi di ordine sociale ed economico già elencati precedentemente.

Malgrado questi pregiudizi, però, dai dati del "Bollettino ufficiale del Ministero della Pubblica Istruzione"[6] emerge che dal 1877 al 1900 le donne in Italia conseguirono 257 lauree. In effetti le laureate sono 224, di cui 31 ottengono la doppia laurea, e una, proprio a Torino, ottiene tre lauree: in giurisprudenza, in lettere e in filosofia.

Lauree conferite dal 1877 a tutto il '900	
Dal 1877 al 1880	N. 3
Dal 1881 al 1884	N. 8
Dal 1885 al 1888	N. 9
Dal 1889 al 1892	N. 18
Dal 1893 al 1896	N. 79
Dal 1897 al 1900	N.140
Totale	N.257

"Bollettino ufficiale del Ministero della Pubblica Istruzione", 3 aprile 1902

L'Università dove si ha la più alta presenza di laureate nel periodo a cavallo fra la fine del secolo scorso e l'inizio del nuovo è proprio quella di Torino.

Diversa è la situazione nella Scuola politecnica torinese: in essa la prima donna diplomata, Emma Strada, si laureò in ingegneria civile nel 1908. La donna si diplomò due anni dopo la fondazione del Regio Politecnico di Torino, sorto dall'unione della Scuola di Applicazione, nata nel 1860 e del Regio Museo

Industriale dipendente dal Ministero dell'Agricoltura, sorto tre anni più tardi. E' significativo che la prima donna laureata alla scuola politecnica sia presente più di quaranta anni dopo la nascita dell'Istituto.

Nei primi anni di storia della scuola politecnica, prima del '900, è riscontrabile la presenza femminile solo nei corsi della Scuola superiore di Disegno Ornamentale, in seguito chiamata d'Ornamentazione Industriale tenuti presso il Regio Museo Industriale, a partire dall'anno 1868 da prof. Pietro Giusti[7]. Dall'Annuario del Regio Museo Industriale del 1873, a proposito del corso di Pietro Giusti, è scritto: "[...] Egli dedicò l'opera sua ad insegnare il disegno artistico-industriale e la plastica applicati agli oggetti d'uso, di comodo, di lusso, quali sono i mobili, oreficerie, stoffe, ricami, e via dicendo, cose tutte che dimandano forme specialmente adatte e contemporaneamente semplici ed eleganti, ed alle quali mal si addirebbe la severità delle forme ed il gusto dell'arte classica". Il proposito del prof. Giusti è quello di trovare uno spazio nuovo nel sistema formativo dando all'insegnamento un senso "artistico", il Museo, "*deve educare al buon gusto e all'eleganza nelle espressioni e produzioni industriali, deve esprimere l'arte applicata all'industria, deve sorvegliare le arti e i mestieri*". Con questi obiettivi i corsi della Scuola Superiore venivano divisi in due o tre anni di frequenza, a seconda dei fini professionali. Il diploma del biennio dava l'abilitazione all'insegnamento del Disegno Ornamentale nelle Scuole di Arti e Mestieri, con il diploma conseguito al termine del triennio, si poteva insegnare il Disegno Ornamentale anche negli Istituti Tecnici.

Al Corso Superiore potevano accedere sia gli studenti che avessero conseguito un precedente diploma ad un Istituto professionale, all'Accademia di Belle Arti, - dove venivano in alcuni casi riconosciuti alcuni esami precedentemente sostenuti - o all'Università, sia gli studenti che decidevano di accedere solo come "uditori". Nel momento in cui lo studente decideva di sostenere un esame del corso e lo superava, poteva iscriversi regolarmente al corso, pagando le tasse, e continuare l'iter scolastico sino al conseguimento del diploma finale.

Più avanti negli anni, dopo la nascita del Regio Politecnico, gli studenti che si volevano iscrivere al Corso Superiore di Ornamentazione Industriale, "*Dovevano aver compiuto il primo biennio di studi in una Accademia di Belle Arti, o il corso completo di una Scuola inferiore di Arte applicata all'Industria, e aver superato tutti gli esami*", oppure "*dimostrare con documenti o con prove pratiche da stabilirsi caso per caso, la loro cultura artistica e la loro attitudine a seguire il corso.* Il corso, dopo la nascita del Politecnico, doveva essere frequentato per tre anni.

È interessante riscontrare la massiccia presenza femminile ai corsi della Scuola Superiore d'Ornato rispetto ai corsi tradizionali di ingegneria, già a partire dall'anno accademico 1897-98 dove su quattordici maschi, si riscontra la presenza di due donne, per arrivare, dieci

anni dopo nell'anno accademico 1907-08 (quando si laurea la prima donna ingegnere) ad una frequenza annuale di sedici donne su 29 iscritti al corso, con la peculiarità della presenza femminile superiore al 50%.

Il decennio seguente, in particolare l'anno accademico 1917-18 segna la netta predominanza femminile. Su unici iscritti al corso, dieci sono donne. Proseguendo negli anni la chiara prevalenza femminile si attesta sempre intorno all'80% per arrivare sino all'anno accademico 1922-23, ultimo anno di dati continuativi riscontrabili dai registri e dagli annuari, con la presenza femminile superiore al 70%.

I diplomati al Regio Museo, in seguito al Politecnico, venivano così a ricoprire un ruolo simile a quello di "Maestri di disegno" diplomati all'Accademia Albertina. Sicuramente la forte presenza femminile è segnale della richiesta di professionalizzazione da parte delle studentesse. L'avvicinarsi ai corsi della Scuola Superiore era permesso dal fatto che gli sbocchi lavorativi erano più velocemente raggiungibili, il più ricercato rimaneva nell'ambito dell'insegnamento - impiego permesso più diffusamente alle donne - per accedere ai corsi non erano richieste particolari competenze o diplomi specifici, e il diploma conseguito dava una competenza che stava a metà strada tra la cultura delle Accademie e l'arte del nuovo mondo industrializzato delle cognizioni tecnico-teoriche, proposto dalla Scuola di Applicazione. Le donne frequentavano più facilmente il Corso Superiore per il tipo di approccio diverso rispetto alla Scuola politecnica, sicuramente di stampo fortemente tecnico, poco adatta, con la mentalità del tempo, all'affluenza femminile. Il tipo di studi impartiti dal Politecnico dava spazio, oltre che alla preparazione tecnico - teorica, all'esperienza diretta fatta in laboratorio. Un genere di professionalità che non era concepibile personificato in una donna.

Ai corsi tradizionali del Regio Museo Industriale e della Scuola di Applicazione, infatti, negli anni in cui si laureò la prima donna, Emma Strada (1908) fino alla fine della Seconda Guerra Mondiale, la presenza femminile nella Scuola politecnica torinese fu sporadica e quasi casuale. Una donna nell'anno accademico 1910-11, una nel 1911-12, una nel 1913-14, una nel 1918-19, una nel 1921-22, quando in quell'anno si laurearono 461 uomini.

Gli anni trenta non migliorano la situazione, condizionati anche dallo stato politico-economico: i dati continuano ad essere paragonabili agli anni precedenti.. Si arriva alla fine degli anni '40, per iniziare ad intravedere una leggera variazione, proprio dopo la fine della Seconda Guerra Mondiale nell'atmosfera di generale fermento intellettuale.

Negli anni '50-'60 si ritorna ad una situazione di staticità, il numero delle laureate non aumenta, mentre continua a crescere il numero dei laureati maschi. La società del boom industriale dimostra di diventare sempre più una società maschile. Mentre a livello di altre professioni la donna riesce ad avere un grande inserimento in attività un tempo

solo appartenute agli uomini, la figura della "donna-ingegnere" continua ad essere fortemente debole.

Per quanto riguarda la figura della donna-docente al Politecnico, le prime donne alla facoltà di Ingegneria e di Architettura si mostrano negli anni '20-30 ma provengono tutte da altre Università: insegnano materie come fisica o matematica. Solo più tardi le donne ingegnere e architetto intraprenderanno la carriera universitaria.

Le prime donne assistenti nella facoltà di Ingegneria appaiono alla fine degli anni '20: l'Ing. Teresa Bertino, laureatasi nel 1914 in Ingegneria Civile, risulta essere "aiuto" nel corso di Idraulica e macchine Idrauliche; Ada Bursi, laureatasi nel 1938 in architettura diventa assistente straordinaria temporanea nel corso di composizione Architettonica nell'anno 1939-40.

Lidia Nuvoli di Grinzane, laureatasi nel '50 in ingegneria diventa assistente ad Ingegneria e dopo professore di Matematica e Fisica al liceo Scientifico Galileo Ferraris di Torino, la sorella Laura, laureatasi l'anno dopo diventa assistente alla facoltà di Ingegneria; Cesarina Ferrari, laureatasi nel 1954 in architettura l'anno dopo è assistente volontaria nel corso di disegno dal vero alla facoltà di Architettura. Nell'anno 65 - 66 Adriana Cogno laureatasi nel 1955 è professore di Scienza delle costruzioni. Daria Ferrero De Bernardi, Anna Maria Zorgno, Vera Comoli, Stefania De Stefano, Giovanna Zuccotti, Angelica Frisa Luisa Stafferi, Laura Palmucci, Paola Chierici e molte altre hanno intrapreso brillantemente la carriera universitaria.

Nel mondo imprenditoriale, Anna Enrichetta Amour, laureatasi nel 1933 in Ingegneria Elettrotecnica entra all'Enel prima nell'ufficio statistiche, poi nella segreteria tecnica ed infine si occupa di suggerimenti e proposte tecniche all'interno dell'azienda. Maria Grazia Cerri, laureata nel '56 entra all'Enel prima nell'area di direzione delle costruzioni e poi diventa responsabile del laboratorio prove. Così anche molte altre donne delle quali non si sono riusciti a trovare dati più dettagliati, hanno dato grande incremento alla cultura tecnica ed hanno ottenuto grandi risultati nel mondo imprenditoriale.

[1] Pietro Giusti nasce a Siena nel 1822 e muore a Torino nel 1878. Oltre che per il suo contributo allo sviluppo e crescita del corso di disegno d'Ornato e Ornamentazione, fu scultore del legno e intagliatore dell'avorio. Insegnò all'Accademia di Belle Arti di Siena dal 1855 al 1865, anno del trasferimento a Torino.

Francesco Viola

Camillo Guerra e i "Quaderni di Architettura e di Urbanistica": didattica e costruzione nella Napoli degli anni Trenta

Camillo Guerra, ingegnere e docente della Scuola di Ingegneria di Napoli, è stato tra i protagonisti della cultura tecnica della città nella prima metà del Novecento, pur se l'incerta e poco originale cifra stilistica delle sue opere, fra eclettismo storicistico e modernismo, ha sminuito la sua fama di architetto progettista[1]. Modesti sono apparsi, in particolare, gli esiti delle opere giovanili - come il Palazzo dell'Arte (1923), il Palazzo dei Telefoni al rione Amedeo (1920-24), il Palazzo di Città di Salerno (1928-29) - e del più tardo Palazzo dei Telefoni di Napoli (1945-46), opere nelle quali gli elementi del repertorio classico, barocco in particolare, sono presenti con un'eccessiva ridondanza. Maggiormente interessanti sono stati giudicati i progetti elaborati nel corso degli anni '30, più vicini ad una sensibilità moderna, come la nuova Stazione Marittima (1933) e la sistemazione del Monte Echia a Napoli (1932-33), esplicitamente ispirati alle architetture di Erich Mendelsohn, la casa del Mutilato in via Diaz (1938-40) e la sede dell'Istituto Nazionale dei Motori a Fuorigrotta (1939). In questi ultimi edifici, unanimemente riconosciuti come gli esiti più convincenti ed originali della sua produzione, è evidente il tentativo di superare gli stilemi dell'architettura classica, trasfigurandoli con un linguaggio asciutto ed astratto, in una composizione tutta giocata sugli effetti generati dall'alternanza di vuoti e pieni, sulla contrapposizione di volumi di differente peso percettivo, sull' accostamento di materiali lapidei di differente consistenza.

Gli anni '30 rappresentano, peraltro, la stagione più feconda dell'attività di Camillo Guerra, nella quale egli non ha solo maturato con maggiore convinzione una propria identità professionale, ma ha anche contributo in misura significativa al rinnovamento dell'architettura e della città, in una fase di grande fervore urbanistico grazie all'impulso impresso dall'Alto Commissariato per la Città e la Provincia di Napoli. Il Commissariato, istituito nel 1925 ed attivo sino al 1936, affiancò le amministrazioni locali proponendosi come l'organo di gestione diretta del regime fascista, con ampi poteri operativi e discrezionali nel settore delle opere pubbliche. Dando attuazione alle indicazioni del Regime, ben espresse nel noto discorso di Mussolini al Campidoglio del 31 dicembre 1925, si fece promotore di un ambizioso programma di sviluppo della città agendo su due settori: le abitazioni e le comunicazioni. Nel primo caso si diede impulso alla costruzione di nuovi quartieri nell'immediata periferia ed al completamento delle lottizzazioni iniziate nel secolo precedente e non ancora com-

pletate. In questo ambito rientrano il piano di bonifica del Rione Carità, l'ultimazione del quartiere Vomero, all'interno del triangolo piazza Vanvitelli - piazza Medaglie d'Oro - stadio Collana, le lottizzazioni del nuovo rione Sannazzaro - Posillipo, il completamento del rione S. Pasquale a Chiaia, la costruzione del nuovo quartiere di Fuorigrotta. Il potenziamento della rete di trasporto urbano si attuò con la costruzione di nuove linee su ferro (la Funicolare Centrale, 1928, e la Funicolare di Mergellina, 1931, la linea Direttissima e la Metropolitana, 1925-27), l'apertura di due nuovi trafori stradali (la Galleria Laziale, 1925, e la Galleria della Vittoria, 1926-28) e l'inaugurazione dell'Autostrada Napoli-Pompei (1927-28), la prima arteria a scorrimento veloce realizzata in Italia.

Camillo Guerra partecipò attivamente a questa fortunata stagione, assumendo più ruoli di responsabilità: come ingegnere-architetto, progettò e realizzò alcuni tra i più importanti edifici pubblici e partecipò con riconoscimenti ai concorsi d'idee banditi dal Regime; come urbanista avanzò diverse ipotesi di riassetto della rete di trasporto e collaborò alla stesura del nuovo Piano Regolatore; come docente della facoltà di Ingegneria, fu per molti anni titolare dei corsi di Architettura Tecnica e di Composizione Architettonica; come autore, infine, pubblicò numerosi scritti, tra i quali gli "Opuscoli di Architettura Tecnica" (1910-1933)[2] ed i "Quaderni di Architettura e di Urbanistica Napoletana" (1932-35 e 1944)[3], gli unici periodici tecnici stampati a Napoli negli anni precedenti l'ultimo conflitto mondiale. Grazie a queste pubblicazioni Guerra riuscì a dare visibilità alla propria ricerca progettuale, sollecitando il confronto su alcuni fra i temi di più stretta attualità.

Gli "Opuscoli" ed i "Quaderni", pur condividendo fra loro talvolta i contenuti, conservarono nel tempo una differente identità editoriale: nei Quaderni erano privilegiati i temi di più ampio respiro, con particolare attenzione alla scala urbana, mentre negli Opuscoli erano trattati gli argomenti legati alla costruzione dell'architettura, con riferimento a due campi applicativi: le strutture in cemento armato e le opere provvisionali in legno. Nella Napoli degli anni Venti e Trenta l'uso del cemento armato era ancora limitato agli edifici di maggiore importanza, ma già appariva allora evidente come la nuova tecnica avrebbe introdotto delle differenziazioni sempre più marcate tra le competenze professionali degli ingegneri e degli architetti. Entrambi erano stati sinora in grado di definire gli aspetti costruttivi degli edifici, di dimensionarne le strutture, sviluppando talvolta dei semplici calcoli statici, più spesso tenendo conto delle consuetudini e delle soluzioni sperimentate nel tempo. La progettazione dei telai in acciaio e cemento richiedeva però ora competenze più sofisticate che solo gli ingegneri avrebbero avuto l'opportunità di acquisire nel corso degli studi universitari.

La nuova tecnologia avrebbe inoltre introdotto novità nel campo delle costru-

zioni anche sotto il profilo formale, ma di questo Guerra non si rese immediatamente conto, interessato piuttosto ad un uso del cemento armato che consentisse di riproporre, in dimensioni maggiori e con costi più contenuti, gli archetipi dell'architettura del passato. Così fece, ad esempio, con la grande volta a botte progettata per la Sala Ricciardi del Museo di S. Martino, con la volta cassettonata del Cinema-Teatro del Palazzo di Città a Salerno o con le capriate in calcestruzzo del tetto nella Centrale dei Telefoni a piazza Nolana che imitavano le forme delle antiche strutture in legno. Nelle architetture di Guerra, peraltro, gli elementi in cemento non appaiono a vista, ma risultano sempre nascosti da uno spesso strato di intonaco, da controsoffittature in gesso o da lastre di pietra. Solo l'orditura delle travi emergenti ed incrociate dei solai suggerisce talvolta l'esplorazione di nuove soluzioni formali, come accade ad esempio nel progetto dei nuovi "saloni delle Barche" del Museo di S. Martino o nel salone degli auto-commutatori nella Centrale dei Telefoni a piazza Nolana nei quali la struttura in calcestruzzo dei soffitti crea l'occasione per dare vita ad un articolato disegno a cassettoni.

La stampa degli Opuscoli e dei Quaderni coincise anche con alcuni importanti progressi nella carriera accademica di Guerra. Sin dal 1920 egli collaborava con il professore Carlo Laneri in qualità di "assistente incaricato" ai Corsi di Architettura Tecnica e di Composizione tArchitettonica nella facoltà di Ingegneria di Napoli e nel 1925 aveva ottenuto la libera docenza in Architettura Tecnica. Nel corso degli anni '30 concorse come professore straordinario, prima nella Facoltà di Ingegneria di Pisa (1935) e Torino (1936)[4], poi a Bologna (1938) dove ottenne finalmente l'idoneità[5].

Come testimoniano gli scritti comparsi sulle due riviste[6] e, ancor più, il volume su le "Esercitazioni e composizioni di Architettura eseguite dagli allievi dei tre corsi di Ingegneria Civile" (1935), Guerra, richiamandosi alla tradizione dell'antica scuola di Ponti e Strade, difendeva con vigore la specificità dell'insegnamento dell'architettura nelle facoltà d'Ingegneria e la necessità di privilegiare nella formazione degli allievi più l'acquisizione dei principi dell'economia, della sobrietà espressiva e della correttezza tecnica che non la ricerca a tutti i costi dell'eccellenza formale. Solo una rinnovata "architettura burocratica" avrebbe potuto garantire a suo giudizio, come già avvenuto in passato, una qualità diffusa nella costruzione dell'ambiente urbano[7]. E seguendo tali principi, rinnovò radicalmente l'organizzazione degli studi di architettura, privilegiando il lavoro degli studenti in aula, nella convinzione che "in Architettura solo quello che si fa e si produce in iscuola sotto la guida del maestro riesce proficuo per ogni allievo e ben fatto e rappresenta la sua produzione genuina". Inoltre, suddivise "il complesso delle esercitazioni grafiche […] in due parti distinte, concentrando nel primo anno la conoscenza storica e costruttiva

delle architetture del passato...[nella convinzione] che non si può comporre bene il presente ignorando del tutto il passato…Agli allievi del secondo e terzo anno, dopo un breve corso riassuntivo sugli elementi strutturali [proponeva] tutta la parte che riguarda le opere di completamento degli edifici ed il carattere che gli edifici stessi debbono avere per rispondere allo scopo a cui sono destinati ed all'ambiente; e ad essi [faceva] iniziare le esercitazioni di composizione architettonica con il progetto di piccoli edifici di abitazione o di uso pubblico… A completamento del concetto inventivo [richiedeva] agli allievi lo sviluppo dei particolari costruttivi del progetto da essi ideato e ciò perché incominciassero ad allenarsi nel disegnare un edificio a fare sempre opera completa di Ingegnere ideatore e non di semplice disegnatore"[8].



Fig. 1 – C. Guerra, Progetto della Casa del Mutilato a Napoli (1938-40). Prospettiva

[1] Per un approfondimento sull'opera di Camillo Guerra si rimanda ai seguenti testi:
A. BACULO, *Camillo Guerra 1889-1960. Fra tradizione e dinamica funzionale*, in "ArQ", giugno 1990, n. 3, pp. 118-119;
G. COPPOLA, *Otto opere di Camillo Guerra*, ivi, pp. 120-123;
G. GUERRA, R. IOVINO, *Camillo Guerra ingegnere a Napoli. Tra costruzione e progetto quattro architetture fra le due guerre*, Napoli, 1993;
F. FASCIA, *Il catalogo informatico delle architetture di Camillo Guerra*, Napoli, Luciano, 1996;
O. GHIRINGHELLI, *Camillo Guerra 1889-1960. Tra neoeclettismo e modernismo*, Napoli, Electa, 2004.



Fig. 2 – C. Guerra, Progetto del Palazzo dei Telefoni in via Depretis a Napoli (1949). Prospettiva

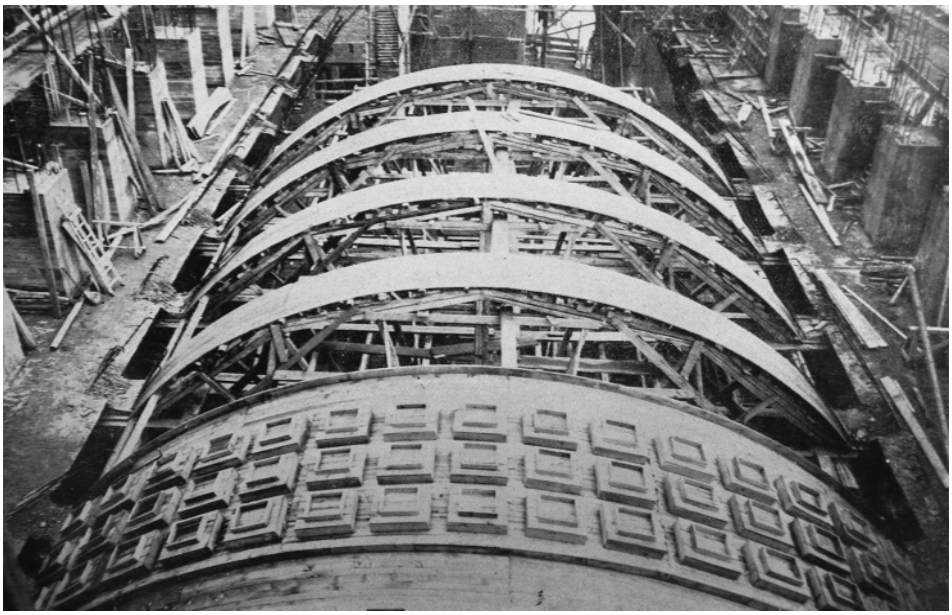


Fig. 3 – Salerno, Palazzo di Città, vista delle centine della volta con i cassettonati del Cinema-Teatro, da "Opuscoli di Architettura Tecnica", 1929-32

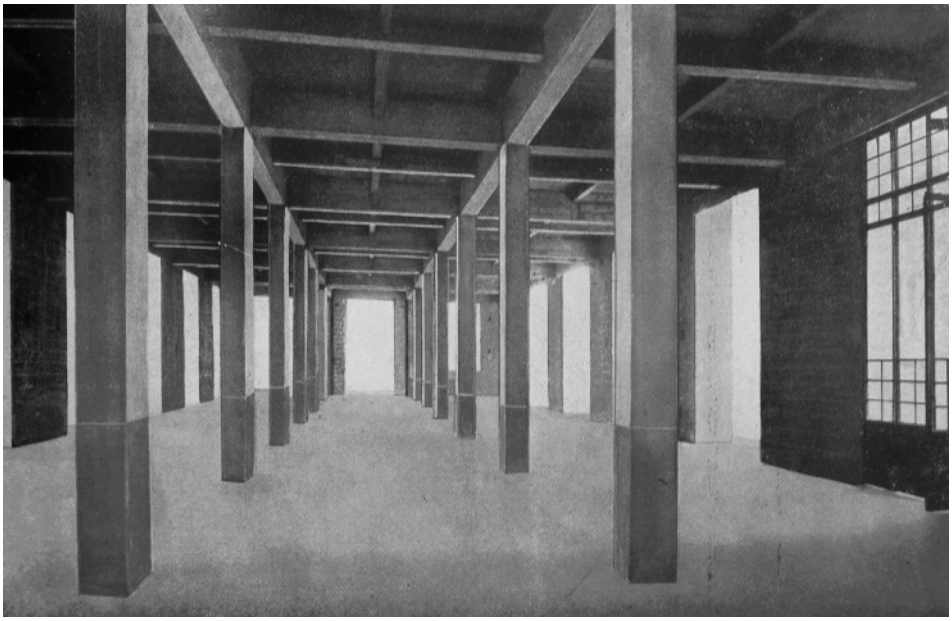


Fig. 4 – Napoli, Palazzo dei Telefoni in Piazza Nolana, il grande salone degli autocommutatori con il solaio a lacunari quadrati e travi incrociate, da "Opuscoli di Architettura Tecnica", 1920-24



Fig. 5 – Napoli, Palazzo dei Telefoni in Piazza Nolana, il tetto con le capriate in cemento armato, da "Opuscoli di Architettura Tecnica", 1920-24

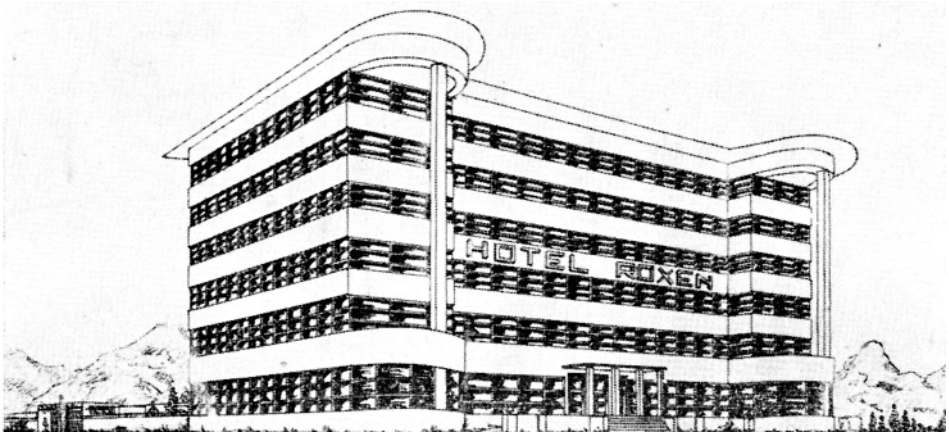


Fig. 6 – Albergo di montagna. Progetto dell'allievo Benedetto Versace (1934-35)

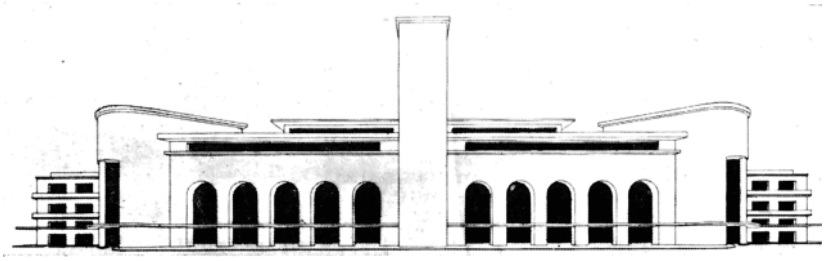


Fig. 7 – Stazione ferroviaria. Progetto dell'allievo Mario Borgia (1934-35)

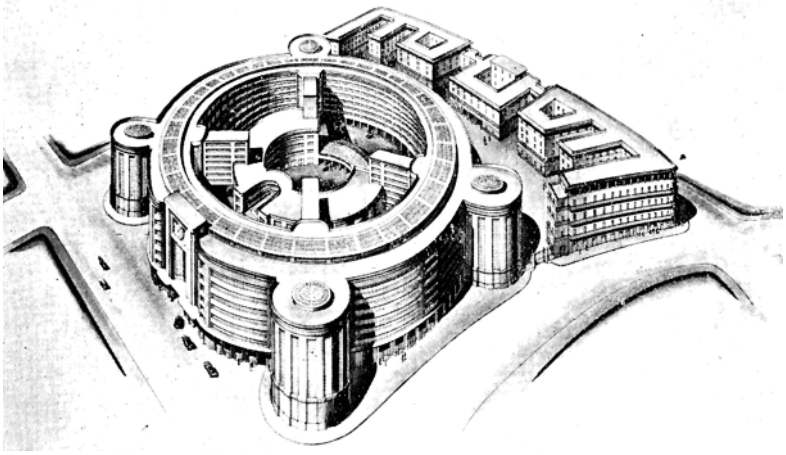


Fig. 8 – Progetto di una Grande Autorimessa e di alloggi all'inizio delle Autostrade del Mezzogiorno. Allievo Mario Borgia (1934-35)

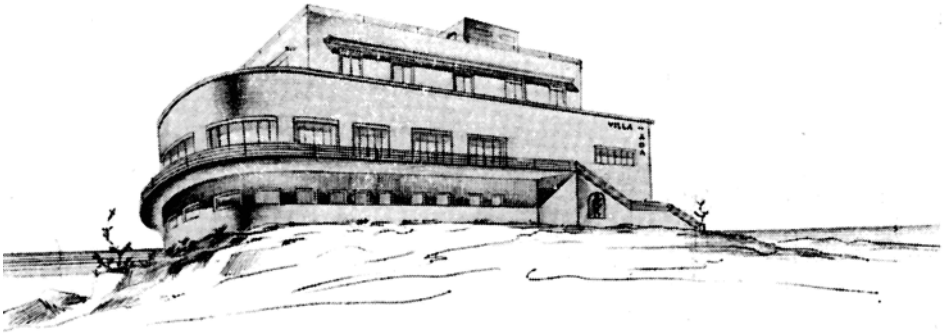


Fig. 9 – Progetto di villino in collina. Allievo Ugo Carotenuto (1934-35)

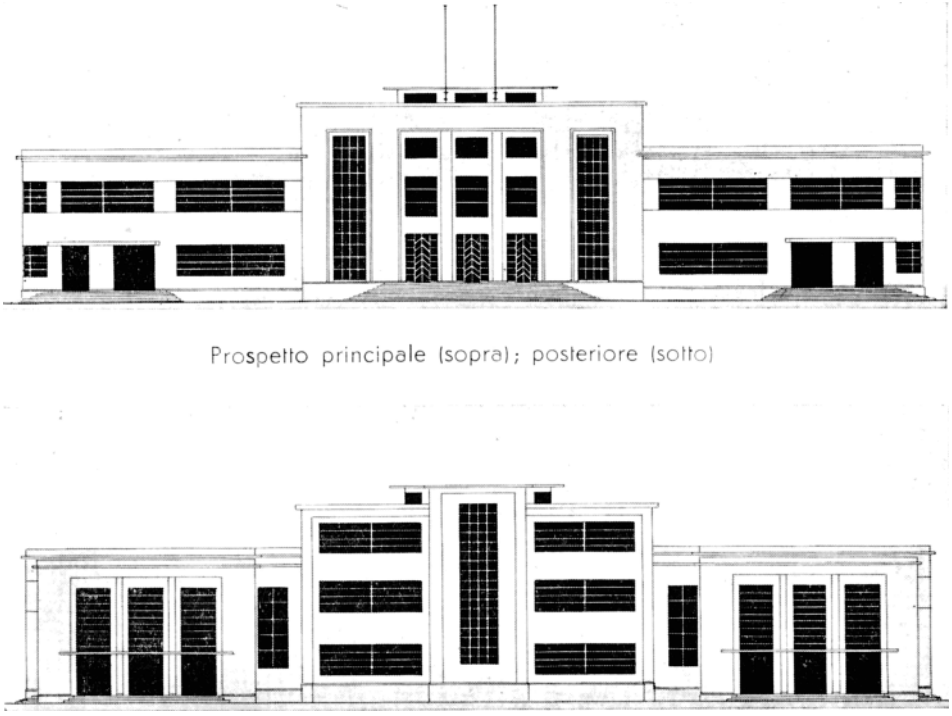


Fig. 10 – Progetto del Palazzo dell'Assistenza Fascista per la città di Salerno. Allievo A. Fiorentino (1934-35)

[2] La serie degli "Opuscoli di Architettura Tecnica" comprende:
- *La cupola di S. Maria la Bruna in Torre del greco ed il castelletto girante per dipingerla*, 1910;
- *Progetto di teatro con club e calcoli della cupola in ferro. tesi per la laurea di ingegnere civile*, 1912;
- *Le strutture in legno del padiglione della Campania in Roma e del teatro del festival di Caserta*, 1921-1923;
- *Le fondazioni a palificata per la grande tomba a sifone sui Regi Lagni*, 1913;
- *Passeggiatoi a sbalzo in cemento armato per il ponte di Amorosi sul Volturno (Via provinciale Caserta–Benevento)*, 1913;
- *Il ponte in cemento armato sul Diversivo Vicano*, 1914;
- *Le sottofondazioni in cemento armato dell'edificio del Museo Artistico Industriale di Napoli*, 1917;
- *Rafforzamento e restauro del cornicione dell'edificio – sede della R. Accademia di Belle Arti di Napoli*, 1919;
- *Le strutture in cemento armato delle sale del Museo di S. Martino*, 1920;
- *Il grande muro di sostegno per la sistemazione esterna del Mausoleo di Posillipo (estratto dal I° Quaderno di Architettura e di Urbanistica Napoletana)*, 1923;
- *La copertura in cemento armato del Mausoleo di Posillipo (estratto dal I° Quaderno di Architettura e di Urbanistica Napoletana)*, 1923;
- *Le strutture in pietra da taglio ed in cemento armato dei palazzi dei telefoni in Napoli Posillipo (estratto dal V° Quaderno di Architettura e di Urbanistica Napoletana)*, 1920-1924;
- *Le strutture in cemento armato dell'Istituto Botanico in Napoli*, 1923;
- *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina in Napoli*, 1924;
- *Lo stadio di Napoli alla Litoranea*, 1927, Ing. Amedeo d'Albora, Ing. Camillo Guerra;
- *Polemiche per la specializzazione degli ingegneri in architettura*, 1923-1928;
- *Le strutture in cemento armato del Palazzo di Città di Salerno*, 1929-1932;
- *Le strutture in cemento armato del Campo Sportivo di Salerno*, 1933;
- *Le strutture in cemento armato per la sede della O.N.D. in Chieti (estratto dal XIV° Quaderno di Architettura e di Urbanistica Napoletana)*, 1933;
- *Le strutture in cemento armato della Stazione Marittima per passeggeri nel porto di Napoli*, 1933.

[3] I "Quaderni di Architettura e di Urbanistica Napoletana raccolti dall'ing. Camillo Guerra" comprendono nella prima serie, dal 1932 al 1935:
- *Il Mausoleo di Posillipo*, I, 1932;
- *Il Mausoleo di Posillipo. iniziative, consensi e polemiche per la sua destinazione a monumento e tomba dei napoletani caduti in guerra*, II, 1932;
- *Il trasporto delle biblioteche nella Reggia di Napoli*, III, 1933;
- *Il Piano regolatore integrale di Napoli. Studio delle comunicazioni nord – sud e della sistemazione di Monte Echia*, X, 1933;
- *Le comunicazioni viarie e tranviarie del maggior centro urbano di Napoli. Progetti per il concorso del 1924 e studi successivi dell'Ing. Camillo Guerra*, XI, 1933;
- *Il nuovo grande Ospedale di Napoli. Progetto degli Ingegneri Girolamo Ippolito e Camillo Guerra*, XII, 1933;
- *La nuova Stazione Marittima per passeggeri nel Porto di Napoli. Progetto degli Ingegneri Guglielmo Melisurgo e Camillo Guerra*, XIII, 1933;
- *Il Palazzo Littorio in Via dell'Impero. La Torre Littoria su Castel Sant'Elmo. I Progetto Ingg. D'Albora–Granturco–Guerra. II Progetto Ingg. Ferretti – Granturco – Guerra*, XX, 1935.

La II serie comprende un solo fascicolo:
- *La Città Universitaria di Napoli. Studio dell'Ing. Prof. Camillo Guerra*, I, 1944.

[4] Nel concorso per professore straordinario alla cattedra di Composizione Architettonica a Torino nel 1936 la Commissione, di cui faceva parte il "napoletano" Alberto Calza Bini, non riconobbe l'idoneità a Camillo Guerra e decretò vincitori Giovanni Muzio, Piero Portaluppi e Marcello Canino.
Per un singolare scherzo del destino, quindici anni dopo, gli stessi Guerra, Muzio, Portaluppi e Canino si ritrovarono, questa volta nella veste di commissari, nel concorso per professore straordinario di Architettura e Composizione Architettonica a Napoli, al quale partecipava Luigi Cosenza; ancora una volta prevalsero i docenti della "scuola romana" che riuscirono ad imporre come vincitori Adalberto Libera, Carlo Mollino e Mario De Renzi, già collaboratore dello studio di Calza Bini, nonostante che Camillo Guerra, favorevole a Cosenza, si fosse strenuamente opposto a questa soluzione, presentando una relazione di minoranza. Cfr."Bollettino Ufficiale del Ministero della Pubblica Istruzione", n. 16 del 22 aprile 1954.

[5] Due anni dopo egli risulterà vincitore nel concorso a cattedra bandito dall'Università di Cagliari per l'insegnamento di Architettura Tecnica ed sarà incaricato come Professore Straordinario presso la facoltà di Ingegneria di Napoli. Dal 1946 e sino al 1959, anno del collocamento fuori ruolo, Guerra sarà professore ordinario di Architettura Tecnica e direttore dell'omonimo Istituto.

[6] Cfr. C. GUERRA, *Polemiche per la specializzazione degli ingegneri in architettura*, 1923-1928, in "Opuscoli di Architettura Tecnica", cit.

[7] "Architettura burocratica è quella del palazzo delle Finanze, della Dogana a mare, dell'Osservatorio di Capodimonte, di quello del Vesuvio, dei fabbricati delle Dogane del quartiere della Maddalena, del muro Finanziero ecc. ma quanta nobile austerità, quanta disciplinata e chiara armonia in quelle semplici linee. Gli architetti si armonizzavano ai temi; edifici pubblici semplici e dignitosi, che dicevano tutto lo sforzo dei governi ordinatori a dotare il paese di opere degne…E questo è quello che deve conservare l'architettura della burocrazia – che certo non può avere impronta di genio – come l'architettura di stato del '700 e dell' '800 non ebbe la doviziosa genialità delle opere di Luigi Vanvitelli o di Antonio Niccolini. L'Architettura burocratica a Napoli attualmente non solo non si pone tali limiti ma dà saggio della maggiore difformità e quel che è peggio della maggiore incomprensione della propria opera educativa e di indirizzo…E le opere create sono e resteranno quelle che sono, senza che abbiano neanche la dignità di una impronta speciale…Correggere il mal fatto subito è impossibile; ne è possibile sostituire in tante opere statali, l'opera dei singoli artefici che non corrisponde alla necessità di una veduta d'insieme.
Una architettura burocratica può esservi, e nel passato, proprio qui a Napoli si è dimostrato che ad essa può darsi dignità, armonia, compostezza. Per raggiungere un tale intento occorre che vi sia un indirizzo preciso di Scuola, che i singoli tecnici abbiano una preparazione culturale e di ambiente sufficiente a produrre opere consone e rispondenti ai canoni indispensabili che l'architettura, anche burocratica e forse perché tale, deve avere.
Ripristinare degnamente l'insegnamento dell'architettura è necessario perché tutti sentano la necessità di compiere severamente questi studi, e per formare in quelli che possono essere chiamati a compiere opera di architetti una coscienza architettonica, che è conoscenza di ambiente ed educazione all'armonia…", C. GUERRA, *L'architettura burocratica a Napoli. Non pubblicato dal Mattino del 26 ottobre 1928 – VI*, in *Polemiche per la specializzazione degli ingegneri in architettura*, "Opuscoli di Architettura Tecnica", 1923-1928, pp. 11-14.

[8] Idem.

GABRIELLA MUSTO

Da "Casabella" a "Costruzioni-Casabella": la rivista di Giuseppe Pagano e il trait d'union *con la cultura dell'ingegneria*

Unica rivista capace di "condurre un'opera di sprovincializzazione"[1] dell'Italia post-umbertina e fascista è stata senza dubbio "Casabella".

Fucina di cultura e informazione con un carattere decisamente tecnico ed un taglio specializzato sull'architettura, la testata milanese ha vissuto negli anni alterne vicende raggiungendo l'apice del successo ed il momento più alto e produttivo sotto la direzione dell'architetto Giuseppe Pagano coadiuvato dal critico napoletano Edoardo Persico, negli anni Trenta del Novecento.

Il modo rivoluzionario con il quale, insieme e soprattutto grazie a Persico, Pagano decide di trasformare la rivista, conferendo ad essa la veste che conserverà per anni anche sotto le successive direzioni, è stato indubbiamente interessante[2].

Il nuovo modo di utilizzare il mezzo giornalistico infatti, tra il 1933 e il 1944, ha rappresentato un modello per certi versi insuperato[3].

É stato grazie a questa 'illuminata' direzione se "Casabella" è diventata in pochi anni il punto di riferimento italiano del *gotha* culturale internazionale. Grazie al direttore e al redattore capo, la rivista assume il ruolo di organo attraverso il quale vengono filtrate le esperienze più interessanti del dibattito europeo e, nel contempo, gli architetti italiani vengono proiettati in quest'ultimo[4]; una rivoluzione notevole quindi, in un'Italia ancora molto chiusa in un provincialismo di maniera supportato e ulteriormente indotto dall'incipiente cultura fascista[5].

Tale si dimostra la forza della rivista, che la Veronesi a distanza di qualche anno avrebbe scritto, riferendosi ai redattori, ai critici, ai tipografi che vi avevano lavorato durante la direzione di Pagano e Persico e che erano morti durante gli anni della dittatura fascista: "La rivista è finita con loro, con gli amici perduti. Fu essa il loro campo d'azione"[6]. La storica e critica dell'architettura in questo modo sottolineava il peri-

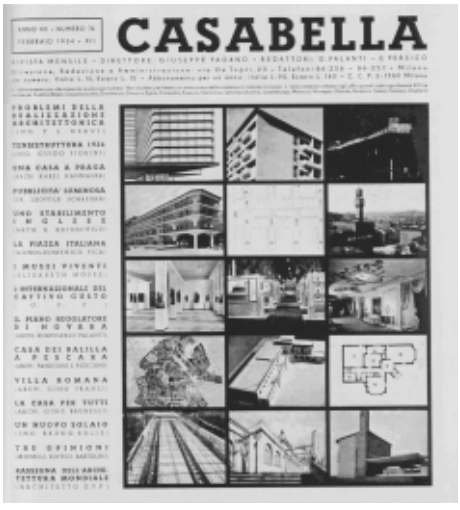


Fig. 1 – La nuova veste tipografica di "Casabella" disegnata da Persico

odo di trincea nel quale la redazione di "Casabella" aveva lavorato e profuso tutte le sue più fervide energie, conducendo seppure fuori dai campi di battaglia una guerra senza esclusione di colpi in favore della vera architettura, attraverso le colonne del giornale grazie soprattutto ad uno straordinario gruppo di lavoro.

Tra Pagano e Persico ci sarà sempre profonda intesa rispetto all'indirizzo da dare alla rivista[7], seppure l'apertura del critico napoletano nei confronti dell'avventura europea si sia dimostrata più libera e lontana da forme di prevenzione rispetto alla posizione di Pagano, vincolato da un rigore razionalista e funzionalista che in qualche modo gli farà assumere un atteggiamento più conflittuale, ma nello stesso tempo un interesse costante, nei confronti delle esperienze d'oltralpe[8]. Resta comunque il fatto che Pagano, dopo la morte del suo miglior redattore continuerà la politica d'apertura di "Casabella" verso l'Europa, anche grazie al supporto di una collaboratrice d'eccezione come Anna Maria Mazzucchelli[9].



Fig. 2 – Giuseppe Pagano durante l'impresa fiumana. 1919

Pagano, architetto di origini istriane, dalla figura complessa e affascinate, ha indirizzato concretamente la linea della testata e in lui si riconosce il responsabile effettivo delle scelte più ardite e 'avanguardiste' compiute in quegli anni, come pure a lui si deve il taglio eminentemente tecnico che assume "Casa-bella" nel decennio della sua direzione.

Giuseppe Giovanni Pogatschnig nasce a Parenzo, in Istria, e italianizzerà il cognome in Pagano in seguito alla partecipazione all'impresa fiumana. Proprio dopo questa fondamentale esperienza, che segnerà profondamente il suo spirito al punto tale da non abbandonare mai più la causa sociale e l'impegno per la nuova patria, il giovane Giuseppe, stabilitosi definitivamente in Italia intraprende gli studi universitari, iscrivendosi alla facoltà di architettura-ingegneria civile al Politecnico di Torino e laureandosi con un anno di anticipo rispetto ai tempi, nel 1924[10].

Proprio la formazione tecnico-scientifica impartita al Politecnico, forgerà l'anima professionale del giovane che rimarrà per sempre ancorato ad una certa idea di architettura che potremmo definire ingegneristica.

Senza dubbio a questo può ascriversi la caratterizzazione funzionalista del suo impegno progettuale, sempre marcatamente segnato da un approccio concretamente tecnico, quasi materico, e di certo tecnologico al progetto che in maniera non azzardata possiamo definire razionalista[11].

Questo stesso taglio spregiudicatamente ingegneristico caratterizzerà pure la redazione del giornale milanese che, proprio grazie a Pagano, diventa un vero e proprio esperimento rivoluzionario nonché un eccellente canale di comunicazione collettiva, un modo nuovo di discutere d'architettura, una finestra sul mondo e sulle esperienze e le tecnologie più all'avanguardia, laddove per avanguardia si intendono le manifestazioni più innovative della ricerca contemporanea e della cultura tra le due guerre.

Se si considera il lavoro di erudizione, indirizzato principalmente ad una 'classe' di professionisti, svolto negli anni di attività critica attraverso le pagine di "Casabella", è possibile riconoscere nella testata, la vera *cattedra* dalla quale l'istriano insegnerà per anni. Scrive Enea Manfredini: "Lo ricordo amico dei giovani, io ero allora giovane; li scovava ancora nelle scuole e con grande generosità li valorizzava. Basta sfogliare le Casabella di quegli anni per constatarlo[12]. Animatore: un contatto personale con Pagano o un contatto episto-lare significava un programma di lavoro"[13].

Le giovani leve dell'architettura, filtrando l'esempio suggerito dalla rivista di Persico e Pagano, assorbono indubbiamente un nuovo modo di guardare la città e registrarne la realtà, ma soprattutto una maniera inedita di partecipare vivamente al dibattito architettonico europeo, nonché una rinnovata ispirazione progettuale. L'apertura di Pagano verso nuovi metodi d'analisi, tra cui indubbiamente anche l'approccio scientifico proprio della cultura dell'ingegneria, rappresentano un nuovo *input* per questi giovani architetti.

In questo senso risulta tanto più interessante osservare gli sviluppi di una rivista come "Casabella", che indubbiamente riflette l'evoluzione del fare architettura in quegli anni, rappresentando un nodo fondamentale da sciogliere anche per gli studi relativi alla Storia dell'Ingegneria.

Come già sottolineato, l'approccio progettuale prima ancora che critico di Pagano risulta marcatamente caratterizzato da un'impronta pragmatica. È possibile osservarlo nei suoi progetti, così come nelle interessanti fotografie di cui si dimostra un convincente autore alla stregua dei professionisti più noti. In queste ultime infatti, a dispetto di una snobistica indifferenza palesata nei confronti delle opere coeve, Pagano dimostra di appassionarsi oltremodo alle tecniche, ai materiali, alle tipologie e metodi della costruzione moderna[14].

Delucidante, a questo proposito, l'articolo uscito sulla sua rivista, intitolato *L'Autarchia e l'Architettura del ferro*; in questo pezzo, l'autore spiega attraverso un'analisi sagace, i motivi che spingevano gli architetti moderni a fare a meno dell'utilizzo del ferro nelle proprie opere; motivi militari, perché lo sta-

to non voleva che l'uso del prezioso materiale fosse abusato nelle costruzioni edilizie, e motivi dovuti ad una cultura accademica gretta che poco apprezzava l'uso del ferro a vista in architettura. Pagano decide di sottolineare così la sua adesione ad una opposta posizione firmando il vibrante articolo com-





Figg. 3 e 4 – Fotografie di Pagano appartenenti al gruppo intitolato 'Ferro'. Nell'archivio fotografico privato conservato da Cesare de Seta, le immagini sono catalogate rispettivamente come volume 59, numeri 34 e 39

parso sulla rivista e scattando un gran numero di fotografie nelle quali congela la bellezza robusta e fiera del nobile materiale e del suo uso nelle costruzioni, per dare un esempio a quei costruttori che "si rassegnano a impiegare il ferro 'in segreto', camuffandolo esteriormente con soprastrutture inutili che offendono le stesse ragioni tecniche ed estetiche del suo impiego"[15]. L'articolo è datato dicembre 1939, ma già da diversi anni Pagano utilizza la rivista per sensibilizzare l'attenzione pubblica e la classe professionale su argomenti eminentemente tecnici concernenti il fare architettura, attraverso una serie di interessanti articoli usciti dal 1937 circa in poi.

Non è un caso che la rivista assuma, dal 1938, un titolo nuovo a dimostrazione della grande attenzione rivolta dall'architetto a questo specifico settore edilizio: con il numero 124, uscito nell'aprile del 1938, Giuseppe Pagano trasforma ufficialmente il nome della rivista in "Casabella-Costruzioni", contemporaneamente, da il via ad una nuova sezione speciale di indirizzo tecnico dedicata alle costruzioni metalliche[16]. L'intenzione si dichiara quella di aprire una finestra sulla produzione architettonica e ingegneristica contemporanea che fungesse da originale e inedito strumento informativo e costante aggiornamento su quanto di nuovo proponeva il mercato dell'architettura dell'ingegneria. La cura della sezione viene affidata direttamente a tecnici specializzati pur prevedendo numerosi cammei e interessanti interventi da parte di architetti e dello stes-

so direttore della rivista. Tra gli illustri curatori della sezione ritroviamo il Prof. Umberto Ferrari; gli ingegneri Ignazio Bartoli, Roberto Einaudi, Ercole Galassini e Fausto Masi. La volontà precipua è quella di creare una diretta collaborazione tra architetti e ingegneri nonché permettere una veloce e rapida pubblicità e divulgazione delle iniziative, delle opere e delle tecniche più interessanti proposte nell'ambito delle costruzioni e soprattutto delle carpenterie metalliche cui la sezione dedica ampio spazio.

Scrive Pagano presentando la nuova sezione: "Al nome di 'Casabella' ormai assurto al valore di cifra, per la natura che la rivista è andata assumendo durante il primo decennio, è stato aggiunto, al principio di quest'anno, anche quello di 'Costruzioni'.

'Casabella-Costruzioni' inizia con questo fascicolo una serie di sezioni tecniche che saranno affidate ai più valenti specialisti. Saranno in esse trattati i problemi concernenti la tecnica edilizia: impianti elettrici, idraulici, di riscaldamento, condizionamento dell'aria, ecc., e i vari materiali da costruzione: laterizi, legno, ferro, vetro, cemento, ecc., al fine di contribuire ad una più efficace collaborazione fra gli architetti e gli specialisti dei vari rami dell'industria edilizia"[17].

Il momento di svolta nell'ambito dell'informazione è tangibile. Si tratta del primo caso in cui una rivista specializzata di architettura concede uno spazio assoluto e autonomo alla cultura dell'ingegneria, richiedendo per di più l'intervento di tecnici specializzati, ed ufficializzando il tutto con la nascita di un'intera sezione dedicata alla ricerca e all'approfondimento dell'argomento. Numerosi e interessanti ancora oggi, gli articoli usciti negli anni compresi tra il 1938 ed il 1939, ancora più puntuali e specifici quelli pubblicati tra il 1940 e il 1943, quando il nome della testata cam-





Figg.5 e 6 – Casa a struttura di acciaio, V Triennale, Milano 1933. In occasione della V Triennale di Milano, Pagano propone, insieme a Camus, Albini, Mazzoleni, Minoletti e Palanti, un interessante esempio di sperimentazione dei materiali moderni con il progetto per una casa a struttura d'acciaio. L'ardita costruzione prevedeva uno scheletro a corpo unico saldato, in cui tamponature e tramezzi indipendenti tra di loro, potevano facilmente essere aggiunti o sottratti all'organismo, totalmente autonomo ed 'elastico' nella sua composizione di base

bia nuovamente in "Costruzioni-Casabella", a sottolineare un ulteriore e ancora più mirato indirizzo della rivista verso la cultura dell'ingegneria.

Ciò che più di ogni altra cosa risulta rivoluzionaria nella sezione dedicata alle costruzioni metalliche è indubbiamente il carattere di inedito contributo scientifico ottenuto grazie all'ausilio degli ingegneri che partecipano alla definizione degli articoli.





Figg. 7 e 8 – L'Università Bocconi, Milano 1938-1941. Immagini del cantiere realizzate da Pagano in corso d'opera; le fotografie sono catalogate in archivio nel volume 52, numero 45 e volume55, numero 45

Il 1937 è già caratterizzato da un numero notevole di interventi che analizzano soprattutto l'uso dei materiali innovativi in relazione ai problemi di isolamento termo-acustico; in particolare l'ing. Marescotti che, com'è noto avrebbe rivestito un ruolo di spicco nella realtà architettonica coeva collaborando spesso con colleghi del calibro di Diotallevi e dello stesso Pagano, scrive sui numeri 110-111-114-117-118, affrontando l'interessante discorso dell'utilizzo del faesite e del Cel-Bes nelle costruzioni, materiali per molti professionisti ancora del tutto sconosciuti. Con lui l'ingegner Tullio Bussi che sul n. 115 del 1937 scrive l'articolo: *Il Cel-Bes quale isolante acustico*. Sempre nel '37, l'ing. Fausto Masi si occupa dei fab-bricati industriali[18], ma l'intervento indubbiamente più interessante è quello di Richard J. Neutra che sul n. 120 riporta un articolo già pubblicato sull' "Architectural Review": *La tecnica in America*, contributo fondamentale per la cultura architettonica italiana ferma a tecnologie di certo meno avanzate.

Con il 1938 e l'ufficializzazione formale della sezione tecnica si registra un aumento degli scritti e delle collaborazione dei professionisti del settore. I primi interventi sui numeri 121 e 122 sono ancora di Marescotti, che affronta il problema dell'utilizzo nelle strutture del vetro termolux; un suo intervento sul tema si registra anche nel numero 123, che però dedica alla sezione un articolo ancora più importante. L'autrice questa

volta è Anna Maria Mazzucchelli, che discetta sull'applicazione delle strutture in cemento armato così come affrontata dallo stesso Giuseppe Pagano; l'intervento si intitola: *Arch. G. Pagano. Studi per l'applicazione razionale di una struttura a elementi di cemento,* in cui è ormai evidente il carattere di contributo scientifico.

Con il numero 124 dell'aprile 1938 inizia a comparire alla fine della sezione tecnica l'interessante rassegna intitolata *Recensione di libri e riviste.*

Gli articoli scritti in prima persona da Pagano rappresentano indubbiamente alcuni dei contributi più interessanti ed efficaci, soprattutto perché spesso analizzano la cultura dell'ingegneria in opposizione a quella architettonica; interessanti in questo senso gli interventi usciti nel '38 come *Ponti di acciaio* – n. 125-126, maggio-giugno –, oppure *Esiste un'estetica del ferro* – n° 127, luglio – e ancora *Estetica delle strutture sottili* – n. 129, settembre – soltanto per citarne alcuni[19].

Tra le iniziative più interessanti della sezione si rileva quella del *Referendum sull'acciaio,* nel quale intervengono alcuni dei protagonisti più interessanti del panorama professionale internazionale, come Banfi sul n. 127, Cosenza sul n. 125-126, e ancora Peressutti, Rogers, Sot Sas e tanti altri. La rubrica viene così introdotta in appendice alla sezione tecnica: "Apriamo fra gli artisti e i tecnici e particolarmente fra gli architetti e gli ingegneri, un referendum sulle possibilità dell'acciaio nell'architettura e nella costruzione. In questa sezione di "Casabella-Costruzioni metalliche", continueremo nel modo più completo gli studi relativi alle caratteristiche meccaniche dell'acciaio e l'illustrazione più particolareggiata delle opere a struttura metallica. Il referendum vuole essere un inte-gramento di questi studi e verrà, oltre che a determinare un maggiore interessamento a questo moderno sistema di costruzione, anche ad offrire nuovi punti di vista allo studio. Le domande tendono a conoscere il pensiero di artisti e tecnici sulle varie possibilità dell'acciaio inteso come vero e proprio materiale da costruzione e sulle possibilità espressive offerte dalle strutture metalliche" [20]. Gli autori si premurano anche di spiegare il valore che una tale iniziativa avrebbe avuto, specificando che, le risposte, quanto più possibile "limpide e concise", avrebbero potuto "chiarire le condizioni base di un razionale impiego dell'acciaio" nonché "contribuire alla soluzione di particolari problemi costruttivi"[21].

Con il n. 133 del gennaio 1939 arrivano anche i *Consensi all'iniziativa*, scritti dal direttore che ringrazia per gli apprezzamenti riservati dai vari professionisti, del settore e non, alla sezione tecnica e fa il punto sui risultati che erano stati ottenuti in quegli anni di sperimentazione informativa: "[…] Sono usciti ormai otto fascicoli di questa sezione dedicata alle costruzioni metalliche e dobbiamo considerare come ben avviato il nostro lavoro. L'interesse che questi fascicoli hanno destato tra ingegneri ed architetti, anche estranei al ramo delle carpenterie in acciaio, ci hanno

confermato l'utilità ed anzi la necessità dell'iniziativa. […]Per tutti coloro che consideravano l'architettura come una attività estranea alla vita e artisticamente superflua, paragonabile tutt'al più al concetto di 'bella calligrafia' rispetto al concetto più vasto, e per alcuni non artistico di 'costruzioni', la conoscenza delle carpenterie metalliche sembrava una branca secondaria, destinata alla sola ingegneria industriale. […] Questo concetto oggi più non sussiste e, semmai, vive proprio l'opposto"[22] .

È chiaro come Pagano intenda sottolineare con queste parole il contributo dell'iniziativa intrapresa con successo, che aveva in qualche modo contribuito all'emancipazione della cultura architettonica rispetto a quella dell'ingegneria o quantomeno a rinvigorire, in alcuni casi a dar vita ad un rinnovato dialogo tra i due saperi.



Fig. 9 – Roma, Esposizione del Minerale, struttura di copertura, 1938. L'attenzione dell'obiettivo di Pagano si sofferma continuamente sui particolari strutturali e tecnologici delle costruzioni. La produzione fotografica dell'architetto denuncia chiaramente questa attenzione quasi maniacale per la tecnica delle strutture soprattutto quelle d'acciaio. L'immagine è catalogata in archivio nel volume 31, numero 47

Con il n. 134 del febbraio 1939, nasce la sezione tecnica dedicata al 'vetro nelle costruzioni', che riscuoterà un notevole successo di pubblico.

Ulteriore svolta avviene con il primo numero dell'anno 1940: la sezione tecnica dedicata alle costruzioni scompare dall'indice della rivista, ma soltanto perché è il carattere dell'intera testata a cambiare, assumendo definitivamente un taglio tecnico, sottolineato anche da una trasformazione del titolo nel più incisivo "Costruzioni - Casabella"; inoltre, per la prima volta, sulla copertina viene riportato accanto al nome del direttore, Giuseppe Pagano, anche quello del nuovo redattore capo: l'ingegner F. Matricardi. La fusione tra le due 'anime' della rivista, architettonica e ingegneristica, è ormai completa. Aumenta il numero dei tecnici specializzati che collaborano con la testata e i loro articoli sono ormai un compendio necessario e costante per sviluppare temi, discussioni, affrontare problemi.

Nei difficili anni che condurranno alle devastazioni della seconda guerra mondiale, Pagano difende strenuamente la sopravvivenza della rivista contro gli attacchi continui e sferzanti della politica fascista, sempre meno disposta a tollerare un organo libero come "Costruzioni-Casabella". L'atteggiamento di Pagano nei confronti del fascismo è stato considerato dai più estremamente con-







Figg. 10, 11 e 12 – Tre fotografie tratte dal gruppo archiviato sotto il titolo 'Covo'. Si tratta dello studio di Mussolini nel covo di Via Paolo da Cannobio, prima sede de «Il Popolo d'Italia». Volume 56, numeri 14, 44, 48

traddittorio: in realtà la sua non è che la storia di un estremo pentimento rispetto a posizioni giovanili; l'intera vita di Pagano è un'eterna notte dell'Innominato che terminerà dolorosamente con l'internamento nei campi di concentramento e la morte. Sempre più amareggiato dagli eventi politici e sociali che stavano segnando la storia del paese, l'architetto giungerà infatti alla definitiva consapevolezza del crollo della sua fede fascista. Passato alla Resistenza Pagano trascorrerà gli ultimi anni della sua vita a combattere per la libertà del popolo italiano, finché non troverà la morte nel campo di concentramento di Mauthausen, in seguito ad una broncopolmonite traumatica successiva ad un notte di pestamenti violenti: si spegne la mattina del 22 aprile 1945.

La fine della direzione di Persico e Pagano, e in particolare di quest'ultimo, segna anche il declino di "Costruzioni-Casabella". Resta il contributo indelebile di questa esperienza, di grande interesse per la storia dell'architettura e dell'ingegneria in Italia, scritte anche attraverso le pagine di quest'importante periodico.



Fig. 13 – VI Triennale di Milano, 1936. Pagano è presente all'esposizione in veste di architetto; realizza il progetto di una torre in vetrocemento, di un portico per l'ingresso espositivo nonché l'ampliamento del Palazzo dell'Arte che avrebbe ospitato l'intera mostra, supplemento che andava a completare l'edificio realizzato da Muzio in occasione della precedente esposizione del 1933. Il corpo aggiunto all'edificio preesistente si sviluppa, esile e armonioso in tre parti distinte; a collegarne due viene inserita la splendida e ardita scala elicoidale, progettata da Pagano insieme a Bussi. Della struttura particolarmente complessa viene fatto un dettagliato resoconto nel numero 104 di "Casabella" del 1936. L'opera si rivela un elegante connubio tra la ricerca strutturale e quella scenografica

[1] C. DE SETA, *Il destino dell'architettura. Persico Giolli Pagano*, Laterza, Roma-Bari 1985, p. 51.

[2] Cfr. *Edoardo Persico e Giuseppe Pagano a «Casabella»*, in C. DE SETA, *Il destino dell'architettura: Persico, Giolli, Pagano*, Laterza, Roma-Bari, 1985, pp. 51-59.

[3] "Gli anni che vanno dal '33 alla morte di Persico sono tra gli anni più belli della rivista per la scelta e la ricchezza della documentazione, per l'apertura versi tutti gli aspetti delle arti: da quelle più propriamente intese, alla tipografia, arredamento, pubblicità, cinema, fotografia. Ma sono anche gli anni più creativi della rivista". *Edoardo Persico e Giuseppe Pagano a «Casabella»*, cit.

[4] La rivista milanese prende il via intorno al 1927 sotto la direzione di Guido Marangoni con il titolo approssimativo di "Rivista per gli amatori de La Casa Bella". Il 1929 segna l'inizio di un'attività più interessante con i primi contributi saltuari di Sartoris, Gino Levi Montalcini e Giuseppe Pagano che intervengono però con articoli di arredamento e design. Nel 1930 si registra la prima collaborazione anonima di Edoardo Persico ma sarà con il passaggio direttivo nelle mani di Arrigo Bonfiglioli che

Persico e Pagano diventeranno collaboratori fissi, "se non veri e propri redattori". Nel 1932 con un articolo di Pagano in cui vengono tracciate le linee del programma della nuova direzione, la rivista passa nelle mani di Persico nella figura di redattore unico e Pagano come direttore di 'Casabella'. Cfr. C. DE SETA, *Il destino dell'architettura …*, cit.

[5] Molto discusso e ambiguo il rapporto della rivista stessa con la dittatura di Mussolini, come d'altronde complesso si dimostra il rapporto che Pagano in prima persona avrà con il Duce, ma per questo complesso capitolo della storia dell'architetto istriano si rimanda all'apposita bibliografia. O. DEL BUONO (a cura di), *Eia, Eia, Eia, Alalà. La stampa italiana sotto il Fascismo*, pref. di N. Tranfaglia, Ed. Feltrinelli, Milano 1958; C. DE SETA, *La cultura architettonica in Italia tra le due guerre*, Laterza, Bari 1972; C.F. CARLI, *Architettura e fascismo*, Volpe ed., Roma 1980; G.C. MARIANI, *L'autarchia della cultura. Intellettuali e fascismo negli anni trenta*, Ed. Riuniti, Roma 1983; C. DE SETA, *Il destino dell'architettura…*, cit.; C. DE SETA, *Architetti italiani del Novecento*, Laterza, Roma-Bari, 1987; G. CIUCCI, *Gli architetti e il fascismo. Architettura e città 1922-1944*, Einaudi, Torino 1989; C. DE SETA (a cura di), *Giuseppe Pagano, Architettura e città durante il fascismo*, Laterza, Roma-Bari ristampa 1990; C. DE SETA, *La cultura architettonica in Italia tra le due guerre*, Electa Napoli, 1998.

[6] G. VERONESI, *Difficoltà politiche dell'architettura in Italia 1920-1940*, Libreria edit. Politec. Tamburini, Milano 1953, p. 68.

[7] Il rapporto umano tra i due protagonisti del dibattito architettonico a cavallo delle due guerre si dimostrò invece piuttosto complesso e a tratti conflittuale, principalmente a causa dei pareri discordi in campo politico, seppure profonda e costante sia stata la stima reciproca tra i due. Scrive Giulia Veronesi: "Lontano spiritualmente e psicologicamente da Persico (Bruno Zevi può dire che ne costituisse l'estremo opposto), egli si trovò però subito fraternamente d'accordo con lui sul piano della lotta da condurre, nel campo della critica alla falsa architettura e alla falsa civiltà che vi si specchiava: e da Persico si lasciò spesso guidare, si lasciò illuminare, corresse sul suo esempio la propria intemperanza polemica, apprese a guardar più a fondo nei problemi". G. VERONESI, *Difficoltà politiche dell'architettura …*, cit., p. 56.

[8] Cesare de Seta racconta l'aneddoto secondo il quale Pagano risponderà con profonda reticenza all'invito del Ragghianti di scrivere una monografia di Wright: "il maestro americano certamente risultava ai suoi occhi scarsamente a fuoco. La sua scelta era marcatamente 'funzionalista'". *Ibidem*, p. 54.

[9] "Elemento di unione tra la prima e la seconda 'Casabella' (quella di Persico e Pagano e successivamente del solo Pagano) è senza alcun dubbio Anna Maria Mazzucchelli. […] Il ruolo di questa giovane redattrice credo vada riesaminato, […] per il ruolo complessivo che essa giocò in quel difficile dialogo tra Pagano e Persico. Dopo la morte di questo, ella seppe svolgere un ruolo vigile ed attento che esercitò soprattutto nei confronti di Pagano". C. DE SETA, *Il destino dell'architettura …*, cit., p. 58.

[10] Interessante a questo proposito quanto scrive Laura Castagno: "Mentre le Accademie di Belle Arti, che avevano un corso di Architettura, si dibattevano nelle loro contraddizioni e si attendeva la formazione di vere e proprie facoltà di Architettura, con maggiore autonomia anche amministrativa, in varie situazioni italiane - università e politecnici - si passa attraverso le vicende dei corsi superiori di Architettura, filiazioni delle Accademie.
In questa situazione piuttosto confusa molti giovani italiani venivano ad iscriversi al corso di laurea in Architettura del Politecnico di Torino. Il piano di studi per gli allievi architetti aveva, rispetto a quelli per gli ingegneri civili, un maggiore spazio per le materie storiche e di disegno ma aveva il grave svantaggio di utilizzare molte volte gli stessi insegnanti senza che riuscisse ad emergere un indirizzo veramente nuovo". L. CASTAGNO, *La formazione e gli anni torinesi. Il Politecnico di Torino*, in A. BASSI, L. CASTAGNO, *I designer. Giuseppe Pagano*, cit., p.17.

[11] Il razionalismo di Pagano nulla avrà a che vedere con il monumentalismo piacentiniano né tanto meno con il concetto di mediterraneità del gruppo di architetti che seguiranno la rivista "Quadrante", come Peressutti e altri. Per una comprensione di questo interessante e complesso nodo della cultura architettonica tra le due guerre si rimanda alla relativa bibliografia. C. DE SETA, *La cultura architettonica in Italia…*, cit. Delucidante in proposito lo scritto di Silvia Danesi: S. DANESI, *Aporie dell'architettura italiana in periodo fascista - mediterraneità e purismo*, in S. DANESI, L. PATETTA (a cura di), *Il razionalismo e l'architettura in Italia durante il fascismo*, Electa, Milano 1976.

[12] Interessanti a riguardo due articoli di Pagano: *Anche i giovani possono insegnare* (uscito su "Casabella-Costruzioni", n. 131, novembre 1938, p. 42) e *Un giovane progetta una borgata rurale a struttura d'acciaio* ("Casabella-Costruzioni", n. 132, dicembre 1938, p. 38), nei quali l'istriano proponeva i progetti di due giovanissimi studenti ponendoli quasi alla stregua di altri professionisti le cui opere occupavano le pagine del suo giornale.

[13] E. MANFREDINI, *Pagano dei giovani*, in *Giuseppe Pagano fascista, antifascista, martire* numero monografico di "Parametro", n. 35, aprile 1975, p. 62.

[14] L'Archivio fotografico di Giuseppe Pagano è un prezioso resoconto di viaggio che si sviluppa attraverso le storie e la cronaca dell'Italia degli anni Trenta del Novecento. Un viaggio alla scoperta di un mondo in parte inedito, perché nascosto dietro al grigiore del regime e in parte caduto in miseria per quella inconscia necessità di occultare gli anni più bui del nostro Paese pur di ricostruirne la storia successiva alla tragedia delle due guerre mondiali. A distanza di un secolo, oggi, questo archivio ci regala la possibilità di mettere a nudo la realtà di quel periodo, per poter rileggerne le pagine seppur dolorose, attraverso le immagini di un uomo che tanto più di altri, per vicende di vita e professionali, ne comprese la natura. Un Archivio che ci permette inoltre di leggere attraverso le immagini tutto l'universo vitale e professionale di un artista tanto complesso e poliedrico: di comprendere l'uomo e il professionista. Il prezioso fondo fotografico di Pagano è stato attentamente studiato nella tesi di dottorato da me discussa nel 2007 di cui verrà a breve pubblicata una sintesi all'interno dei giornali del Dipartimento di Storia e Restauro dell'Architettura della facoltà di Architettura di Napoli "Federico II". Si vedano anche *Giuseppe Pagano fotografo*, a cura di C. DE SETA, Electa, Milano 1979; C. DE SETA, Giuseppe Pagano fotografo, in ID., *Il destino dell'architettura…*, cit.; Giuseppe Pagano, *Architettura e città durante il fascismo*, a cura di C. DE SETA, Laterza, Roma-Bari ristampa 1990; G. MUSTO, *Les archives photographiques Giuseppe Pagano*, in *Culture et architecture en Italie dans les années Trente*, a cura di F. LUCARELLI, M. IULIANO, A. MIGNOZZI, Paparo edizioni, Napoli 2006.

[15] G. PAGANO, *L'Autarchia e l'Architettura del ferro*, in "Casabella-Costruzioni", n. 144, dicembre 1939, p. 35.

[16] Il nuovo titolo della rivista viene ufficializzato da una presentazione fatta dallo stesso direttore. G. PAGANO, *Presentazione*, "Casabella-Costruzioni", n. 124, aprile 1938, pp. 42-43.

[17] *Ibidem.*

[18]F. MASI, *Fabbricati industriali*, in "Casabella", n. 110, febbraio 1937, pp. 40-45.

[19] Nella sezione "Costruzioni metalliche" Pagano inserirà molti articoli scritti di suo pugno, per quella che in effetti è una sua creatura; oltre agli interventi citati nel testo si registrano in ordine di pubblicazione: *Il monumentale nelle strutture di acciaio*, n. 130 ottobre 1938, p. 34; *Anche i giovani possono insegnare*, n. 131 novembre 1938, p. 42; *Un giovane progetta una borgata rurale a struttura di acciaio*, n. 132 dicembre 1938, p. 38; *Architettura e costruzione*, n. 134 febbraio 1939, pp. 34-35; *Contro i costruttori di ferro*, nn. 138-140 giugno-agosto 1939, pp. 142-143; *L'autarchia e l'architettura del ferro*, n. 144 dicembre 1939, pp. 34-35. Ovviamente anche quando la rivista assume

il titolo di "Costruzioni Casabella", l'attenzione dell'istriano nei confronti del discorso dell'architettura dell'ingegneria è costante, seppure preferisca sempre più cedere la parola ai professionisti del settore, che propongono articoli sempre più mirati e specifici.

[20] *Referendum sull'acciaio*, "Casabella Costruzioni", n° 125-126, maggio-giugno 1938, p. 91.

[21] *Ibidem*.

[22] *Consensi alla nostra iniziativa*, "Casabella Costruzioni", n. 133 del gennaio 1939, pp. 34-35.

MARIO RAFFA

L'ingegnere oggi tra azienda e società

L'accelerazione dei processi di innovazione tecnologica, organizzativa e gestionale nei diversi sistemi economici sembra sempre più inarrestabile. Anche nella nostra vita quotidiana possiamo riscontrare le conseguenze delle innovazioni sulle diverse famiglie professionali e tra queste sicuramente quella degli ingegneri che da tanto tempo si muove sulla frontiera del cambiamento.

La rilevanza dei mutamenti in atto nei sistemi economici e l'importanza strategica delle professionalità di tipo ingegneristico nell'innovazione e nello sviluppo delle imprese e delle organizzazioni spingono ad approfondire meglio il ruolo di questa figura professionale nella società odierna.

La *moderna ingegneria* è nata sul finire del Settecento all'interno della stagione culturale dell'Illuminismo e si è da sempre proposta come una scienza viva e dinamica, attenta a tutte le applicazioni tecniche.

Queste caratteristiche furono il tratto peculiare della "Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Ponti e Strade" fondata a Napoli da Gioacchino Murat nel 1811, antesignana di quelle che successivamente sono diventate le Scuole di Ingegneria. Per molti anni queste scuole si sono interessate soprattutto della progettazione e gestione delle opere pubbliche e hanno acquisito una fisionomia ed una identità che hanno conservato per tutto il XIX secolo.

Nel XX secolo l'affermarsi di svariati saperi tecnico-scientifici ha portato alla nascita di nuove aree di competenze, passando così da una ingegneria "omnicomprensiva" ad una ingegneria caratterizzata da tante specializzazioni - da quella civile o edile a quella ambientale e del territorio, da quella navale a quella elettrica, da quella aerospaziale all'informatica, all'elettronica, all'ingegneria dei materiali, a quella dei trasporti, alla gestionale e alla bioingegneria.

Si è assistito così ad una vera e propria *ramificazione di competenze*. E tuttavia, la *struttura formativa di base e alcune caratteristiche di questa figura professionale si basano ancora oggi sul ceppo tradizionale della cultura tecnico-scientifica*.

Per una storia dell'ingegneria

Negli ultimi decenni si è sempre più avvertita l'esigenza di scrivere una storia dell'ingegneria non affidandosi solo ai protagonisti di essa ma avvalendosi di tante altre competenze *come quelle degli storici, degli archivisti, degli architetti, dei sociologi.*

Ed è nata così l'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria (AISI) che ha messo insieme esperienze multidisciplinari allo scopo di ricostruire la

storia dell'ingegneria in tutti i suoi aspetti, dall'antichità ai giorni nostri, nel Mezzogiorno e in Italia.

L'AISI, presieduta da *Salvatore D'Agostino*, ha organizzato il suo primo Convegno Nazionale nei giorni 8 e 9 marzo 2006 presso il Centro Congressi dell'Ateneo Federico II e la Facoltà di Ingegneria di Napoli. Dalla variegata provenienza degli autorevoli relatori - *dai matematici ai filosofi, dagli storici agli archivisti* - sono venuti una serie di contributi[1] che oltre ad arricchire la cultura scientifica nel nostro Paese potranno essere utili per le prossime sfide.

La presente nota tiene conto anche di questi contributi.

Le competenze dell'ingegnere fra società, tecnologia e management

Questa breve nota ha l'obiettivo di riassumere alcuni elementi salienti emersi nel corso del dibattito che si è sviluppato nel corso del convegno "L'ingegneria gestionale nell'azienda e nella società" tenutosi a Napoli il 19 luglio 2002; in particolare, sulla base di quanto emerso dal dibattito, si intende fornire una sintesi in merito alle tendenze evolutive e alle direzioni verso cui dovrebbe evolvere il profilo di competenze dell'ingegnere al fine di rivelarsi adeguato a far fronte a scenari lavorativi e professionali caratterizzati da sempre maggiore complessità e indeterminatezza.

L'obiettivo principale è quello di sottolineare il ruolo delle competenze manageriali nella formazione dell'ingegnere e il confronto fra l'offerta formativa universitaria relativa alla formazione ingegneristica in campo gestionale e *le esigenze e le attese del mondo produttivo* e, più in generale, *della società nei confronti della figura professionale dell'ingegnere*.

In particolare, sulla base del parere di *consulenti, docenti, imprenditori, manager, professionisti, rappresentanti delle istituzioni,* si vuole *contribuire ad effettuare un bilancio in relazione all'attuale situazione e a indicare criticità e traiettorie di sviluppo per la progettazione di un'offerta formativa manageriale per gli ingegneri sempre più al passo con i tempi*.

Pur nella diversità delle opinioni e dei punti di vista, *emerge una visione condivisa: la figura professionale dell'ingegnere è chiamata a confrontarsi sempre più con le problematiche organizzative e gestionali connesse all'innovazione tecnologica e al suo rapido evolvere*.

Accanto ai consueti ambiti legati allo sviluppo della tecnologia, alla sua implementazione nei contesti produttivi e alla progettazione, l'ingegnere tende in molti casi a occuparsi, soprattutto negli stadi più avanzati della propria carriera, di problematiche tipicamente manageriali che vanno dal *project management*, alla *gestione delle risorse umane* per finire all'*organizzazione aziendale* e al *marketing*. Ricorrendo a una metafora, si può affermare che nel cor-

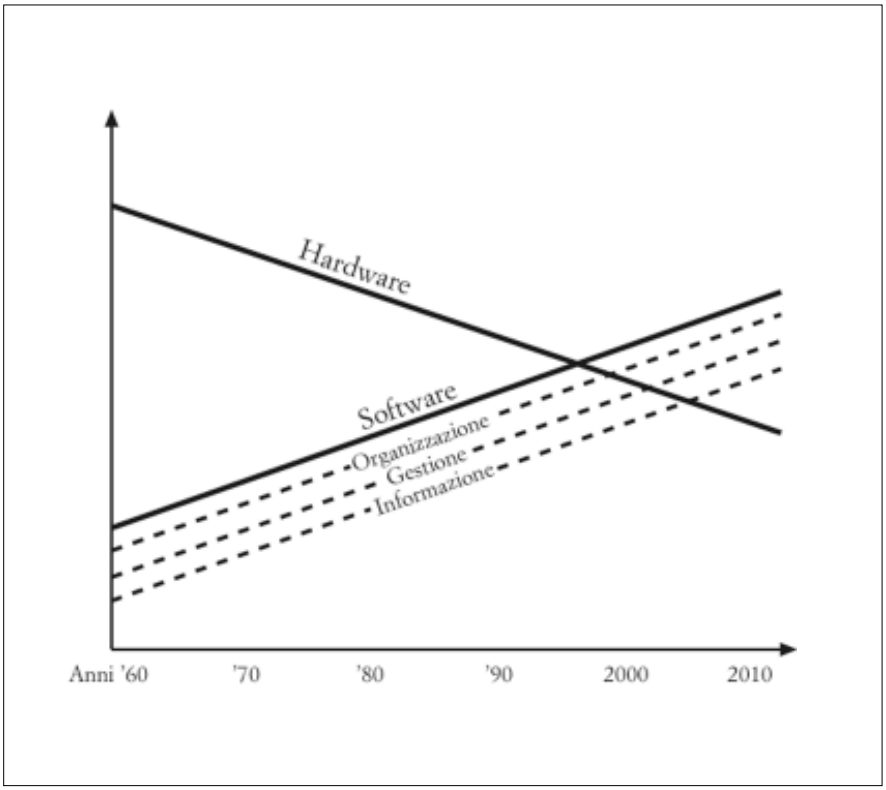


Fig. 1 – L'evoluzione del mix di competenze nella figura professionale dell'ingegnere

so degli ultimi quarant'anni il peso relativo della componente hardware, cioè delle competenze strettamente tecnologiche, rispetto a quello della componente software, cioè delle competenze organizzative e gestionali, è andato via via diminuendo fino a raggiungere un sostanziale equilibrio o addirittura una prevalenza del software sull'hardware per alcune specifici ruoli e figure professionali che più di altri si collocano a cavallo fra organizzazione e tecnologia (Fig. 1).

Come afferma *Guido Trombetti*: "La professione dell'ingegnere si è progressivamente arricchita di valenze organizzative e gestionali, man mano che l'ingegnere è passato dal progetto di macchine semplici alla concezione di grandi opere, alla messa in esercizio di impianti di elevata complessità tecnica, alla messa a punto ed al coordinamento

di sistemi tecnologici e di sistemi formativi; tutto ciò all'interno di vincoli, di risorse, di tempi e di costi" [2].

La rilevanza delle competenze "software" è altresì avvalorata dalla necessità per professionisti e manager di prendere decisioni accurate in tempi rapidi in presenza di limitate informazioni.

In questo senso *Luigi Nicolais*, attuale Ministro per le Riforme e Innovazioni nella pubblica amministrazione e Assessore all'Università e alla Ricerca Scientifica della Regione Campania all'epoca del convegno, afferma che: "L'Ingegneria Gestionale si pone come scienza, come attività, come formazione, in un momento storico particolarmente importante per i cambiamenti generali della società, sia nel mondo dell'industria che in quello della formazione stessa: un Corso di Laurea che dia le basi dell'Ingegneria, ma contemporaneamente fornisca la capacità di prendere decisioni.

Dunque, *l'Ingegneria Gestionale si configura come un integratore di sistema*, che riesca a far colloquiare e quindi interagire in maniera equilibrata scienziati ed esperti di discipline diverse" [3].

Questo mutato equilibrio induce a riconsiderare con maggior attenzione il rapporto tra la cultura tecnica e la cultura gestionale, come afferma *Giorgio Pagliarani*, docente dell'Università di Padova e decano dell'Associazione italiana di Ingegneria Gestionale.

In questo senso la riprogettazione dell'offerta didattica a valle della riforma dell'ordinamento che ha introdotto percorsi formativi basati sull'impianto cosiddetto "3+2" (tre anni di formazione professionalizzante e due di approfondimento specialistico) ha provato a tener conto del confronto con le imprese, le Istituzioni e con gli altri Corsi di Laurea di Ingegneria e di Economia aziendale, al fine di mettere in evidenza gli elementi che caratterizzeranno, nei prossimi anni, il profilo professionale dell'ingegnere, chiamato a dare il proprio contributo nella gestione delle imprese, della Pubblica Amministrazione e delle aziende di servizi di pubblica utilità.

Anche *Vincenzo Naso*, all'epoca del dibattito Preside della Facoltà di Ingegneria, riportando la propria esperienza relativa all'attuazione della riforma, conferma la valutazione di *Giorgio Pagliarani*.

Come è emerso sia nelle sessioni plenarie che in quelle di approfondimento, per gestire problemi complessi è necessaria una formazione che abbracci saperi diversi; conoscere molto bene solo gli aspetti di natura tecnica non basta più.

Conoscenze quali la gestione del personale, il bilancio e l'organizzazione, occupano un ruolo di primo piano nella gestione dell'impresa, dei servizi di pubblica utilità, della Pubblica Amministrazione, delle attività basate sulla conoscenza e sulla ricerca, delle grandi opere.

In tale panorama si pongono nuove sfide sia per l'ingegneria gestionale, sia

per tutti gli altri corsi di laurea in ingegneria.

Emilio Bartezzaghi, docente al Politecnico di Milano e Presidente dell'Associazione italiana di Ingegneria Gestionale all'epoca del dibattito, ha sottolineato che "i corsi di laurea in ingegneria gestionale rappresentano ormai una realtà consolidata nel panorama accademico italiano [...] e possono essere considerati una risposta efficace del nostro sistema universitario all'evoluzione delle esigenze formative e culturali dell'Ingegneria"[4].

Nell'anno accademico 2001/2002, la Laurea in ingegneria gestionale di primo livello era attiva in 25 Atenei, oggi essa è presente in ben 36 Atenei.

A giugno 2002 il totale dei laureati in ingegneria gestionale dall'introduzione del Corso di Laurea in Italia aveva già superato le 10.000 unità, il che costituisce una platea ampiamente significativa per una valutazione degli sbocchi nel mercato del lavoro di questa figura professionale.

I settori di sbocco professionale per i laureati in ingegneria gestionale presentano una varietà significativa: non c'è infatti solo l'industria (che costituisce circa il 50%), ma anche una componente molto forte del settore dei servizi, in particolare di quelli avanzati, accompagnata da una interessante tendenza in crescita verso lo sbocco professionale nella Pubblica Amministrazione.

All'interno delle imprese e delle Istituzioni gli ingegneri gestionali sono impiegati in vari tipi di attività, che spaziano dalla gestione dei flussi fisici e logistici, alla produzione, alla gestione delle operations nei servizi e le attività del marketing, all'organizzazione, ai sistemi formativi, alla pianificazione e controllo.

Tutto ciò attesta come la figura dell'ingegnere gestionale sia di carattere trasversale, interdisciplinare, e quindi caratterizzata da elevati livelli di flessibilità di impiego e collocazione professionale.

Il *concetto di flessibilità* è ripreso anche da molti imprenditori e uomini di azienda che hanno partecipato ai lavori.

Alfonso Trotta, responsabile dell'unità Gestione del Personale di Enel Distribuzione, a tal proposito, ribadisce che: "è scomparso il tempo in cui si poteva tracciare un percorso professionale prestabilito. Come oggi le aziende sono costrette a rivedere i propri piani, le proprie strategie, quasi di anno in anno, così la risorsa umana che si affaccia al mondo del lavoro non può avere la presunzione di pianificare in anticipo la propria carriera professionale" [5].

D'altra parte, la flessibilità è una capacità distintiva nell'ingegnere: "molti dei direttori e degli amministratori con i quali mi sono trovato a lavorare hanno dimostrato la capacità di 'fare un salto', di allontanarsi dall'aspetto strettamente metodologico-quantitativo, per considerare anche altri aspetti, come il marketing, l'analisi contabile, il controllo di gestione e così via.

Probabilmente quelle persone lo hanno fatto per una continua esigenza di

crescita personale, e forse hanno potuto farlo in un contesto storico ed economico diverso da quello attuale. Oggi i tempi sono cambiati e, quindi, entrare in azienda con un bagaglio di competenze più completo che affianchi alla capacità di valutare la fattibilità tecnica di un progetto, valutazioni altrettanto critiche in merito all'impatto economico, gestionale e organizzativo è estremamente utile e importante" [6].

L'enfasi sulle competenze dell'ingegnere gestionale, o più in generale dell'ingegnere manager è sottolineata anche da *Marcello Lando*, quando afferma[7]: "Se si accetta come valida l'equazione ingegnere gestionale=manager, è necessario comprendere bene che significa manager, quali sono le sue responsabilità, quale il suo ruolo", e, citando i risultati di una ricerca sul campo svolta dall'Università di Harvard sottolinea che: "i requisiti del buon manager sono: facoltà cognitive intellettive (cioè sintesi creativa, intelligenza pratica, capacità di giudizio), attitudini caratteriali (coscienza dei propri mezzi e dei propri limiti, spirito di iniziativa, disponibilità a fronteggiare l'incertezza, motivazione e ambizione, capacità di coinvolgere e di motivare gli altri, ecc.) e doti comportamentali (perseveranza, senso del tempo e organizzazione personale, chiarezza di aspirazioni, integrità, senso di responsabilità sociale)".

Da questa rapida rassegna di alcuni spunti offerti dal dibattito, e ancor più da quanto poi emerso dalle sessioni di approfondimento dedicate al ruolo dell'ingegnere gestionale nell'area civile, nella gestione della produzione e nel settore delle tecnologie della comunicazione e dell'informazione, sembrano emergere tre chiare indicazioni:

1. Accanto a figure ingegneristiche specializzate in specifici settori tecnologici, aumenta la necessità di ingegneri capaci di fare da interfaccia e far dialogare al meglio la *componente tecnologica* e *quella socio/organizzativa* nelle *imprese* e nelle *istituzioni*. Le competenze gestionali non sono dunque semplici competenze accessorie o trasversali, ma la loro efficace attivazione richiede una formazione specifica e il presidio da parte di figure professionali ingegneristiche ad hoc.

2. Le competenze gestionali rappresentano altresì competenze "accessorie" molto gradite anche per ingegneri specializzati in uno specifico ambito tecnologico.

Esistono nicchie professionali di raccordo fra la tecnologia, l'organizzazione e il mercato che, sebbene non richiedano know-how tecnico sofisticato specializzato, necessitano del connubio tra una *forte sensibilità ingegneristica alle problematiche tecnologiche e una altrettanto sviluppata sensibilità alle problematiche economiche, organizzative e manageriali*.

Da tali considerazioni, è possibile sottolineare l'emergere di quattro aree che caratterizzano il profilo professio-

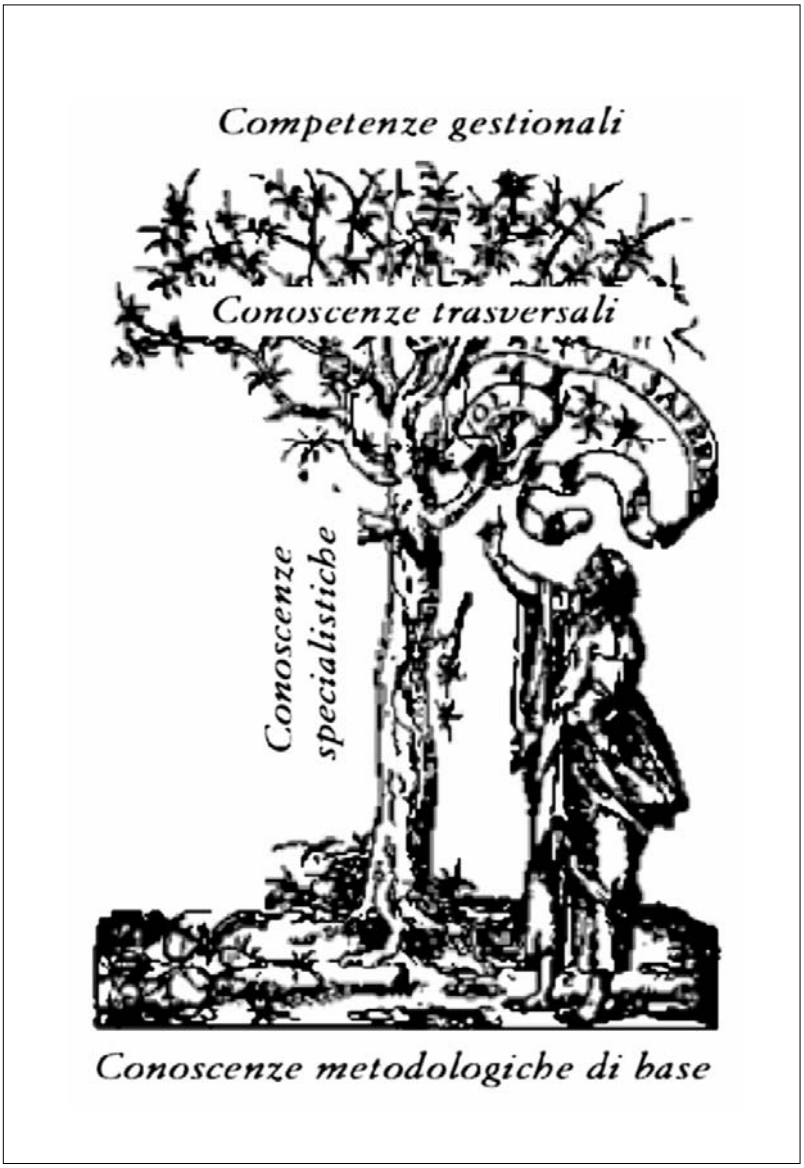


Fig. 2 - Le tipologie di conoscenze e competenze dell'ingegnere nella metafora dell'albero

nale dell'ingegnere nell'attuale scenario, e che solo riconducibili alle:

• Conoscenze metodologiche di base;

• Conoscenze specialistiche e tecniche e di ambito specifico;

• Competenze gestionali;

• Competenze trasversali di natura cognitiva e relazionale.

È possibile ricorrere alla metafora dell'albero (Fig. 2) per meglio illustrare la collocazione dei quattro gruppi di conoscenze e competenze individuati nell'impianto formativo complessivo della figura dell'ingegnere.

Le *conoscenze metodologiche di base* costituiscono le radici dell'albero, su cui non solo tutte le altre tipologie trovano solida base e si fondano, ma dalle quali traggono una linfa vitale - costituita dall'approccio allo studio e all'analisi dei fenomeni tipici del metodo scientifico - che si diffonde attraverso tutto l'impianto formativo.

La padronanza delle conoscenze specialistiche risulterebbe senza dubbio indebolita dall'assenza di una solida formazione scientifica di base; competenze trasversali quali la capacità di modellizzare processi e problemi complessi, la capacità di problem solving, le capacità di analisi e di sintesi non potrebbero essere adeguatamente sviluppate senza il necessario patrimonio conoscitivo delle scienze di base. Più che veicolare contenuti dal risvolto pratico immediato, le conoscenze di base mirano a formare un vero e proprio atteggiamento sul metodo che caratterizza la formazione ingegneristica in modo peculiare.

Il tronco dell'albero, la sua struttura portante, è costituito dalle *competenze specialistiche* relative all'ambito tecnologico specifico dei vari curricula di ingegneria; esse sono il cuore del know-how tecnologico di ogni ingegnere e lo caratterizzano in modo distintivo. Fanno parte di questo bagaglio conoscitivo non solo le necessarie nozioni teoriche di base, ma anche la capacità di collegare le conoscenze tecniche alla risoluzione di problemi specifici, con particolare enfasi sull'applicazione delle tecnologie nei contesti produttivi, la capacità di applicare i modelli e di individuarne i limiti, l'atteggiamento empirico e pragmatico basato sul continuo confronto con i fatti e gli esperimenti.

Le *competenze trasversali* sono assimilabili ai rami che consentono alla base di espandersi in orizzontale. Tali competenze non sono riconducibili a saperi specifici di tipo verticale, ma a capacità orizzontali necessarie a esprimere al meglio le competenze tecniche e a permetterne l'efficace attivazione e dispiegamento nelle situazioni concrete che un professionista si troverà ad affrontare operando all'interno o in contatto con organizzazione di vario tipo e di vari livelli di complessità.

Nei contesti organizzativi e aziendali, le competenze relative alla comunicazione, alla interazione, alle capacità cognitive necessarie per affrontare problematiche complesse, destrutturate e caratterizzate da vincoli di varia natu-

ra e aspettative conflittuali diventano sempre più rilevanti.

Livelli adeguati di competenza nella *capacità di lavorare in gruppo*, nelle *tecniche di comunicazione*, nella *conoscenza di una o più lingue straniere*, nella *consapevolezza delle proprie responsabilità professionali ed etiche* unitamente alla *capacità di problem solving*, al *pensiero analitico*, alla *capacità di sintesi*, alla *capacità di modellizzazione di problemi e processi*, *all'abilità nella ricerca delle informazioni* possono rappresentare possibili risposte alla crescente complessità delle organizzazioni e degli scenari competitivi.

Le competenze trasversali sono assimilabili ad amplificatori che potenziano e facilitano l'utilizzo e l'applicazione del know-how tipicamente ingegneristico in ambito professionale, ma hanno poco valore se non sono adeguatamente sostenute da un tronco sufficientemente robusto, cioè da competenze tecnologiche e scientifiche concrete e approfondite.

Le *competenze gestionali* sono assimilabili a competenze di interfaccia tra il know-how tecnico e i contesti produttivi o organizzativi in cui esso trova applicazione; per tale ragione nella metafora dell'albero esse sono assimilate alle foglie.

Tale insieme di competenze è relativo allo sviluppo di capacità manageriali per la gestione di sistemi socio-tecnico-economici, cioè costituiti dall'integrazione di persone e tecnologie finalizzata alla creazione di valore, nel senso più generale del termine e non limitato all'accezione economica tout-court. Le competenze gestionali sono relative alla conoscenza e all'utilizzo dei principali strumenti di pianificazione e controllo, di supporto alle decisioni, con particolare enfasi sulla capacità di gestione dell'innovazione di prodotto e di processo e change management, ma hanno soprattutto la finalità formativa di sviluppare una sensibilità nei confronti delle problematiche organizzative ed economiche associate all'innovazione tecnologica, alla fattibilità e alla praticabilità economica, ma anche sociale e ambientale dello sviluppo tecnologico.

Un quadro di insieme del profilo di competenze dell'ingegnere è riportato nella Fig. 3 in cui si individuano con un maggior grado di dettaglio, ma senza nessuna pretesa di completezza ed esaustività, anche le discipline e le conoscenze specifiche che fanno parte di ogni gruppo di competenze.

Queste ultime non vanno naturalmente intese come corrispondenti a particolari insegnamenti sebbene, in taluni casi, possano condividere la denominazione con alcuni fra gli insegnamenti già esistenti.

Naturalmente le quattro aree di competenze individuate rappresentano ingredienti di base che vanno opportunamente dosati e combinati per creare curricula di formazione ingegneristica specifici. Così un *curriculum da tecnologo* richiederà una maggiore enfasi sul tronco dell'albero e il potenziamento quan-

titativo e qualitativo delle radici metodologiche.

Un *curriculum da gestionale* richiederà una chioma più folta, facendo attenzione tuttavia a innestarla su un tronco sufficientemente robusto e con solide e stabili radici, pena la perdita della connotazione ingegneristica che rappresenta il punto di forza riconosciuto di questo tipo di figura professionale.

Cluster di competenze	*Definizione*	*Discipline, conoscenze, capacità specifiche*
Conoscenze metodologiche di base	Conoscenze delle discipline fisico-matematiche e delle discipline di base	Chimica, economia, fisica, matematica, ricerca operativa, statistica, teoria dei sistemi
Conoscenze specialistiche e tecniche e di ambito specifico	Know how tecnico specialistico, costituito dall'insieme delle necessarie nozioni teoriche e dalla capacità di collegare le conoscenze tecniche alla risoluzione di problemi specifici, con particolare enfasi sull'applicazione delle tecnologie nei contesti produttivi	Secondo lo specifico curriculum
Competenze gestionali	Competenze manageriali per la gestione di sistemi socio-tecnico-economici relative alla conoscenza e all'utilizzo dei principali strumenti di pianificazione e controllo, di supporto alle decisioni, di gestione dell'innovazione di prodotto e di processo	Contabilità analitica e direzionale, controllo di gestione, finanza aziendale, gestione dell'innovazione, gestione del personale, marketing, organizzazione aziendale, operations management, project management, strategia
Competenze trasversali	Capacità orizzontali necessarie a esprimere al meglio le competenze tecniche e a permetterne l'efficace attivazione e dispiegamento nei contesti professionali e organizzativi	Capacità di lavorare in gruppo, tecniche di comunicazione, conoscenza lingue straniere, consapevolezza delle proprie responsabilità professionali ed etiche, capacità di problem solving, pensiero analitico, capacità di sintesi, capacità di modellizzazione di problemi e processi, abilità nella

Fig. 3 - Le conoscenze e competenze dell'ingegnere: un quadro d'insieme

Il completamento dei tradizionali "saperi" dell'ingegneria con altre competenze, quali quelle gestionali e trasversali nasce dall'esigenza di contribuire a formare figure professionali più adatte a far fronte alla complessità degli attuali scenari competitivi determinata dalla turbolenza e imprevedibilità dei mercati, dalla rapida evoluzione tecnologica e dalla globalizzazione, complessità che non è, dunque, solo un fatto tecnico, né è ad esso il più delle volte riducibile.

[1] *Storia dell'Ingegneria* (vol. I e II), a cura di A. Buccaro, G. Fabricatore e L.M. Papa, Napoli, Cuzzolin Editore, 2006.

[2] *Ingegneria, azienda e società*, a cura di G. Esposito, G. Pastore, M. Raffa, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 2007, p. 24.

[3] *Ingegneria, azienda e società*, cit., p. 27.

[4] *Ingegneria, azienda e società*, cit., p. 36.

[5] *Ingegneria, azienda e società*, cit., p. 64.

[6] *Ingegneria, azienda e società*, cit., p. 65.

[7] *Ingegneria, azienda e società*, cit., p. 70.

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

EDOARDO COSENZA, ROBERTO PARISI

Luigi Giura: il primo ingegnere di Stato nell'Italia in costruzione

Premessa

Luigi Giura (1795-1864) rappresenta una figura fondamentale nell'ingegneria napoletana e italiana. Rientra infatti nel gruppo dei primi dodici allievi che studiano nella Scuola di applicazione di Ponti e Strade fondata dal Murat il 4 marzo 1811, prima Scuola d'Italia non a carattere militare. Essendo nato il 14 ottobre 1795, Giura non ha ancora compiuto 19 anni quando nel settembre 1814 vengono pubblicati i risultati della prova finale della Scuola[1]. È senza dubbio il migliore studente, con un punteggio finale di 130 - i quattro allievi che seguono e che assumono il ruolo di "ingegneri aspiranti" conseguono votazioni comprese fra 71 e 106 - ed è a pieno titolo il primo ingegnere di Stato in una Italia non ancora unita. Percorrerà una straordinaria carriera fino ad essere scelto nel 1860, da Garibaldi, come Ministro dei Lavori Pubblici.

Dunque ci sembra ben motivata la scelta di richiamare l'attenzione di quanti sono interessati alla storia dell'ingegneria italiana, sulla figura di Luigi Giura. Scelta rafforzata dalla centralità che alcuni aspetti della sua attività professionale - come i grandi lavori pubblici ed il ruolo e la formazione dei tecnici pubblici nel processo di costruzione di uno Stato - assumono in riferimento ai due prossimi eventi di rilievo per la storia del nostro Paese, e per il Mezzogiorno in particolare: il 150° anniversario dell'Unità d'Italia (1861-2011) ed il bicentenario della fondazione della Regia scuola napoletana di Applicazione di Ponti e Strade (1811-2011).

Uno scienziato-artista per la «ragion di Stato»

Dopo Carlo Afan de Rivera, Luigi Giura può essere considerato il tecnico più rappresentativo del Corpo borbonico di Ponti e Strade, poiché dopo essersi diplomato presso la scuola di applicazione, sostenne con successo per quasi cinquant'anni il ruolo dell'ingegnere pubblico, interpretando compiutamente la figura dello «scienziato-artista»[2]: *scienziato* - come sosteneva il de Rivera - perché in possesso di un'adeguata preparazione nel campo delle «scienze esatte ed applicate», grazie alla quale «con genio creatore [potè] applicare le teoriche alle circostanze particolari»; *artista*, non solo perché diresse «le arti belle e tutt'i mestieri, che hanno relazione all'architettura civile ed idraulica» ma anche perché, «inventando e perfezionando i ripieghi d'arte», egli sovrintese in pratica a tutte le principali opere pubbliche promosse nel Regno[3].

Ma l'opera di Giura non si esaurì con la fine del regime borbonico, anzi assunse una dimensione di grande rilievo anche nei primi anni unitari, partecipando attivamente al dibattito nazionale sul

destino delle grandi infrastrutture territoriali della giovane Italia in formazione.

Tra i molteplici aspetti della vita professionale di Luigi Giura, nato a Maschito, in Basilicata, ma vissuto a lungo a Napoli, sono di importanza in questo contesto i due ponti sospesi realizzati sul Garigliano e sul Calore che proiettarono la sua esperienza in una dimensione di livello europeo. Da qui, anche, la scelta di premettere ad una breve descrizione del primo ponte sospeso realizzato in Italia (1832), oltre ad un succinto profilo dell'attività politica e professionale, anche una sintesi del lungo viaggio che Giura ed altri allievi della scuola napoletana di Ponti e Strade condussero in quegli anni nelle grandi capitali dell'Europa settentrionale.

I "territori" dell'ingegnere

Come emerge dal profilo biografico tracciato nel 1865 dall'ingegnere di ponti e strade Antonio Maiuri (1805-1891), l'attività di Luigi Giura coprì molteplici campi disciplinari – dall'ingegneria idraulica a quella meccanica e ferroviaria, dalla geometria analitica alla scienza ed alla tecnica delle costruzioni, dall'urbanistica all'estimo – e ciò spiega anche l'attenzione mostrata verso alcune sue opere e verso alcuni aspetti della sua vita professionale non solo nell'ambito della storia dell'architettura e dell'ingegneria, ma anche in studi di storia delle istituzioni, di storia sociale e di storia economica[4].

Giura, infatti, nel corso della sua lunga carriera, fu autore di progetti di bonifica idraulica, di attrezzature portuali, di ponti, di infrastrutture ferroviarie e, in qualità di Architetto municipale di Napoli, autore di opere di rilevamento cartografico, di piani urbanistici e di progetti architettonici per edifici di carattere produttivo, civile e religioso.

Se, attraverso i palazzi borghesi e le architetture idrauliche della via dei Fossi o lo zuccherificio di Sarno, la sua opera evidenzia una consapevole adesione alla cultura figurativa locale, improntata ad un neoclassicismo austero, contaminato dalla serializzazione tipologica di matrice francese, con i progetti dei due ponti pensili sul Garigliano e sul Calore, Giura appare invece pienamente partecipe del dibattito scientifico e culturale che a livello europeo vide come protagonisti più noti Louis-Marie-Henrie Navier, Isambard Brunel, Thomas Telford o i fratelli Seguin e, allo stesso tempo, sul piano nazionale, attraverso i grandi progetti di trasformazione ambientale (come il ripristino del traforo claudiano in Abruzzo o i porti commerciali di Napoli e di Pozzuoli), egli mostrò una non comune attenzione ad un uso razionale della tecnica per assecondare i bisogni urbani e territoriali della collettività.

Ciò che tuttavia emerge dall'analisi dell'opera di Giura è innanzitutto la singolare interpretazione del ruolo dell'ingegnere di Stato. Non acritico burocrate delle opere pubbliche, ma esperto in grado di mettere al servizio delle istituzioni le proprie conoscenze scientifiche e la propria esperienza, privilegiando sempre la migliore soluzione tecnica, indipendentemente dalle convenienze

politiche di un progetto. Se, ad esempio, la scelta di affidare a privati il prosciugamento del lago Fucino nella Marsica abruzzese - contro il parere espresso dal De Rivera - può apparire come un'adesione in senso liberista alla politica economica di Ferdinando II, in realtà essa mirava a risolvere tecnicamente una questione ambientale e sociale secondo un'ottica territoriale più ampia rispetto ai rigidi confini degli stati preunitari. Un'ottica che, al di là dell'ideologia politica di fondo e pur assecondando le subdole strategie imprenditoriali di Alessandro Torlonia, guardava al territorio come ad un grande laboratorio a cielo aperto, coacervo di sperimentazioni scientifiche in grado di connettere, quasi in una comune sinergia d'intenti, opere come lo scudo metallico di Marc Brunel per il tunnel del Tamigi ai primi vagoni ferroviari progettati da Marc Seguin per la linea Lione-S. Etienne all'impresa di Ferdinand Lesseps e di Paulin Talabot per il canale di Suez.

Difficile al momento comprendere fino a che punto si spinse l'azione politica del tecnico lucano negli anni della seconda restaurazione, tuttavia è evidente che se da un lato il graduale allontanamento ideologico dalla politica borbonica ostacolò la sua progressione di carriera nel Corpo di Ponti e Strade, dall'altro i suoi stretti legami con autorevoli esponenti delle élites borghesi di stampo moderato gli assicurarono un ruolo di non minore rilevanza nel settore dei Lavori Pubblici, soprattutto come membro d'importanti commissioni tecniche.



Fig. 1 – Il ponte sospeso sul Garigliano "Real Ferdinando", 1828-1832 (foto R. Parisi)

Uno degli aspetti centrali dell'attività politica e professionale di Giura fu comunque la ricerca costante di una mediazione pacifica tra le istituzioni pubbliche e l'imprenditoria privata. Sul piano nazionale, in qualità di vice-presidente del Consiglio Centrale dei Lavori Pubblici, tentò invano di integrare la politica italiana dei trasporti su ferro e la pressione dei grandi gruppi finanziari con le esigenze specifiche di collegamento delle infrastrutture nel Sud del paese. A livello locale, sia come Ministro dei Lavori Pubblici sia come Direttore del Corpo di Ponti e Strade, successivamente confluito nel Corpo Reale del Genio Civile, si attivò per la riorganizzazione di tutti gli apparati istituzionali dediti al controllo ed allo sviluppo del territorio.

Benché all'interno di un governo ritenuto di secondo piano dalla storiografia contemporanea, il breve mandato ministeriale (27 settembre-3 novembre 1860) conferitogli dalla corrente dei moderati su diretto interessamento del proditattore Giorgio Trivulzio Pallavicino, consentì a Giura di perseguire una significativa politica di rafforzamento della Direzione Generale di Ponti e Strade,

portando a compimento dopo otto anni il programma di accentramento già avviato dal de Rivera.

Oltre al saggio sui ponti pensili apparso nel 1855 sugli «Annali delle Opere Pubbliche e dell'Architettura»[5], Giura non pubblicò molti altri contributi scientifici[6], né si dedicò nel corso della sua breve attività didattica alla redazione di trattati teorici, ma della sua opera intellettuale e scientifica – a parte le testimonianze dirette dei contemporanei – rimangono ancora i numerosi rapporti redatti in seno al Corpo di Ponti e Strade, le «memorie descrittive» dei progetti e dei piani elaborati, i resoconti dei viaggi di studio e delle missioni di servizio, gli interventi pubblici resi con straordinarie capacità dialettiche in seno al decurionato del corpo di città, nel consiglio comunale e nei tre anni trascorsi nel consiglio provinciale di Napoli.



Fig. 2 – Il ponte sospeso sul Garigliano "Real Ferdinando" prima dell'intervento di ripristino architettonico (foto R. Parisi)

L'altro Grand Tour. Il "voyage d'instruction" nella formazione dei tecnici europei

Dopo Waterloo, la fine del grande blocco continentale e la riapertura dei rapporti commerciali con l'Inghilterra segnarono, nell'Europa riformata dai napoleonidi, una più rapida ripresa dei molteplici processi di modernizzazione che già verso la fine del XVIII secolo avevano caratterizzato lo sviluppo economico, culturale e scientifico dei principali stati dell'*Ancien Régime*.

Nell'Europa restaurata, l'École polytechnique ed i laboratori dei Travaux Publics in Francia, come le grandi industrie, le prime stazioni ferroviarie o i ponti sospesi in Inghilterra, diventano i poli principali di un nuovo tipo di *voyage d'instruction*. Formazione professionale, organizzazione degli apparati pubblici, strategie imprenditoriali, tecnologie avanzate e nuovi materiali costruttivi sono gli elementi fondamentali che sostanziano il programma di un viaggio di studio nel XIX secolo, rendendolo uno dei principali canali di acquisizione dei principi tecnico-scientifici legati alla cultura architettonica ed all'ingegneria del tempo. L'aggiornamento diretto, e sul luogo, non solo completava la formazione di un professionista, tradizionalmente svolta nell'ambito delle Accademie o delle scuole speciali di applicazione, ma permetteva altresì di venire rapidamente a conoscenza di tecniche innovative,

non ancora codificate attraverso testi scientifici ad ampia diffusione.

Come altri più noti architetti e ingegneri del tempo (si pensi al noto viaggio di Karl Friedrich Schinkel nel 1826, o ancora prima, tra il 1821 ed il 1823, a quello di Louis-Marie-Henrie Navier, allora professore aggiunto di meccanica applicata presso la scuola francese di ponti e strade), anche Luigi Giura intraprese un viaggio di istruzione in Francia e in Inghilterra «col disegno di perfezionare sempre più l'istruzione della corporazione»[7].

L'incarico conferito a Giura giunse in un periodo particolarmente importante della sua carriera. Da appena un anno, infatti, l'ingegnere lucano era impegnato nella progettazione del ponte sospeso in ferro alla foce del fiume Garigliano e del restauro dell'antico emissario artificiale del lago Fucino in Abruzzo, due tra i più importanti lavori pubblici intrapresi nel corso dell'Ottocento dal governo borbonico[8].

I problemi legati all'industria del ferro (tecniche di estrazione del minerale, processi di lavorazione e raffinazione, impiego dei prodotti finiti nelle grandi infrastrutture e nell'edilizia), alla costruzione delle gallerie (tecniche di scavo, sistemi di aerazione e di trasporto meccanizzato del materiale), nonché la progettazione a grande scala di bonifiche idrauliche, di canali navigabili, di porti e di sistemi urbani per l'approvvigionamento idrico costituirono, dunque, alcune delle ragioni principali del viaggio d'istruzione promosso dal de Rivera nel 1826.

Con un budget di circa seimila ducati ed in compagnia dei tre giovani ingegneri Agostino Della Rocca, Federico Bausan e Michele Zecchetelli, Giura partì da Napoli il 18 luglio 1826 per ritornarvi il 27 luglio 1827, dopo aver attraversato tutti gli altri stati italiani, la Francia, l'Inghilterra ed alcune località della Svizzera e del Belgio.

Sostanzialmente il programma di viaggio seguito dai tecnici napoletani si può suddividere in cinque itinerari. Il primo (luglio-agosto 1826) interessò lo Stato Pontificio, il Granducato di Toscana, il ducato di Parma ed il Regno Sabaudo. Il secondo itinerario (agosto 1826) comprese alcune città della Francia occidentale fino a Parigi, dove in tre periodi diversi si svolse la terza parte del viaggio (agosto-ottobre 1826; gennaio-febbraio e aprile 1827), con diverse visite giornaliere nei dipartimenti francesi intorno alla capitale, fino alle città di Nantes e di Angers. Il quarto itinerario si svolse a Londra, dove i quattro ingegneri si trattennero circa un mese (gennaio-febbraio 1827). L'ultimo percorso fu quello di ritorno (aprile-luglio), durante il quale, dopo Ginevra ed alcune città della Francia meridionale, i quattro tecnici visitarono la Lombardia ed il Veneto.

In definitiva, su dodici mesi di viaggio, circa cinque furono trascorsi a Parigi, dove Giura ebbe modo di incontrare i maggiori esperti nel campo dell'ingegneria dei ponti e delle scienze idrauliche. Oltre al Navier - progettista del «Pont des Invalides» a Parigi e autore di una fondamentale «*Memoir sur les*

ponts suspendus» che nella prima metà dell'Ottocento ebbe una larga diffusione in Europa[9] - egli conobbe personalmente Gaspard Marie-Riche Prony (1755-1839) e Joseph Mathieu Sganzin (1750-1837), entrambi autori nel primo decennio del secolo di alcuni progetti di porti nell'Italia settentrionale e soprattutto di un grande canale di navigazione tra l'Adriatico ed il Tirreno, tema che il de Rivera stava affrontando in quegli anni nel Regno delle Due Sicilie.

Anche gli scali marittimi furono tra le opere pubbliche francesi maggiormente studiate dai tecnici borbonici, soprattutto per verificare la validità delle proposte avanzate negli anni precedenti da Giuliano de Fazio sui moli a trafori. Furono infatti visitati i porti commerciali sulla Manica di Le Treport presso Dieppe, Sant Valery de Seine, Chebourg e le corderie del porto militare di Brest, ed ancora sulla costa tirrenica, oltre allo scalo militare di Tolone, furono approfonditi i sistemi costruttivi delle dighe isolate nel porto di Marsiglia ed analizzati gli studi sull'illuminazione mediante l'apparecchio lenticolare di Fresnel, che sarà poi applicato nel 1836, per la prima volta in Italia, sul molo occidentale del porto di Nisida.

A Londra, invece, oltre ai docks, allo stabilimento della zecca e all'arsenale marittimo di Woolwich, Giura ed i suoi collaboratori visitarono in particolare lo «stabilimento di macchine di M.r Maudslay» - allora considerato una delle principali officine metalmeccaniche del Regno Unito -, la galleria di Rotherhite in costruzione sotto il Tamigi ad opera di Marc Isambard Brunel (1769-1844) ed il nuovo ponte sospeso di Hammersmith, costruito a cinque miglia da Londra tra il 1825 ed il 1827.

Per la visita a questo ponte Giura fu accompagnato in più riprese dagli ingegneri Thomas Telford (1757-1834), Samuel Brown (1776-1852) ed Isambard Kingdom Brunel (1806-1859), che in quel periodo potevano considerarsi sicuramente tra i maggiori esperti al mondo nel campo dei ponti metallici sospesi.

Oltre a quelli inglesi, il tecnico lucano visitò molti altri tipi di ponti realizzati in Francia, in Svizzera, in Piemonte e nel Veneto, come i ponti di fabbrica di Sainte-Maxence di Jean-Rodolphe Perronet (1708-1794) e di Bordeaux sulla Garonna (1810-1823) di Claude Deshamps; i due ponti costruiti dal colonnello Dufour a Ginevra e quello di Marc Seguin (1786-1875) realizzato sul Rodano a Tournon. In Piemonte, contattò l'architetto Stefano Ignazio Melchioni, che nel 1825 aveva fatto parte di una società di capitalisti per la costruzione, su progetto di Guillaume-Henri Dufour, di un ponte sospeso sul Po e l'architetto idraulico Carlo Bernardo Mosca, direttore del nuovo ponte in costruzione sulla Dora.

Sempre in Italia, oltre ai ponti ed a numerose opere idrauliche, gli ingegneri napoletani visitarono lo stabilimento della Zecca ed il Gabinetto Topografico di Milano, la città di Torino ed le principali opere del Palladio a Vicenza.

Gli esiti di quel viaggio, in definitiva, contribuirono in maniera determinante

non solo al successo personale di Giura ed alla formazione professionale dei suoi diretti collaboratori, ma in generale costituirono una solida base programmatica per la politica di sviluppo delle infrastrutture urbane e territoriali attuata nel Mezzogiorno preunitario da Ferdinando II tra il 1830 ed il 1848.

Giura tornò a Napoli con tre casse, contenenti 146 opere per un totale di 398 volumi. Su quei libri hanno studiato generazioni di studenti napoletani e la maggior parte di essi sono ancora conservati fra i volumi rari della biblioteca della facoltà d'ingegneria.

L'esperienza di Giura nell'"âge d'or des ponts suspendus"

Il ponte sospeso a catene di ferro realizzato tra il 1828 ed il 1832 alla foce del fiume Garigliano, nei pressi dell'antica *Minturnae*, è sicuramente l'opera di Giura più nota. Tuttavia, essa è stata spesso ricordata come uno dei "primati" tecnologici conseguiti dai Borbone - il primo ponte sospeso costruito in Italia - con riferimenti appena sufficienti ai processi culturali, tecnico-scientifici ed economici che ne determinarono la realizzazione[10]. I tentativi di attraversamento del fiume erano stati molteplici in tutte le epoche, in quanto il ponte sul Garigliano rappresentava l'unica possibilità per collegare stabilmente la via Appia, fra lo Stato Pontificio ed il Regno delle due Sicilie. Neanche i romani erano stati in grado di costruire un collegamento fisso: ancora oggi sono visibili le rovine del romano Ponte dell'Epitaffio.



Fig. 3 – Il ponte sospeso sul Garigliano "Real Ferdinando". Particolare del capitello neoegizio di uno dei piloni di sostegno della struttura pensile (foto R. Parisi)

L'opera di Giura, la cui immagine storiografica affonda le radici nella stessa politica di promozione industriale di Ferdinando II e nelle rappresentazioni "di Stato" prodotte da Salvatore Fergola - autorevole «paesista della Real Casa» ed esponente della Scuola di Posillipo - ma che, invece, alla luce di più recenti

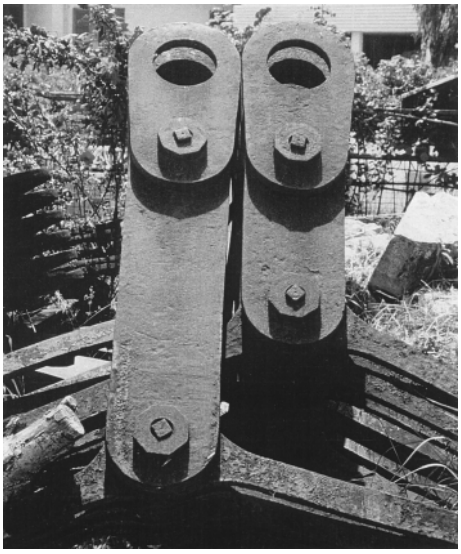


Fig. 4 – Il ponte sospeso sul Garigliano "Real Ferdinando". Particolare del "doppio pendolo" (foto R. Parisi)

lavori di scavo archivistico[11], appare come il risultato di una sinergia di forze professionali e di strategie imprenditoriali, che giunse a maturazione dopo una lunga fase di sperimentazioni e di progetti rimasti sulla carta per circa sessant'anni, ma anche come l'esito di una consapevole fiducia in questa nuova tipologia di ponti e nell'uso del nuovo materiale costruttivo, come testimoniano i riferimenti puntuali alle esperienze europee nei trattati napoletani di architettura di Francesco De Cesare (1827)[12] e di Nicola d'Apuzzo (1831)[13].

Un primo progetto per un ponte pensile in ferro fu redatto in breve tempo da Luigi Giura con l'ausilio degli allievi della Scuola di Applicazione del Corpo di Ponti e Strade.

Approvato con Regio Rescritto del 17 dicembre del 1825, il progetto riprendeva lo schema dell'Union Bridge realizzato sul fiume Tweed, in Scozia, ad opera dall'ingegnere Samuel Brown.

Su una luce pari a circa 62 metri, ridotta quindi della metà rispetto al ponte sul Tweed, Giura adottò esattamente lo stesso schema, con 12 catene di sospensione, accoppiate a due a due, e disposte, sei per parte, sui lati estremi dell'impalcato. Anche l'architettura dei piloni di appoggio era molto simile, essendo costituita da un unico corpo di fabbrica con un fornice centrale ad arco «che offre il passaggio ad ogni sorte di vettura»[14].

Due anni dopo, però, al ritorno dal suo viaggio, Giura perfezionò ulteriormente il disegno del ponte fino a rimodellarlo completamente.

Collocato il ponte a sud dell'antico fortino del Garigliano, Giura ne allungò la luce da 63 metri a 78, accrescendo «proporzionatamente la lunghezza delle catene e del pavimento» e posizionò i piloni a circa dieci metri dalle sponde. Facendo sempre riferimento al modello del Brown, ma apportandovi, almeno inizialmente, alcune modifiche sulla base degli studi condotti dal Navier, Giura strutturò il sistema di sospensione e di ritenuta con quattro fasci di due catene ciascuna, disponendone due per ogni lato. Ciascuna catena, lunga circa 137 metri, era costituta da ventisei barre a sezione rettangolare, unite tra loro a cerniera mediante un perno metallico trasversale. Alle articolazioni erano sospesi in tutto 180 tiranti, che a loro volta sospendevano i lunghi correnti longitudinali, sui quali, infine, era posizionato il tavolato in legno del piano di calpestio. Quest'ultimo, largo circa sei metri era suddiviso in due corsie, quella centrale per il passaggio dei veicoli su ruote ed i due laterali per i pedoni.

I quattro tratti di ritenuta, lunghi ciascuno circa 56 metri, erano inclinati rispetto all'asse verticale dei piloni di quasi ventotto gradi e si prolungavano nel sottosuolo per oltre dieci metri, senza ulteriore cambio d'inclinazione, per essere ancorati ai cosiddetti massi di ritenuta.

Preoccupato di raggiungere la massima sicurezza possibile Giura studiò attentamente i problemi relativi alla resistenza, ai movimenti ed all'influenza dell'attrito delle catene e dei sospensori, anche con riferimento alle variazioni di

temperatura ed alle sollecitazioni dovute alle diverse condizioni di carico della struttura, pedonale e da traffico veicolare. Particolarmente importante, sotto questo aspetto, furono gli «accorgimenti» che Giura escogitò per i punti di sospensione.

Definendo «di sospensione [...] i punti dove si congiunge il tratto di sospensione con quelli di ritenuta, ossia dove la catena poggia sui pilastri. [...]» Giura tenne a precisare che essi «per diverse cause sono esposti a sforzi e tormenti ben diversi da quelli che soffrono le catene ed i punti di ritenuta, e pare che finora [1830] i diversi costruttori non abbian convenuto intorno al sistema più vantaggioso di stabilirli»[15]. Egli analizzò tutte le esperienze possibili condotte da Brown, Navier ed altri tecnici europei. Di grande interesse, non solo storico, è la critica alle valutazioni di Navier, importantissimo riferimento dell'epoca che però non riuscì a completare la costruzione con ponte sospeso ad una campata sulla Senna. Infatti il ponte sospeso *des Invalides* crolla nel 1827, quando i lavori per il ponte sul Garigliano sono già cominciati.

Nella famosa relazione del 1830 Giura rileva che «sembra che il sig. Navier sia caduto in un non lieve equivoco quando stabilisce nella pagina 186 della sua memoria sui ponti sospesi che la direzione di siffatta risultante non esca dalla base, e si conservi sempre molto vicina all'asse delle colonne». L'errore viene valutato numericamente dal Giura e dimostrato che è tale da portare il ponte *des Invalides* al collasso.

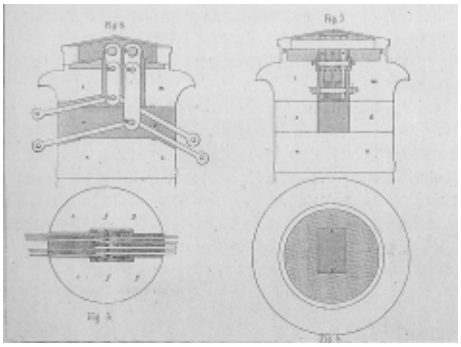


Fig. 5 – Il ponte sospeso sul Garigliano "Real Ferdinando". Particolari costruttivi e di dettaglio del "doppio pendolo" (da Annali delle Opere Pubbliche, 1855)

Dunque Giura, con grande sangue freddo e competenza tecnica, rivide completamente il progetto e giunse alla conclusione che tra i diversi sistemi praticati il più efficace sembrava quello adottato da Isambard Kingdom Brunel Brunel sia per il ponte dell'Isola di Borbone, sia per quello sul fiume Menai, dove il collegamento tra il tratto di ritenuta ed il tratto di sospensione avveniva mediante un perno fissato sulla testa del pilone e sostenuto da due maglioni metallici, sospesi a loro volta ad un altro perno superiore, intorno al quale erano liberi di oscillare.

Per il ponte ferdinandeo, però, pur rifacendosi al modello di Brunel, Giura adottò un sistema che chiamò «doppio pendolo», consistente infatti in due pendoli, indipendenti l'uno dall'altro, e di differente misura - il primo, più corto, per il tratto superiore - ciascuno in grado di collegare i tratti di ritenuta con quelli di sospensione.

Anche le parti strutturali in pietra ed in muratura furono oggetto di particola-

re attenzione da parte di Giura, il quale dopo aver inizialmente elaborato come piloni di sostegno delle colonne di ordine dorico, optò definitivamente per lo stile egizio.

Il ponte pensile sul Garigliano si differenzia rispetto alla maggioranza dei modelli nordeuropei coevi per l'adozione di colonne isolate in luogo degli archi ad un fornice e per l'adesione ad una corrente figurativa fino ad allora mai adottata in Italia per tipologie del genere. Sotto questo profilo il «Real Ferdinando» è da considerarsi una delle opere architettoniche di maggiore rilievo del Mezzogiorno preunitario, poiché proprio per la promiscuità tra materiali costruttivi nuovi e tradizionali, assecondata con magistrale disinvoltura in un linguaggio diverso dai canoni della cultura accademica del primo Ottocento, appare in definitiva come una delle più significative deroghe al codice neoclassico imperante.

La questione del sistema più adatto per sostenere le catene in ferro di un ponte sospeso fu dunque posta da Giura in termini piuttosto precisi sia sul piano formale sia su quello funzionale: «indipendentemente […] dalla difficoltà di immaginare fra tante restrizioni presentate dal problema qualche idea che non urti col gusto, come giustificare quella di un ingresso coverto ad un sito perfettamente aperto, e libero come quello di un ponte in mezzo di un'estesa campagna?»[16]. Ritenendo alquanto «dispendioso» il sistema dei sostegni metallici e scartando la soluzione dell'arco ad un fornice perché poco idonea «alle buone regole architettoniche», egli optò quindi per lo schema a «sostegni isolati» in pietra preferendo le colonne ai pilastri «e perché in superficie uguale la base circolare è più resistente della rettangolare, e perché le colonne, con la loro naturale rastremazione presentano appoggi piramidali di maggior stabilità, e perché in fine in pari circostanze le colonne danno una decorazione maggiore»[17].

Quasi nel tentativo di codificare un ben preciso schema tipologico, Giura sembra dunque individuare nel sistema dei «sostegni isolati» la soluzione formale più opportuna - considerando le particolari condizioni ambientali e paesaggistiche - per i ponti *extraurbani*, ritenendo forse il sistema dell'unico pilone ad un fornice più adatto per i ponti *urbani*.

Una soluzione formale che, tuttavia, non poteva scaturire solo da un puro atto creativo o come semplice opzione stilistica legittimata da una ideologia di fondo e suffragata da superficiali riferimenti ad astratte teorie economiche, dovendo, invece, assecondare le «condizioni di equilibrio e di resistenza» alle quali quella complessa architettura doveva sottostare. Se è vero che eliminando le barre trasversali, necessarie a tenere insieme i vertici superiori delle «anime» in ferro di ciascuna coppia di piloni, Giura ottenne un «sistema mobile in equilibrio stabile», è anche vero che tale soluzione consentì contemporaneamente al tecnico di eliminare dallo schema compositivo del ponte francese *des Invalides* quella sorta di telaio strutturale, che di fatto ostacolava il proposito di ottenere un reale sistema «a sostegni isolati».

Analogamente, i capitelli di ciascun pilone, che in origine erano previsti di ordine «pestano», solo dopo la variante apportata nel 1830 per migliorare le condizioni di appoggio del doppio pendolo furono sagomati secondo il disegno palmiforme delle colonne dell'antico tempio di Khnum presso Esla, che il Navier aveva molto probabilmente desunto dalle tavole di Dominique Vivant Denon.

Inaugurato in pompa magna dal Re Ferdinando II il 10 maggio 1832 il ponte - chiamato appunto *Real Ferdinando* - «a confessione degli esteri che lo hanno esaminato, e che per averne osservati degli altri sono al caso di darne giudizio adeguato, è de' più belli, e nello stesso tempo solidissimo. E di esso poi il primo ponte in Europa che per sostegno delle catene, in grazia di una nuova congegnazione, abbia colonne eleganti in vece dei soliti grossi massi informi altrove adoperati, e nel quale siasi potuto unire alla solidità anche l'eleganza di cui queste opere sono pure suscettibili»[18] .

Il positivo impatto che ebbe quest'opera nell'ambiente scientifico e nell'opinione pubblica in generale, nonché i vantaggi economici che essa presentò rispetto ai sistemi tradizionali di costruzione, indussero il governo a promuovere la realizzazione di altre strutture pensili lungo le principali strade di comunicazione del Regno. Nel breve periodo di cinque anni, tra il 1830 ed il 1835, furono proposti da Giura altri tre ponti pensili su alcuni dei principali fiumi del Regno, come il Pescara in Abruzzo, il Calore ed il Sele in Campania. Tuttavia, fu realizzato solo il «Maria Cristina» (1832-1835) sul fiume Calore, presso Solopaca, mentre gli altri due ponti, dopo estenuanti tentativi e per lungaggini prevalentemente burocratiche, non furono mai compiuti.

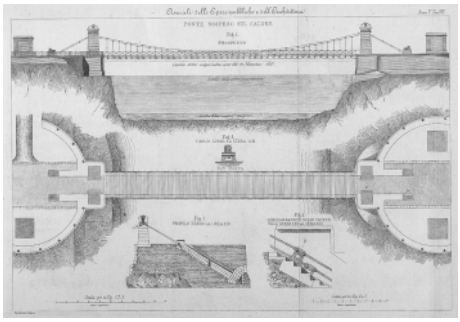


Fig. 6 – Il ponte sospeso sul Calore "Maria Cristina", 1835. (da Annali delle Opere Pubbliche, 1855)

Se il ponte sul Calore fu in parte ricostruito nel 1855 perché distrutto durante la piena del 22 novembre 1851 e poi definitivamente demolito nel 1945, il "Real Ferdinando" sul Garigliano rimase pressoché intatto fino all'ottobre 1943, quando fu minato dall'esercito tedesco in ritirata.

Più recentemente l'intera struttura è stata oggetto di un sofisticato progetto di recupero architettonico e di ripristino strutturale con struttura in alluminio ad opera di Lucio Morrica e Federico Mazzolani portato a compimento nel 1998[19] .

[1] Cfr. G. Russo, *La scuola d'ingegneria in Napoli 1811-1967*, Napoli 1967, p 74.

[2] Cfr. C. Afan de Rivera, *Considerazioni sui mezzi da restituire il valore proprio a' doni che ha la natura largamente conceduto al Regno delle Due Sicilie*, 3 voll., Napoli 1832-33, vol. II, pp. 463-464.

[3] Le citazioni tra caporali sono ovviamente tratte dalle *Considerazioni* espresse dal de Rivera a proposito della formazione dei tecnici meridionali del Corpo di Ponti e Strade (Ibidem). Sullo stesso tema si veda A. Di Biasio, *Ingegneri e territorio nel Regno di Napoli 1800-1860. Carlo Afan de Rivera e il Corpo di Ponti e Strade*, s.e., Latina 1993; G. Foscari, *Dall'arte alla professione: l'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, ESI, Napoli 1995; A. Buccaro, F. De Mattia, a cura di, *Scienziati-artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, catalogo della mostra, Electa Napoli, Napoli 2003.

[4] Sulla figura di Luigi Giura si rimanda a R. Parisi, *Luigi Giura (1795-1865), ingegnere e architetto dell'Ottocento*, Electa Napoli, Napoli 2003.

[5] [Giura L.], *Memoria sulla disposizione più vantaggiosa dei punti di sospensione nei ponti pensili coll'applicazione al nuovo ponte sul Garigliano*, in «Annali delle Opere Pubbliche e dell'Architettura», a cura di G. Rossi, N. de Rosa e L. Carrieri, a. V, 1855, pp. 168-188.

[6] Una relazione tecnica fu pubblicata da Giura, con Michele Ruggiero, sul canale dell'Irno. Cfr. L. Giura-M. Ruggiero, *Difesa della compagnia del Sebeto contro la mensa arcivescovile di Salerno e il signor Pasquale Jannuzzi nella quistione del canale dell'Irno*, Napoli 1840.

[7] Cfr. C. Afan de Rivera, *Considerazioni* …, cit., vol. III, p. 473.

[8] Nel 1832 Afan de Rivera ricordando il viaggio di Giura sostenne che «frutto di questa istruzione è stata l'abile direzione dei lavori dello emissario Claudio e del ponte sospeso a catene di ferro sul Garigliano che confidammo all'anzidetto ispettore» (Ibidem).

[9] Cfr. *Rapport à messieur Becquey directeur general des ponts et Chaussées et des Ruine*s, *et memoir sur les ponts suspendus* [...], Paris 1823.

[10] Si veda ad esempio A. De Sanctis, *Cento anni fa: il ponte pensile sul Garigliano*, in «L'illustrazione italiana», n. 19, 1932; Id., *Nel centenario del ponte sul Garigliano. L'ing. Luigi Giura*, in «Latina Gens», n. 9, a. X, 1932; Id., *La bastia del secolo X e il ponte sospeso sul Garigliano*, in «La stirpe», n. 4, 1932.

[11] Si veda in particolare A. Di Biasio, *Il passo del Garigliano nella storia d'Italia. Il ponte di Luigi Giura*, Caramanica, Minturno 1994; R. Parisi, *Luigi Giura*…, cit., passim.

[12] Cfr. F. De Cesare, *Trattato elementare di architettura civile*, 3 voll., Napoli 1827, vol. II, pp. 254-261.

[13] Cfr. N. D'Apuzzo, *Considerazioni architettoniche*, Napoli 1831, pp. 202-220.

[14] Cfr. ASN, Min. Finanze, fs. 4961, fasc. 1159, L. Giura, Progetto preventivo di un ponte sospeso di ferro battuto pel Garigliano, a. 1825

[15] Cfr. [L. Giura], *Memoria sulla disposizione* …, cit., p. 169.

[16] Cfr. ASN, P.S., fs. 691, fasc. 8587, L. Giura, *Progetto di un ponte in ferro sospeso sul Garigliano nel Regio Cammino di Roma. Memoria*, ms. 14 aprile 1828, inc. 26.

[17] Ibidem

[18] Cfr. ASN, P.S., II serie, fs. 184, fasc. I, lettera di Luigi Giura al Ministro delle Finanze, 13.5.1832

[19] Riguardo al recente restauro del ponte si veda L. Morrica, *Progetto di restauro e ricostruzione del ponte «Real Ferdinando»* ed F.M. Mazzolani, *L'alluminio ed il restauro strutturale dei ponti sospesi: il "Real Ferdinando" sul Garigliano*, entrambi in «Restauro», n. 146, 1998, rispettivamente alle pp. 5-23 e 25-55

EMANUELA GUIDOBONI

Gli ingegneri del granduca di Toscana e i terremoti del Seicento: una nota sull'eredità dell'osservare e del descrivere

Premessa: un'assonanza cognitiva perduta?

Questa nota intende mettere in luce un aspetto, forse dimenticato, che ha caratterizzato a lungo la storia dell'ingegneria edile in epoca pre-contemporanea e che forse può essere annoverato fra le radici storiche della scienza moderna del costruire, ossia la capacità di osservazione e di descrizione (in termini linguistici e/o grafici) intesa come strumento, per così dire, del mestiere.

Questa dimensione qualitativa, pressoché oggi perduta, che può forse apparire arcaica e superata, si presta, a mio parere, a qualche motivo di riflessione. L'occasione di far luce su questa eredità perduta o sottovalutata ci è data dai documenti e dalle perizie prodotte da alcuni ingegneri granducali in relazione ai danni dei terremoti del 22 marzo 1661 e dell'11 aprile 1688, di cui si dà nel seguito qualche ragguaglio specifico.

I testi qui presentati sono fra le fonti storiche di primaria importanza per conoscere gli effetti di questi due forti terremoti. Il quadro dei danni delineato dagli ingegneri granducali nell'area dei maggiori effetti è importante perchè fu rilevato da un punto di vista specifico e unitario, in grado di valutare l'importanza dei danni nei singoli edifici e di proporre interventi di riedificazione mirati: va tuttavia ricordato che non tutta l'edilizia rientrò in questa ottica, almeno fino agli inizi del Settecento, perché ci si limitava per lo più alla proprietà pubblica o a quella in qualche modo connessa.

Gli ingegneri, in questo come in altri casi analoghi, erano scelti dai provveditori generali e quindi da un potere amministrativo centrale, in quanto *esperti* ed esplicitavano tale sapere ed esperienza nella capacità di *guardare, capire, descrivere e progettare* interventi di ripristino. Tutti i processi di valutazione e di restituzione dei dati avvenivano dunque entro un universo non numerico, ossia linguistico e qualitativo, ad esclusione della quantificazione del danno monetario (per altro non sempre richiesto). Questo approccio è durato fino alla fine dell'Ottocento: abbiamo infatti ereditato un patrimonio enorme di perizie e di osservazioni tecniche sugli edifici danneggiati dai terremoti, che resta poco noto e poco utilizzato fuori dagli studi di sismologia storica. Queste fonti, a mio parere, possono essere viste anche da altri punti di vista, che forse più interessano in questa sede. Infatti, ci si può chiedere se in quell'approccio qualitativo si è perso qualcosa di quei quadri di danno e, viceversa, se rilievi equivalenti attuali, su edilizia storica e monumenti, eseguiti da ingegneri, quindi entro una cultura e una mentalità scientifiche, pos-

sano restituire quadri di danno più precisi e unitari.

Il problema si pone in termini non di competenza - argomento che non è certo qui in discussione - ma piuttosto di *assonanza cognitiva*, come ci insegnano gli epistemologi. Infatti, mentre nelle perizie del Seicento c'era omogeneità culturale fra osservatore e oggetto osservato (l'edilizia del tempo), oggi l'edificato storico e i monumenti sono oggetti sopravvissuti da epoche lontane o lontanissime, e appartengono a linguaggi costruttivi non praticati da chi li osserva. E poiché un principio della conoscenza, secondo la formulazione dell'epistemologia moderna, è proprio che "ognuno vede quello che sa", come superare concettualmente questo gap? La capacità di osservare può essere usata come uno strumento di lavoro?

L'occasione delle perizie: i due forti terremoti del 1661 e del 1688

Nell'arco di diciassette anni, nel 1661 e nel 1688, accaddero due forti terremoti in un'area dell'Appennino tosco-emiliano e della pianura romagnola. Le informazioni su questi due eventi sono qui sintetizzate dall'ultima versione del *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia*, a cui rimando per i riferimenti bibliografici completi e i parametri sismici di dettaglio[1].

Il primo terremoto avvenne il 22 marzo 1661, e colpì un'area di circa 570 kmq, compresa fra le vallate dei fiumi Montone, Bidente, Rabbi e parte della valle del Senio. Nella zona maggiormente danneggiata, su un patrimonio edilizio di circa 4.560 case, appartenenti a 15 centri abitati, 1.234 (27%) crollarono totalmente o divennero completamente inabitabili. Gli effetti furono distruttivi a Rocca San Casciano, Galeata e Civitella di Romagna. Danni ingenti, con crolli totali o parziali di abitazioni, furono rilevati in una trentina di altri paesi fra cui Meldola, Predappio, Marradi e Santa Sofia. In altre 30 località circa, fra cui Cesena, Faenza e Forlì, ci furono danni consistenti a edifici pubblici e privati. Per oltre un mese furono sentite molte repliche meno intense. Il terremoto ebbe effetti negativi su tutta l'economia locale, divisa fra attività agro-pastorale e commerci. In questa area passavano le vie che collegavano Firenze alla costa adriatica, per cui i traffici subirono un notevole calo.

Il secondo terremoto, che qui interessa, avvenne l'11 aprile 1688, ebbe una durata di circa 20 secondi, e danneggiò soprattutto la bassa pianura romagnola, che apparteneva allo stato della Chiesa. Solo una parte di paesi della montagna apparteneva al granducato di Toscana. A Cotignola le distruzioni colpirono gran parte dell'abitato: 68 case crollarono totalmente e tutte le altre furono danneggiate gravemente e divennero inabitabili; gravi danni subirono anche gli edifici pubblici ed ecclesiastici del paese. Pure a Bagnacavallo i danni furono gravi ed estesi, molti edifici di rilievo, fra cui 11 chiese con gli annessi edifici monastici, crollarono parzialmente o furono lesionate in modo grave. A Solarolo, Russi e Lugo ci furono crolli di abitazioni. Ci furono danni rilevanti in

altre 15 località, fra cui Forlì, Imola, Cesena e Ravenna.

Subito dopo il terremoto dell'11 aprile 1688, caddero piogge torrenziali. Il 27 aprile gli argini del fiume Senio si ruppero in tre punti, inondando le terre di Cotignola, Bagnacavallo e Lugo. I residenti, che dopo il terremoto si erano rifugiati in campagna e vi avevano costruito delle baracche, dovettero nuovamente fuggire: i raccolti furono distrutti e molti animali morirono. Successivamente un forte vento, che durò vari giorni, fece crollare alcune costruzioni rimaste pericolanti in seguito al terremoto.

Il contesto istituzionale dei due terremoti

Le aree colpite dai due terremoti appartenevano parte al granduca di Toscana e parte allo stato della Chiesa. I due governi, in modo indipendente e diverso, per entrambi i terremoti, cercarono di attuare una politica di intervento, che fu di efficacia diversa. Da parte pontifica si riproposero misure tradizionali, già adottate in queste circostanze: l'esenzione delle tasse camerali e la possibilità, da parte degli abbienti, di prendere a prestito del denaro per la ricostruzione, pagando come interessi le tasse camerali stesse.

Da parte del granducato di Toscana le iniziative per la ricostruzione furono invece più mirate e furono sviluppate in tre fasi: i) avere un quadro preciso dei danni subiti; ii) impedire il crollo delle economie locali, mettendo a disposizione denaro per la ricostruzione; iii) avviare le ricostruzioni delle opere pubbliche. Nelle fasi i) e iii) gli ingegneri erano direttamente coinvolti. Pochi giorni dopo il terremoto del 1661, Ferdinando II, granduca di Toscana, ordinò una *Visita* alle località colpite. Tali ricognizioni sul campo erano affidate a ingegneri o loro aiutanti, spesso accompagnati da mastri muratori. Le visite costituivano lo strumento tipico d'informazione richiesto dal potere amministrativo prima di predisporre un intervento. I periti, oltre a valutare i danni e la spesa per gli interventi di consolidamento o di ricostruzione necessari, davano anche talvolta alla popolazione dei consigli su come porre rimedio provvisorio alle case pericolanti. Per l'importanza che tale documentazione aveva per le decisioni dell'amministrazione centrale, gli ingegneri e i loro aiutanti erano accompagnati da un commissario governativo, che garantiva al governo centrale l'autenticità delle descrizioni e delle valutazioni.

Nello stato della Chiesa, sempre per lo stesso terremoto del 1661, non furono richieste perizie dei danni, solo stime complessive in denaro, che servirono per valutare la possibilità di esentare alcune tasse locali per un numero di anni diverso secondo il danno avuto.

Per quanto riguarda il terremoto dell'11 aprile 1688, nello stato della Chiesa ci furono i maggiori danni. Inoltre, se ne aggiunsero di nuovi a causa di un'inondazione. Questa sequenza di eventi distruttivi, pur in un contesto economico produttivo, come era la pianura romagnola, innescò una crisi economica, dovuta soprattutto all'emigrazione consistente di ceti produttivi. La sfiducia in una ricostruzione a breve termine indus-

se gran parte di artigiani e commercianti ad abbandonare l'area. Il papa, Innocenzo XI, cercò di impedire lo spopolamento, già verificatosi in occasioni simili, ma la disponibilità economica del bilancio dello stato pontificio, basato quasi unicamente sulle rendite fondiarie e sulle imposte fiscali, non consentì progetti di significativa portata sociale ed economica. Per quanto riguarda gli strumenti d'intervento lo stato pontificio aveva chiesto solo un semplice "ragguaglio" dei danni, dei quali sarebbe bastata una relazione *a voce*. Chiese invece una lista scritta dei cittadini benestanti, che furono obbligati alla riedificazione in misura del loro censo. L'orientamento amministrativo dello stato della Chiesa si limitò allo sgravio dei pesi camerali, non furono redatte perizie, solo stime molto generiche dei danni economici.

Per quanto riguarda l'area toscana, essa fu solo marginalmente colpita da questo stesso terremoto del 1688, tuttavia il granduca Cosimo III richiese ugualmente, come era di regola, una Visita dei danni e affidò l'incarico all'ingegnere Ferri. Sulla base di quella ricognizione, il provveditore generale alle fortezze propose poi al granduca di finanziare il ripristino non solo degli edifici militari granducali, ma anche delle case che vi stavano attorno e che più avevano subito danni.

Visite e perizie come strumenti amministrativi e tecnici

Pochi giorni dopo il terremoto del 22 marzo 1661, come si è ricordato, Ferdinando II, granduca di Toscana, ordinò una *Visita* alle località colpite: incaricato fu l'ingegnere-architetto Giovan Battista Pieratti, (Fig.1) personaggio noto



Fig. 1 - L'itinerario di Giovan Battista Pieratti, inviato dal granduca di Toscana nell'alta Romagna dopo il terremoto del 1661

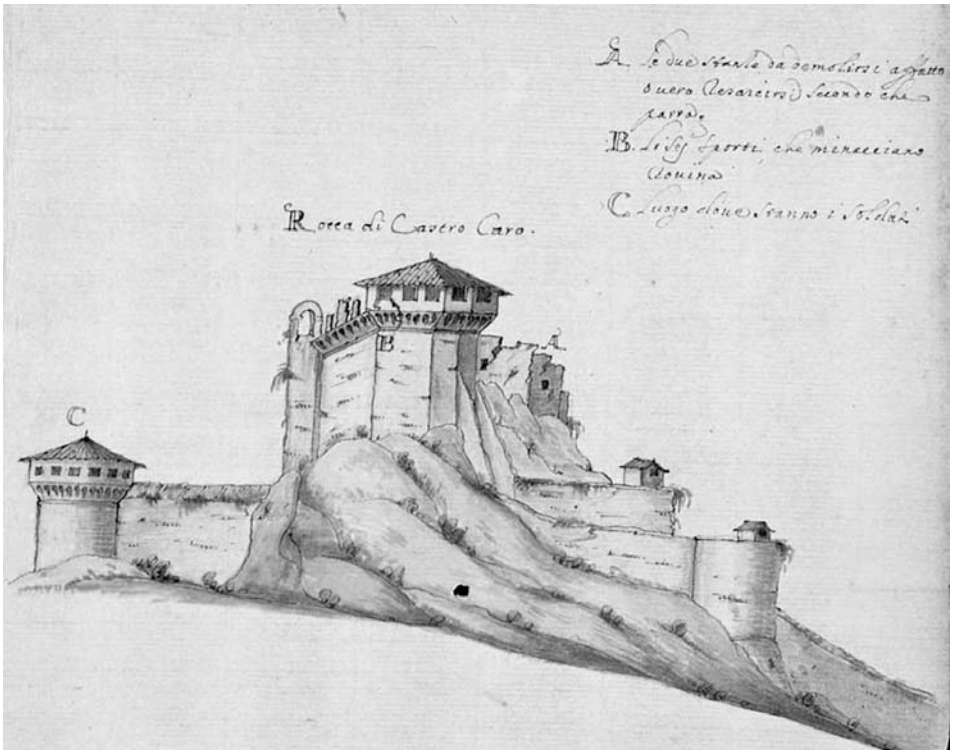


Fig. 2 – La fortezza disegnata dall'ingegnere Ridolfo Giamberti, che ne periziò i danni causati dal terremoto del 1661

nella Toscana del tempo: era nato nel 1599 e morì un anno dopo il terremoto, nel 1662. La sua Visita è scritta come un diario di viaggio, concluso il 28 marzo, giorno stesso in cui inviò la sua relazione al granduca. Il linguaggio della Visita, come si può rilevare dalla parte di testo che segue, era poco tecnica e mirava a dare della situazione un quadro complessivo e unitario, impiegando un tempo più breve possibile. Se pensiamo che non esistevano altri mezzi che la parola e il disegno per riferire i danni, non si può non ammirare e riflettere su questo sforzo. La sua relazione inizia così: "Ci partimmo di Firenze p[er] arrivare in Romagna p[er] veder le rovine, cagionate dal terremoto, e p[ri]ma.

Non sentimmo niente di rovina insino à S.Godenzo, dove era rovinato un cammino, e fatto alcune fessure nella chiesa metropolitana di non troppa considerazione, e con grande spavento de' popoli.

E di lì arrivammo a Castel dell'Alpe dove era rovinato la chiesa più di mezza, e 3 case del med[esi]mo luogo similm[en]te rovinate, et il restante delle case non si potevano abitare, et i popoli dormivano alla campagna.

Arrivammo poi à Crevalcore [ma Premilcuore] e vedemmo nel castello la

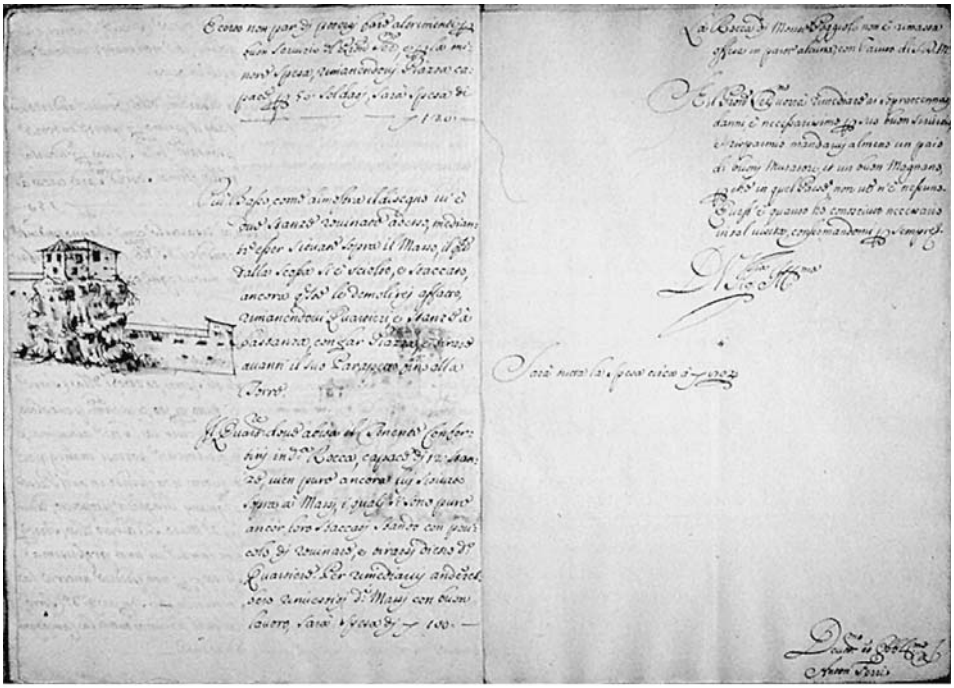


Fig. 3 – Castrocaro: una pagina della perizia dell'ingegnere granducale Antonio Ferri sui danni causati alla fortezza dal terremoto del 1688

rocca che minacciava rovina, e si era aperta in grado, che non credo si possa fare di meno di scapezzarla a una parte, acciò non faccia rovinare alcune case contigue, e fui pregato ad'arrivare alla chiesa della parrocchia p[er] vedere q[ue]llo haverei fatto, p[er]ché non rovinasse; gli dissi che facessero due catene, e lui dette ordine di comprare i ferramenti che vi bisognavano, et alcune case di d[ett]o luogo havevano patito".[2]

Il quadro generale fu poi completato da perizie specifiche: il granduca volle verificare i danni del terremoto del 1661 nelle fortezze di Castrocaro, Terra del Sole e Monte Poggiolo. Ferdinando II diede l'incarico all'aiuto ingegnere Ridolfo Giamberti, che concluse i lavori il 23 aprile 1661, un mese dopo il terremoto. La perizia, minuziosa e corredata da disegni (Fig. 2), fornisce un quadro generale dei danni e indica inoltre alcuni elementi corresponsabili del cattivo stato di conservazione degli edifici, precedente al terremoto, quali l'erosione dei fiumi, lo scolo delle acque piovane libere e i ghiacci invernali. Gli interventi segnalati come urgenti miravano per lo più a fermare un degrado già avanzato: mettere catene e travi di sostegno costituiva un intervento volto più a superare un'emergenza che a consolidare stabilmente la strutture. Secondo l'ingegnere Giamberti tali interventi non avrebbero tutelato l'edificio da ulteriori

danni e nel lungo periodo potevano rivelarsi più costosi del riattamento accurato. Il consiglio dell'ingegnere fu accolto poi da Cosimo III, succeduto a Ferdinando II: il granduca ordinò, una decina d'anni dopo, che i castelli di Monte Poggiolo e Castrocaro fossero disarmati dai materiali da guerra e sguarniti dei militari per concentrare tutto nel castello di Terra del Sole. Anche in questo caso può essere interessante conoscere direttamente almeno una parte del testo di Giamberti, che correda i suoi disegni.

"[...] Ho visitato il mastio segnato A, il quale per cagione dei predetti terremoti è restato quasi tutto scoperto ed il pilastro del mezzo che regge la tettoia è tutto aperto e mal condizionato ed i pilastri che gli sono attorno sono andati giù quasi tutti insieme col parapetto perciò sarà necessario che prontamente si deva ricoprire detto mastio con rifarci i suoi pilastri attorno e parapetti acciò l'acqua piovana non infradicino la volta che gl'è sotto con rifondare e rifare ancora a poco a poco il detto pilastro di quello, il quale in questa occasione sarei di parere che si dovesse sbassare un braccio acciò la tettoia non abbia tanto pendio e le lastre con la quale è coperta non possino ad ogni minimo vento sdrucciolare siccome del continuo fanno con molto danno de' tetti che gli sono sotto, si doverà ancora riscoprire il sotto tettoio del medesimo mastio segn. B che gli gira attorno acciò riguardi e conservi la muraglia dall'acque piovane che la spesa per fare tutti gli suddetti acconcimi si crede che ascenderà a s[cudi] trecentocinquanta in circa. Visto ancora che li corridori che girano a torno a parte del mastio se ne sono ancora loro buona parte andati in rovina come si vede nello schizzo segnato C eseguito, conviene anco questi rifargli e ricoprirgli come prima acciò mantenghino e conservino la muraglia dall'acqua con rifarvi i suoi pilastri e parapetti secondo quelli che vi sono rimasti e si farà ancora il pezzo della cortina che vi manca nel modo e forma della vecchia, la quale è circa braccia 32, che in tutto sarà una spesa di circa scudi centocinquanta – dico 150.



Fig. 4 – Terra del Sole: la chiesa di Santa Barbara come si presentava dopo il terremoto del 1688 nella perizia dell'ingegnere granducale Antonio Ferri

Un casino segnato D, che è sopra il mulino della chiesa rovinata, si doverà finire di demolire affatto per essere andato giù buona parte sì come anche il restante del parapetto o merli segnati E, acciò non venghino a rovinare sì come in breve faranno sopra le case dei quartieri segn. F con rifarvi la sua coperta



Fig. 5 – Terra del Sole: lesioni al palazzo del Provveditore causati dal terremoto del 1688 i cui danni furono rilevati nella perizia dell'ingegnere granducale Antonio Ferri

che conserva la volta che gli è sotto dall'acque che piovono e questo si farà con spesa di scudi trenta.

Necessario ancora sbassare la cortina segnato G dalla parte del fiume tagliata che per essere la metà della sua altezza tutta smossa e parte rotta si doverà demolire sino dove si vede che ha patito che sarà una lunghezza di braccia 50 e rifarla sino che venga all'altezza di braccia 12, siccome ancora rifare un [...] del tetto del torrione segnato H perché la facciata di verso la fortezza segnato M si è tutta aperta che sarebbe necessario gettare un arco che reggesse la coperta del tetto e demolire parte del muro che gli resta sotto giacché i fianchi non hanno molto patito di farlo volendo mattone sopra mattone che tanto serve e quando rimanesse arco aperto potrebbe stare, che il tutto ascenderà a spesa di scudi cinquanta.

Come si vede tutta la spesa ascende a scudi quattrocentoventicinque [...]. Ridolfo Giamberti.[3]

Dopo il terremoto dell'11 aprile 1688, il granduca di Toscana, Cosimo III, inviò nell'area danneggiata, limitata come si è detto a pochi paesi, un perito per valutare esclusivamente i danni alle fortezze. Fu l'aiuto ingegnere Antonio Ferri, (Fig.3) ad eseguire il mandato: è curioso osservare che più per scrupolo che per dovere – come egli stesso scrisse - annotò anche i danni subiti dalle case private e che necessitavano di restauri urgenti. Sulla base della perizia di Ferri, purtroppo limitata agli abitati di Terra del Sole e Castrocaro, il provveditore generale propose poi al granduca Cosimo III di finanziare anche la ricostruzione privata, recuperando i costi e permettendo ai beneficiari di rateizzare il debito contratto, secondo una consuetudine consolidata in area toscana.

Il testo che segue costituisce una parte della perizia, da cui si possono evincere la qualità descrittiva e la tipologia di interventi suggeriti: "La facciata d[e]lla Chiesa di S.Barbera (Fig. 4) si è aperta, e sgranata, ci anderebbe messo una catena lunga braccia 9, sarà spesa di s[cudi] 8. La casa dove abita il Sig. Prov[edito]re (Fig. 5) è stata scossa malamente, et ha bisogno gl'ap-p[ress]o resarcim[en]ti. La parete della cucina p[er] e[sser]e aperta, come mostra il disegno, vi anderebbe messo due catene, ma p[er] non esser nel mezzo muri capaci p[er] raccomandarvi d[ett]e catene, bisognerà pigliare da una facciata all'altra, e farle di due pezzi, con il

suo occhio doppio p[er] meglio maneggiarle, e p[er] e[sser]e sopra d[ett]a cucina una colombaia, la leverei, et abbasserei il tetto, dove si risparmierebbe una catena, e si leverebbe buona parte del muro più sgranato, sarà spesa di s[cudi] 40. La cantonata d[e]lla d[ett]a casa ci và messo una catena lunga braccia 20 p[er] tenerle assieme, essendosi aperta: sarà spesa di s[cudi] 8. In una cam[e]ra, che riesce sop[r]a l'orto, vanno palettati due trave, con i suoi bandelloni, sarà spesa di s[cudi] 3. Ho ordinato à d[ett]o sig.r Prov[edito]re, che riserri due finestre dà capo, p[er] fortificare la d[ett]a cantonata, sarà spesa di s[cudi] 2. Vanno rifatti molti archi, che si son staccati, ristuccare gli screpoli, che vi sono, rifare un cammino rovinato, rivedere il tetto, sarà spesa di s[cudi] 15. Venendo alle case di Particolari, le quali le ho numerate, nella forma, che sono: 1. Allivellata, paga l[ire] 14 annue, ci và ristuccato alcune aperture, rimesso un architrave ad una porta, rifare un cammino rovinato, rivedere il tetto, sarà spesa di s[cudi] 6."[4]

Conclusioni

La storia, in questo caso di una disciplina importante come l'ingegneria dell'edificato, consente di affinare l'esercizio critico, inteso come etica e comprensione dei processi in corso, e forse può talvolta offrire occasione per qualche riflessione.

L'edilizia storica e i monumenti testimoniano epoche lontane, che rimandano a quadri culturali sostanzialmente diversi da quello nostro attuale. Se è vero che questo patrimonio architettonico non è del tutto riconducibile ad analisi numeriche - come ci insegnano gli esperti del settore - sembrerebbe opportuno il ricorso ad altri strumenti cognitivi. Mi chiedo se l'osservazione qualitativa possa essere uno strumento da riusare e se la capacità di osservare e descrivere possa essere considerata una eredità preziosa.

Forse la consapevolezza del problema e la capacità di mettersi in relazione con la diversità storica potrebbero aprire qualche discussione, se questi elementi non fossero del tutto elusi e ignorati.

[1] Guidoboni, E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi, and G. Valensise, 2007-. *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C. – 1997) and Mediterranean Area (760 B.C. – 1500), INGV-SGA*, available at http://storing.ingv.it/cfti4med/

[2] Archivio di Stato di Firenze, *Miscellanea medicea*, reg.444, cc.112-115, Diario di etichetta (1659-1662), Relazione di Giovanni Battista Pieratti al granduca Ferdinando II sulla visita fatta nei paesi della Romagna danneggiati dal terremoto del 22 marzo 1661, Firenze 28 marzo 1661.

[3] ASF, *Capitani di parte guelfa, numeri neri, Rapporti*, filza 1073 (1661), n.46, Relazione dell'aiuto ingegnere Ridolfo Giamberti ai Capitani di parte sui danni causati nella fortezza di Modigliana dal terremoto del 22 marzo 1661, Firenze aprile 1661.

[4] ASF, *Fabbriche granducali*, filza 1928, n.65, Relazione dell'aiuto ingegnere Antonio Ferri al provveditore generale delle fortezze Ferdinando della Rena sui danni causati dal terremoto dell'11 aprile 1688 nelle fortezze di Terra del Sole, Castrocaro e Montepoggiolo, Firenze 30 aprile 1688.

MARIO COMO

Sulla storia del restauro statico della cupola di S. Pietro in Roma eseguito da Poleni e Vanvitelli

Introduzione

Le vicende storiche connesse all'intervento di consolidamento della cupola di S. Pietro in Roma, effettuato a metà del Settecento da Giovanni Poleni e Luigi Vanvitelli, sono ben note. Dopo vari anni il completamento della costruzione della cupola, avvenuta nel 1592, si cominciò a sviluppare in essa un quadro fessurativo che si aggravava lentamente nel tempo. L'allarme crebbe fin quando nel 1742 il papa Benedetto XIV decise di verificare la stabilità della cupola e di definire un possibile modo per rinforzarla. Chiese anzitutto a tre famosi scienziati, T. Le Seur, F. Jacquier, dell'Ordine dei Minimi, e R.G. Boscovich, gesuita, noti a noi come "*i tre Mattematici*", di scrivere un rapporto sullo stato della cupola. Questi avevano precedentemente edito un erudito commentario sui *Principia* di Newton. Dal loro rapporto, il *Parere*, del 1742[1], risultava che la cupola si trovava in una situazione davvero pericolosa e che erano urgenti onerosi lavori di rinforzo. Un altro rapporto fu poi da essi pubblicato, le *Riflessioni*, del 1743[1] dove altri studiosi, allarmati, presentavano anch'essi le loro preoccupazioni; altri, al contrario, ritenevano la cupola sicura. In questa controversia, Benedetto XIV decise di consultare un brillante studioso italiano, Giovanni Poleni. Questi era nato a Venezia nel 1683. Con suo padre aveva cominciato a studiare la matematica cartesiana e la nuova scienza sperimentale. Nel 1710 era stato nominato membro della Royal Society a Londra. Nel 1739 divenne professore nella facoltà di Filosofia Sperimentale all'Università di Padova e l'anno seguente inaugurò il Teatro della Filosofia sperimentale, un laboratorio per esperimenti di vario genere, tra cui quelli sulla resistenza dei materiali. Nel 1743, dopo aver ricevuto l'invito da Benedetto XIV, espresse al papa il suo convincimento che la situazione fosse molto meno pericolosa rispetto a quella prospettata dai tre Matematici. Scrisse così nel 1743 un manoscritto nel quale spiegò l'origine delle lesioni ed il modo di accrescere la sicurezza della cupola. In collaborazione con Luigi Vanvitelli, all'epoca architetto della fabbrica di S. Pietro, diresse i lavori di consolidamento della cupola. Preparò poi le *Memorie*[2], pubblicate nel 1748, dove, confutando le tesi dei tre Matematici, esprimeva un giudizio più rassicurante sull'assetto statico della cupola e sui modo di restaurarla. Commentò inoltre nelle *Memorie* i pareri di altri studiosi, tra cui quello di Vanvitelli[3] e riportò i risultati della sua analisi statica della cupola, analisi che aveva sviluppata applicando il teorema sull'equilibrio degli archi di Robert Hooke[4] del 1675, i cui ri-

sultati precorrevano di oltre 250 anni il teorema statico dell'Analisi Limite delle strutture in muratura[11,12,13]. Nell'acceso dibattito tra le diverse correnti di pensiero sulla valutazione delle effettive condizioni di pericolo della cupola e sulla definizione degli interventi di rinforzo due opposti convincimenti si erano quindi posti a confronto tra loro. Secondo il primo, sostenuto dai tre Matematici e da altre personalità dell'epoca, il crollo della cupola poteva essere imminente ed il restauro, da realizzare con urgenza, avrebbe richiesto notevoli modifiche architettoniche dell'opera. Secondo l'altro parere, sostenuto in primo luogo da Poleni, la situazione era invece meno drammatica. I cosiddetti *difetti* della grande cupola potevano essere pienamente riparati con l'esecuzione di lavori meno invasivi che non avrebbero modificato l'architettura dell'opera.

La controversia scientifica tra i diversi studiosi dell'epoca in un periodo di grandi innovazioni scientifiche, rendono ancora oggi la vicenda di grande interesse nella storia dell'ingegneria, come dimostrano anche i recenti studi in merito[7,9,14,15,16]. Oggetto del lavoro è un riesame delle varie problematiche emerse nel tentativo di contribuire a chiarire ancora alcuni punti rilevanti della questione.

Caratteristiche dell'opera e del suo stato di dissesto

La grande cupola vaticana ha una struttura ogivale a doppia calotta ed irrigidita da sedici grandi costoloni. La Fig.1 riproduce la sezione strutturale illustrata dai disegni di L.Vanvitelli riportati da Poleni[(2)]. La superficie media della doppia calotta può essere assimilata ad una cupola sferica ogivale con raggio medio di circa 30,50 m. (Fig.2).

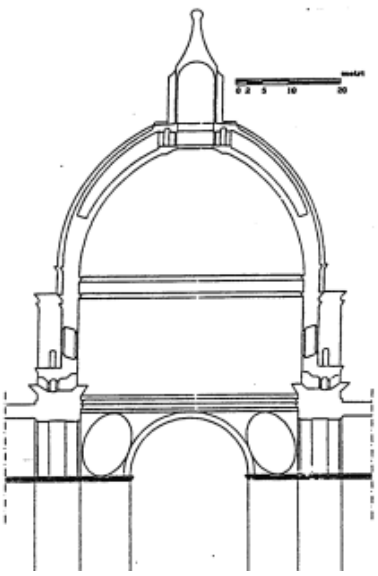


Fig.1 - Sezione della cupola (L. Vanvitelli)

Lo spessore della calotta interna è pari a 2.00 ml mentre quello della calotta esterna è di circa 1.00 ml. Lo spessore dei costoloni, disposti tra le due calotte, è variabile e varia da 2.00 ml. verso la base a circa 5.00 ml. in chiave. Il tamburo è costituito da una parete cilindrica, dello spessore di ml. 3.00 ed il cui raggio interno è di 21.42 ml, irrigidita da sedici contrafforti. In prosecuzione del tamburo è presente, prima dell'imposta della cupola, un tratto verticale di muratura costituente l'attico. Durante la costruzione della cupola due cerchiature di ferro vennero poste in opera attorno alla cupola ed incorpora-

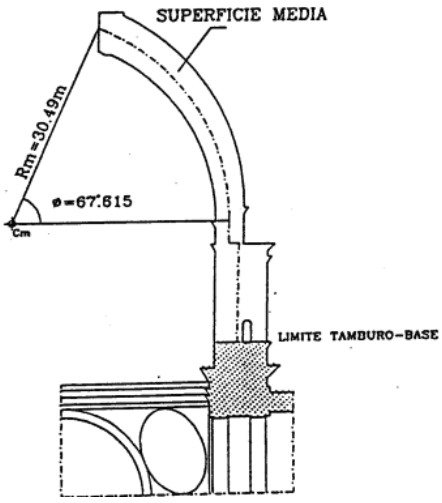


Fig.2 -Raggio medio della cupola e sezione trasversale sui costoloni

te nella muratura. Tutta la muratura delle due calotte e dei costoloni, in mattoni o in blocchi di travertino assemblati con malta di calce, venne realizzata su una grossa centinatura in legno che poggiava sul tamburo. La centinatura fu smontata solo dopo la completa costruzione della doppia calotta. Tutto il peso proprio della cupola ha così agito su un unico sistema strutturale a doppia calotta irrigidito da costolature, secondo la ricostruzione svolta da R. Di Stefano[7].

Le condizioni statiche della cupola si deteriorarono progressivamente nel tempo. A metà Settecento, come detto in premessa, circa centocinquanta anni dopo la costruzione avvenuta nel 1592, la grande cupola presentava un diffuso ed ampio stato di dissesto e vasta era l'eco che tale situazione suscitava nel mondo scientifico e tecnico di allora. Con il lento progredire della fessurazione il comportamento della cupola si allontanava gradualmente da quello membranale del rigido guscio e diventava quello della cupola spingente, divisa in spicchi dalle grandi lesioni meridiane.

Poleni riporta le numerose descrizioni ed i giudizi di vari esperti dell'epoca sul quadro fessurativo della cupola. Fra questi, incisiva è la descrizione che dà Saverio Brunetti riportata da Poleni nel libro II delle Memorie "....tutta la muraglia soggetta ai contrafforti piegata al di fuori, e d'aver seco portate tutte le colonne e contrafforti ed essersi dilatata la cupola, abbassato il lanternino, aperto e slargato il timpano..".

Tale descrizione corrisponde al quadro fessurativo rilevato da Vanvitelli tra il 1742 e il 1743 in una serie preziosadi elaborati grafici, riportati poi da Poleni nel libro II "Stato dei difetti.." delle sue Memorie e di cui la Tavola XV è rap-

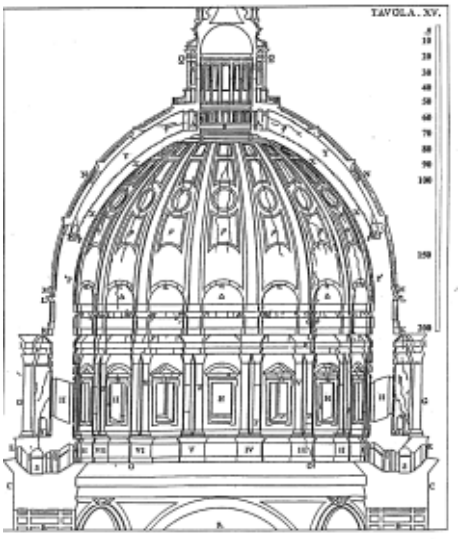


Fig.3 - Le lesioni rilevate da L. Vanvitelli

presentata in Fig. 3. In questa sono evidenti le fessurazioni meridiane visibili dall'intradosso della cupola. Non c'è, invece, nessuna informazione sulle fessurazioni probabilmente presenti aell'estradosso: la cupola esterna era infatti ricoperta da strati di piombo che non erano stati rimossi.

Le lesioni nella cupola si innalzavano a partire dal tamburo fino a quasi all'altezza dell'anello di attacco con la lanterna. Non erano invece presenti fratture circolari lungo l'intradosso della calotta interna. La continuità dei cerchi paralleli risultava quindi completamente interrotta dalla base della cupola fino all'anello superiore di sostegno della lanterna. Anche una delle due cerchiature in ferro disposte da Della Porta durante la costruzione della cupola venne trovata spezzata da Vanvitelli, come descritto da Poleni. Il quadro fessurativo risultava di notevole intensità. Poteva pensarsi che riproducesse, ma in modo incompleto, le profonde fessurazioni che si accompagnano all'innescarsi del meccanismo, riportato in Fig.4, della cupola muraria che collassa per eccesso di peso al centro e scarso contrasto alle imposte. Fortunatamente, la lesione circolare che è presente nel meccanismo all'intradosso non era invece rilevabile. Il quadro fessurativo era simile, anche se molto più intenso, a quello tipico che si riscontra nelle cupole murarie che tendono a suddividersi in spicchi per la sostanziale incapacità della muratura ad assorbire le trazioni presenti nei paralleli delle loro fasce inferiori.

I differenti giudizi espressi dai "tre matematici" e da Poleni

I tre Matematici ritenevano che la cupola si trovasse in una condizione statica davvero pericolosa. Essi intravedevano infatti l'avvio di un movimento di collasso illustrato mediante un particolare modello geometrico.

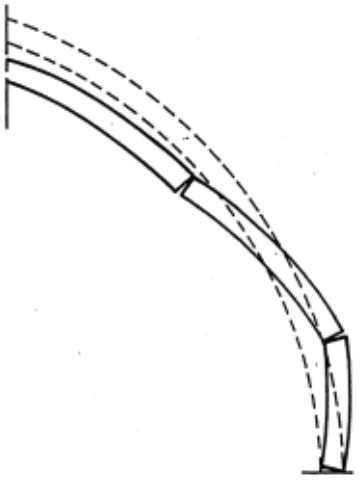


Fig.4 - Un meccanismo di collasso assialsimmetrico di una cupola muraria

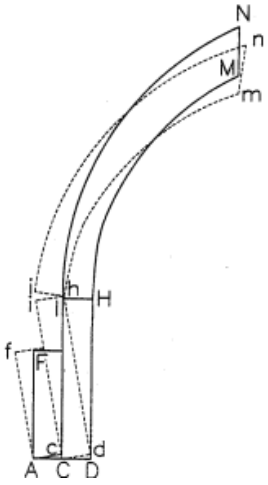


Fig.5 - l movimento subito dalla cupola secondo i tre Matematici

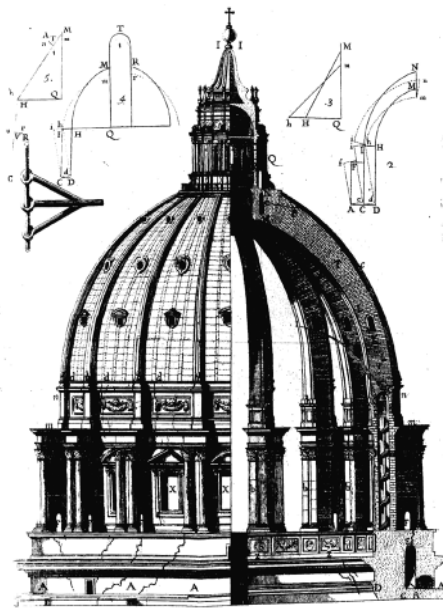


Fig.6 - Schemi della cinematica e fessurazione della cupola e del tamburo (da i tre Matematici)

Questo modello è descritto in Fig. 5 ed è stato estratto dalla Tavola del *Parere* di Fig.6. La linea orizzontale AD dello schema di Fig. 5 corrisponde al filo passante per la base del tamburo e dei contrafforti mentre il segmento Af delinea il bordo esterno del contrafforte. Secondo il movimento ipotizzato, lo spicchio di cupola HMNI ruota all'interno incernierandosi intorno H e determina la controrotazione intorno le cerniere A e C dell'attico e del contrafforte. Con gli schemi riportato in alto nella Tavola di Fig.6, i tre Matematici assimilano il movimento dello spicchio di cupola a quello di un'asta inclinata libera di scorrere, in testa, lungo un piano verticale e, alla base, lungo un piano orizzontale,

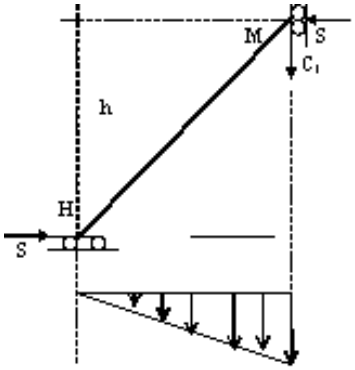


Fig.7 - Il modello dello spicchio a staffa rigida e libera di slittare (da i tre Matematici)

come riportato nella successiva Fig. 7. Essi ipotizzano che il contrafforte si comporti come distaccato dal tamburo in quanto le superfici di contatto tra contrafforte e tamburo risultavano molto debolmente connesse tra loro.C'è quindi nel *Parere* il pieno convincimento che la cupola, insieme all'attico ed al tamburo, sia stata divisa in spicchi dalle fessure meridiane e che abbia subito un movimento con l'attico e il tamburo che ruotano all'esterno e gli spicchi di cupola che controruotano all'interno. In tal modo si è prodotto l'abbassamento del cupolino e l'allargamento della cupola.

Nel 1717 Giovanni Bernoulli in una lettera a Varignon aveva per la prima volta formulato il principio dei lavori virtuali, pubblicato poi nel 1725[5]. A tale formulazione i tre Matematici si sarebbero riferiti nella valutazione dei lavori resistenti e spingenti delle forze agenti sullo spicchio per gli spostamenti prodottisi nell' ipotizzato movimento.

Con l'attivarsi del meccanismo di collasso indicato in Fig. 6, risultava che la reazione orizzontale *S* agente in H, in

grado di contrastare l'azione spingente di tutto il peso dello spicchio, doveva essere tanto elevata da non poter poi essere assorbita, come spinta, dallo spicchio di attico e dal contrafforte. Poleni non accetta tale interpretazione e non mette in correlazione tra loro la fessurazione della cupola con quelle dell'attico e del tamburo. Attribuisce invece il danno a difetti dei materiali e alla costruzione male eseguita.

Gli studi di Poleni ed i lavori di consolidamento eseguiti da Poleni e Vanvitelli

Dopo aver inviato le sue *Riflessioni,* Poleni ricevette una favorevole risposta da Benedetto XIV. In seguito a ciò Poleni giudicò necessario intraprendere un viaggio a Roma per effettuare una più accurata ispezione della cupola. Ciò servì a convincerlo che, nonostante il danneggiamento subito e benché la cupola non si trovasse in condizioni pericolose, il suo stato si sarebbe irremidiabilmente aggravato nel tempo. Questi motivi consigliarono Poleni di rinforzare la cupola mediante cerchiature di ferro, accettando quindi alcuni dei rinforzi proposti dai tre Matematici, pur essendo in pieno disaccordo con essi sulle cause del dissesto. Poleni effettuò inoltre una verifica statica della cupola, verifica dalla quale ritenne di ricevere conferma della non pericolosità della situazione.

Il procedimento seguito da Poleni in tale verifica era stato ispirato dal teorema di Hooke[4] del 1675 sul filo rovesciato il cui enunciato recita: "*ut pendet*

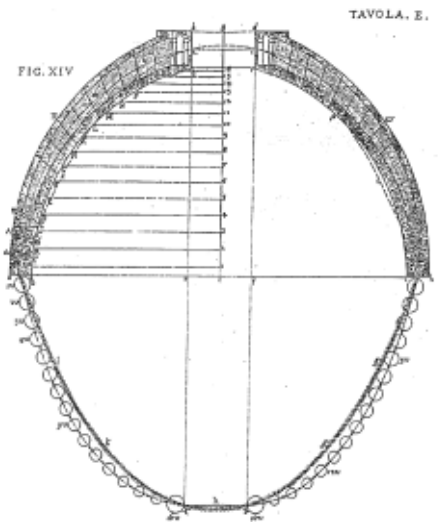


Fig.7 - La verifica statica di Poleni

continuum flexile, sic stabit contiguum rigidum inversum". Questo, come è noto, costituisce una prima formulazione, seppur limitata agli archi murari, dell'attuale teorema statico dell'Analisi Limite delle strutture in muratura.

Il procedimento seguito da Poleni consistette nel determinare anzitutto la configurazione di equilibrio di un filo sottoposto a carichi proporzionali ai pesi dei vari conci in cui aveva suddiviso lo spicchio di cupola, ottenuto questo dividendo in cinquanta parti l'intero angolo giro.

La lunghezza del filo era stata fissata in modo che le sue estremità passassero, da un lato, per il baricentro della sezione di imposta dello spicchio e il tratto centrale per il baricentro dell'anello terminale di chiave, in corrispondenza dell'innesto della cupola nel cupolino. Rovesciando la curva di equilibrio del filo così determinata, Poleni verificò che la

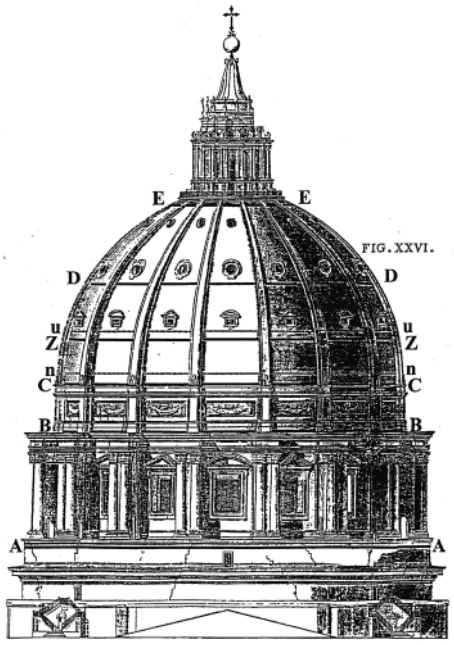


Fig.8 - I sei nuovi cerchioni in ferro disposti da Poleni ed i due preesistenti

suddetta curva era tutta contenuta all'interno dello spicchio (Fig.7). La curva delle pressioni nella cupola, pur passando in chiave ed all'imposta per il baricentro delle relative sezioni dello spicchio, si discostava però notevolmente dall'asse della cupola. In definitiva questa avrebbe dovuto avere una sagoma ancora di più ogivale. Ciononostante, l'equilibrio all'interno della cupola, che poteva sussistere in presenza di sole sollecitazioni di compressione, era ammissibile.

La grande cupola potette essere riparata e rinforzata utilizzando le valide tecniche dell'epoca sotto le attente direttive di Poleni e di Vanvitelli. I lavori di consolidamento statico consistettero nell'esecuzione di una fitta rete di sarciture e di ripresa di muratura, eseguite con la sapiente tecnica del "scuci e cuci". Vennero inoltre disposte e messe in forza intorno alla cupola, con un sistema curato dallo stesso Vanvitelli e su sua particolare insistenza[8], cinque cerchiature in ferro fucinato. Un sesto cerchione venne poi disposto nel 1748, dopo che Vanvitelli, durante i lavori di consolidamento, aveva riscontrato che uno dei due vecchi cerchioni di ferro, disposti nella cupola all'atto della sua costruzione, era risultato spezzato.

Dopo l'intervento di restauro, nei secoli successivi vennero eseguiti altri lavori di rinforzo nei contrafforti ma di minore rilevanza rispetto all'insieme dei lavori eseguiti nel Settecento. La cupola si conserva oggi in buone condizioni statiche.

Osservazioni sul modello dei tre Matematici

I tre Matematici, come già prima accennato, per interpretare il movimento verificatosi nella cupola ipotizzarono il modello a staffa rigida riportato in Fig.9. Si può riconoscere che a tale modello corrisponde una cinematica troppo semplificata: con esso, infatti, alla rotazione verso l'esterno dei contrafforti e dell'attico doveva corrispondere l'abbassamento dell'intero spicchio di cupola. L'esame del comportamento del complesso può oggi facilmente essere svolto utilizzando il teorema cinematico dell'Analisi limite delle strutture in muratura. Nella Fig. 9 è così rappresentato lo spicchio di cupola con la stessa suddivisione in cunei effettuata da Pole-

ni, ma con l'adiacente tratto di attico e di contrafforte.

Il meccanismo attivato dalla rotazione verso l'esterno dell'attico e del contrafforte deve prevedere la presenza di un incernieramento localizzato all'intradosso dello spicchio di cupola e quindi lo sviluppo di fratture circolari all'estradosso. Le parti dello spicchio di cupola poste vicino all'imposta dovranno quindi sollevarsi e determinare una riduzione del lavoro spingente. A differenza di quanto si verifica nel modello troppo semplificato dei tre Matematici, non tutti i pesi dei cunei in cui si è suddiviso lo spicchio di cupola dovranno quindi abbassarsi quando l'attico e il contrafforte si ribaltano all'esterno. Possono essere assunte varie posizioni per tale incernieramento. Se questo viene localizzato molto in basso, ad esempio nel punto V di Fig.8 e quindi in prossimità dell'imposta della cupola, tutta la parte centrale di questa ed il cupolino subiscono abbassamenti molto ridotti. Il corrispondente rapporto ρ tra lavoro resistente e lavoro spingente di tutte le forze in gioco risulta elevato, pari a circa 1.80. Il meccanismo cui corrisponde il minimo del rapporto tra lavoro resistente e lavoro spingente può essere invece determinato localizzando più in alto l'incernieramento nello spicchio di cupola. Ciò può venire effettuato considerando il cinematismo (A) della Fig. 9. In tal caso il rapporto ρ è molto più basso e risulta pari a 1.06. Tale risultato denunzia di fatto una insufficienza della geometria delle strutture di contrasto della cupola, e in particolare del tamburo e dei contrafforti.

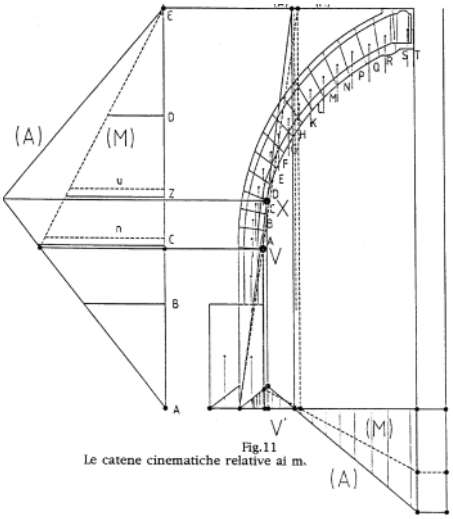


Fig.9 - Meccanismi considerati nella verifica statica della cupola

Osservazioni sull'analisi di Poleni

Lo spicchio di cupola considerato da Poleni non è completo: in esso mancano sia un piccolo tratto dell'attico che tutto il tamburo. Se Poleni avesse aggiunto alla verifica dello spicchio di cupola l'attico ed il tamburo avrebbe potuto riconoscere che la curva delle pressioni sarebbe uscita dalla muratura e che quindi non poteva realizzarsi l'equilibrio. Solo la presenza dei sedici contrafforti può infatti garantire, sia pure con margine ridotto, l'equilibrio della cupola. L'estensione del ragionamento di Poleni al sistema composto cupola-tamburo-contrafforti costituiva indubbiamente un problema più complesso per la cui soluzione la conoscenza scientifica del tempo non risultava ancora matura. Il problema infatti non risulta più piano e non è più possibile far riferimento al teorema di Hooke del filo rovesciato. La ve-

rifica di Poleni risultava quindi del tutto incompleta e non poteva essere quindi in grado di denunziare lo stato di sicurezza dell'assetto statico della cupola. Ciò può spiegare l'acceso dibattito con i "tre Matematici".

L'intervento più rilevante effettuato da Poleni e Vanvitelli è consistito nell'inserimento delle cerchiature in ferro intorno alla cupola. E' stata tale operazione a sopperire alle deficienze statiche del tamburo e dei contrafforti. E' facile valutare l'efficacia di tale intervento confrontando il lavoro resistente che si produce con la rotazione all'esterno degli spicchi di tamburo e dei contrafforti con quello dovuto alla dissipazione plastica che si produce nei cerchioni in ferro, per effetto delle dilatazioni cui tali anelli vengono sottoposti durante lo sviluppo del meccanismo. Se Rc è il raggio del cerchione e wr indica lo spostamento radiale dei punti del cerchione per il meccanismo, la deformazione lungo la circumferenza del cerchione risulta =wr/Rc. Se o è la tensione di snervamento del ferro fucinato di cui il cerchione è costituito ed Ac l'area della sezione trasversale del cerchione stesso, la dissipazione plastica Dp vale quindi

$$D_{pl} = \sigma_o A_c R_c \int_0^{2\pi} \varepsilon_\varphi \, d\phi = 2\pi\sigma_o A_c w_r$$

Secondo le indicazioni di Poleni l'area Ac della sezione trasversale del cerchione è pari ad once 3 per once 5 cioè a circa 51,9 cmq. La tensione di rottura R del ferro dei cerchioni, come determinato da Poleni, è pari a circa 4000 kg/cmq e la corrispondente tensione di snervamento o può essere assunta all'incirca pari a R/1,5 e quindi a 2667 kg/cmq. Pur tenendo conto del fatto che i cerchioni A ed E indicati in Figg.8 e 9 risultano inefficienti in quanto, per la loro posizione, non subiscono allargamento, la dissipazione plastica che si produce nei cerchioni nello sviluppo del meccanismo (M) risulta pari a circa una volta e mezzo il lavoro resistente di sollevamento dei pesi del tamburo e dei contrafforti. Valori analoghi si hanno anche per altri meccanismi.

Conclusioni

Le strutture di contrasto alla cupola, costituite dall'attico e dal tamburo, risultavano troppo deboli in relazione all'entità della spinta mobilitata dalla cupola. Con tale situazione i contrafforti, per la loro poco compatta geometria in pianta, avevano assunto un compito statico probabilmente non previsto da Michelangelo.

Le Regole di Carlo Fontana(6), che riflettono l'arte del costruire a Roma alla fine del Seicento, applicate alla cupola vaticana, mentre indicano un'altezza dell'attico che rientra nei limiti stabiliti, richiedono uno spessore del tamburo pari a 4,50 m, maggiore di quello effettivo, che è pari a 3,00 m. Le Regole del Fontana fanno però riferimento al caso dell'attico non irrigidito da contrafforti, come è invece il caso della grande cupola vaticana.

La deficienza statica del tamburo era stata ben riconosciuta dai tre Matematici, sia pure attraverso un modello cinematico troppo poco conservativo e

facilmente criticabile. Poleni fece a sua volta una verifica statica incompleta. Potrebbe sembrare quindi che Poleni non avesse compreso la scarsa consistenza del tamburo e dei contrafforti della cupola vaticana se, con L. Vanvitelli, non avesse fatto disporre intorno alla cupola ben sei cerchiature di ferro. Queste, di fatto, bloccarono la spinta della cupola e neutralizzarono quindi l'inadeguatezza del tamburo e dei contrafforti. L'intervento di consolidamento di Poleni e Vanvitelli è stato efficace e nel contempo leggero, nel senso che ha pienamente rispettato il monumento. La grande cupola vaticana mantiene così oggi la sua configurazione originaria.

Bibliografia

(1) T. Le Seur - F. Jacquier - R.G. Boscovich, Parere (Riflessioni) di tre mattematici sopra i danni che si sono trovati nella cupola di S.Pietro sul fine dell'anno 1742, dato per ordine di N.S. Benedetto XIV, Roma 1742, 1743.

(2) G. Poleni, Memorie istoriche della gran cupola del tempio vaticano e de' danni di essa, e de' ristoramenti loro, Padova 1748, Ristampa della Biblioteca Facoltà di Arch. Univ. di Roma La Sapienza, Roma 1988.

(3) L. Vanvitelli , Breve parere di N.N. 1742, riportato in G. Poleni (2).

(4) R. Hooke A description of Helioscopes, and some other instruments, John & Martin Printer to the Royal Society, London 1675.

(5) P. Varignon, Nouvelle Mécanique ou statique, Vol.2, pp.174 -189, Paris, 1725.

(6) C. Fontana, Il tempio vaticano e sua origine, Roma, 1694.

(7) E. Benvenuto, An Introduction to the History of Structural Mechanics Part II: Vaulted Structures and Elastic Systems, Springer -Verlag, New York 1981, XI, pp. 351-371

(8) R. Di Stefano, La cupola di S.Pietro - Storia della Costruzione e dei Restauri, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1980.

(9) S. Di Pasquale, L'arte del costruire, Marsilio, Venezia, 1996, IV, pp.293-396.

(10) J. Heyman, The Stone Skeleton, "Int. J. Solids Structures" 1966, 2, pp. 249-265.

(11) J. Heyman The Stone Skeleton - Structural Engineering of Masonry Architecture, Cambridge University Press, Cambridge 1995,III pp.28-46.

(12) W. Prager, An Introduction to the Theory of Plasticity, Addison-Wesley Publ., Reading, Mass. USA, 1959, III, pp. 83-84.

(13) M. Como Equilibrium and Collapse Analysis of masonry bodies, in C.R. Calladine ed. Masonry Construction, Kluwer Acad. Publ. in " Meccanica ", 1992, pp.185-194.

(14) R. Mainstone, Saving the dome of St Peter's, Construction History, Vol.19, 2003 pp. 3 - 18.

(15) M. Como "Un antico restauro statico della cupola di S. Pietro a Roma", in: C. Conforti ed., Lo specchio del cielo, Electa, Milano 1997, pp. 245 - 259.

(16) G. Lopez " Poleni's Manuscripts about the Dome of Saint Peter's", Proc. of the Sec. Int. Congr. Construction History, CHS, Short Run Press, Exeter, 2006, pp.1957 - 1979.

ENZO SIVIERO, ILARIA ZAMPINI

Eugenio Miozzi, un ingegnere tra tradizione e modernità



Fig. 1 – Eugenio Miozzi (1889-1979)

Eugenio Miozzi (Brescia 1889 - Venezia 1979) è uno dei progettisti più significativi dello scenario italiano dell'inizio del Novecento, grande tecnico che sa operare, nei trent'anni di attività come ingegnere capo dell'amministrazione veneziana, grandi trasformazioni urbane e territoriali non solo a Venezia ma nell'intera area veneta.

L'opera di Miozzi, si inserisce in un periodo di nuove esperienze e di studi intensi nel campo della progettazione determinati dall'ideazione e sperimentazione del cemento armato.

Miozzi affrontò le nuove problematiche che si presentavano con l'utilizzo del c.a. in modo ingegnoso e aperto, alcuni dei suoi ponti appaiono nei trattati e nelle recensioni dell'Italia post bellica accanto a quelli di Mörsch e Freyssinet poiché egli era riuscito a rinnovare l'arte del costruire attraverso soluzioni innovative che miglioravano il comportamento strutturale delle opere in c.a.

Il suo contributo all'innovazione dei sistemi di calcolo e ai sistemi di realizzazione dei ponti e i suoi brevetti ne fanno uno dei maggiori progettisti del tempo, non sufficientemente valutato per la portata effettiva delle sue realizzazioni.

Miozzi ha un approccio filosofico di grande modernità, che unisce ad una attenzione per il particolare costruttivo e una sensibilità particolare per l'inserimento ambientale dell'opera, testimoniò questa sensibilità progettuale nelle sue principali realizzazioni.

La sua attività di progettista di ponti si colloca principalmente nel periodo successivo alla prima guerra mondiale con le grandi infrastrutture e opere pubbliche e con la ricostruzione, come ingegnere dell'AASS, Azienda Autonoma Statale della Strada e del comune di Venezia si trovò nel vivo di quest'attività, con l'incarico di riparare e ricostruire i ponti e le vie di comunicazione distrutte durante la guerra e di adeguare le reti stradali alle nuove necessità di traffico dovute alla ripresa e alla crescita del commercio. Dopo la laurea in ingegneria civile, conseguita nel 1912 alla

Reale Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna, vinse il concorso nazionale indetto dal Genio Civile nel 1914 e si recò in Libia a Tripoli e Bengasi, dove si occupò della progettazione del piano regolatore di Tripoli, di opere civili e di numerose strade coloniali.

In seguito al congedo lavorò per il Genio Civile di Udine e successivamente di Belluno, dove ricostruì la strada nella valle del Piave tra Cima Gogna e Santo Stefano di Cadore. Con la costituzione nel 1926, della nuova provincia italiana di Bolzano, Miozzi venne promosso ingegnere capo di quell'Ufficio del Genio Civile, dove si occupò di manutenzione stradale, sistemazioni fluviali e montane, della bonifica delle aree depresse nei pressi di Merano, dell'edificazione di scuole, asili, caserme.

Dal 1928 in seguito alla costituzione dell'AASS, Azienda Autonoma Statale della Strada, l'odierna ANAS, fu a capo del Compartimento delle Province di Belluno, Trento e Bolzano. Progettò la strada del Brennero di 207 Km, con i relativi ponti, tra cui quelli sull'Isarco, a Fiè, a Fortezza, a Campodazzo, progettò le strade tra Bolzano e Merano e tra Bressanone e Brunico. Il periodo di lavoro a Belluno, con l'opera di ricostruzione dei ponti distrutti nella prima guerra mondiale, fu una palestra di prova in cui ebbe l'occasione di esercitarsi a ideare, realizzare e sperimentare i suoi metodi costruttivi innovativi di ponti.



Fig. 2 - Ponte d'Oltra sul Cismon

Le sue maggior opere del periodo a Belluno sono state: oltre al ponte di Faè sul Desedan: il ponte di Longarone sul Maè, il ponte di Ponte nelle Alpi, il ponte Gogna sul Piave ad Auronzo, il ponte Oltra sul Cismon, il ponte sul Boite a Perarolo.

Ricostruire i ponti com'erano risultò impossibile per la scarsità di documentazione e per il costo eccessivo che richiedeva la costruzione in pietra o in ferro, si optò perciò per l'uso del calcestruzzo e per la massima semplicità di forma a causa della indispensabile economia dei materiali.

In pochi anni si realizzarono nuovi assi viari con relativi ponti e viadotti e si affermano innovazioni nelle tipologie e nelle tecnologie costruttive. Le prime realizzazioni in cemento armato divennero così l'occasione per sperimentare sistemi nati per risolvere difficoltà d'uso concrete.

Miozzi si inserì in questo dibattito sulle tematiche che interessavano il mondo delle costruzioni e nel percorso di ricerca dei progettisti dell'epoca, studiandolo con attenzione e apportando il suo contributo con le sue intuizioni, alla risoluzione dei problemi del comportamento strutturale che si presentavano con l'uso del cemento armato nelle costruzioni.

Miozzi contribuì allo sviluppo della tecnica del c.a. con la messa a punto di strumenti e tecniche costruttive, brevettando sistemi per la costruzione di: pavimentazioni stradali, rivestimento di canali industriali, opere di sistemazione montana e difese fluviali in elementi in c.a., volte ondulate in laterizio, serbatoi interrati per carburanti in c.a.

Nel 1925 brevettò un flessimetro di precisione, poi adottato dalla ditta Salmoiraghi. Altra intuizione importante di Miozzi fu quella che lo portò ad inventare un metodo di calcolo per analogia che dava un errore solo di 1/100 del carico di rottura rispetto ai metodi ordinari del tempo.

All'attività di costruttore, di tecnico statale, di inventore e di imprenditore, affiancava quella di studioso. Sono infatti databili al periodo antecedente al trasferimento a Venezia le prime pubblicazioni e gli studi più importanti.

A Miozzi va il merito di aver messo a punto un sistema di precompressione precedentemente al brevetto di Freyssinet del 1928.

Miozzi realizzò i suoi ponti con lo stesso principio di introdurre tensioni preventive nell'arco adottato da Freyssinet, per creare le condizioni favorevoli ipotizzate in fase di progetto, utilizzando tecniche costruttive innovative per le costruzioni civili.

Mentre Freyssinet metteva a punto i suoi studi sulla precompressione anche Miozzi si trovò a lavorare sugli stessi problemi, si può perciò annoverare tra i primi a sperimentare la pretensione delle armature e tra i progettisti innovatori italiani che seppero ottenere le condizioni di equilibrio volute sfruttando le qualità dei componenti.

Le novità erano nell'aria in un periodo di fermento costruttivo e innovazioni tecniche, Gustavo Colonnetti aveva presentato da tempo alla comunità scientifica la sua teoria delle distorsioni, ma solo pochi personaggi più ingegnosi degli altri riuscirono a guardare oltre e ad arrivare ad elaborare dei sistemi che permisero di sfruttare a fondo le qualità statiche del materiale.

Nel 1925-26 Miozzi costruì il ponte della Vittoria sul Piave, a Belluno, interamente in cemento armato a volta unica incastrata, sorreggente con i pilastrini l'impalcato stradale, in questo ponte Miozzi ideò un procedimento analitico di rotazione dei conci dell'arco per far abbassare la linea d'asse in chiave e innalzarla alle imposte in modo di diminuire le massime sollecitazioni.

Successivamente Miozzi approntò un sistema di deformazione sistematica alternativo in cui sottoponeva la struttura ultimata a delle sollecitazioni contrarie a quelle fornite dai carichi. Alla fine degli anni Venti la ricerca di Miozzi



Fig. 3 - Ponte della Vittoria a Belluno

sulle strutture di ponte ad arco lo portò ad applicare nel ponte di Sojal e nel ponte di Grigno in Valsugana, un metodo già usato in modo empirico nei ponti in muratura, innalzando in chiave la centina per prevenire l'abbassamento della volta in fase di disarmo, la correzione dell'asse degli archi aveva lo scopo di contrastare l'azione delle sollecitazioni secondarie, ovvero le forze parassite che modificavano la curva delle pressioni all'interno dell'arco in c.a. causando effetti indesiderati.

Questo metodo consentiva di ridurre il materiale utilizzato e ottenere le condizioni di equilibrio volute sfruttando le qualità dei componenti. Con questo sistema Miozzi aveva di fatto realizzato la precompressione con un metodo diverso dal metodo indiretto brevettato da Frayssinet, che utilizzava martinetti idraulici per metter in tensione i cavi d'acciaio. Miozzi elaborò un ulteriore metodo, le lesioni sistematiche, si trattava di provocare nel ponte delle lesioni per modificare l'equilibrio delle volte e ridurre le sollecitazioni unitarie allo scopo di contrastare l'abbassamento della volta al disarmo. Si ottenevano creando delle fenditure attraverso dei cunei nelle zone soggette a maggior compressione, sovralzando la centina con tre lesioni in prossimità dell'estradosso in chiave e dell'intradosso alle imposte, che al disarmo si richiudevano in conseguenza dell'abbassamento della volta, ottenendo la lunghezza determinata in fase progettuale.



Fig. 4 - Ponte Druso a Bolzano

Nel 1931 applicò il sistema per la prima volta all'arcata centrale del monumentale ponte Druso sul torrente Talvera a Bolzano, un ponte a tre arcate in cemento armato rivestito di porfido rosa di 35,50 m. di luce. Miozzi usò questo metodo per diminuire le sollecitazioni che si sarebbero verificate a causa dell'elevato ribassamento e peso proprio dell'arcata centrale del ponte.

Era un metodo poco costoso e semplice che permetteva minori dimensioni della volta con conseguente minor peso proprio, minori spinte, pile e spalle con notevoli vantaggi economici e permettendo una luce maggiore.

Nel 1932, applicò questo sistema al ponte degli Scalzi a Venezia, con i metodi convenzionali infatti non sarebbe stato possibile costruire una volta di 40 m. con tale ribassamento.

Dal 1930 Miozzi aveva assunto la carica di Ingegnere capo del Comune di Venezia, dove realizzò le più importanti infrastrutture innovative del Novecento attribuendo alla città caratteristiche di modernità e rinnovamento.

A lui si devono il ponte della Libertà, l'isola del Tronchetto e i ponti degli Scalzi e dell'Accademia. Opere che a tutti

oggi contraddistinguono l'aspetto urbano e adempiono alla funzione di assicurare il movimento e l'accesso alla città.

Nel 1931-33 costruì il ponte del Littorio, chiamato ora della Libertà, tra Mestre e Venezia affiancandolo all'ottocentesco ponte ferroviario.

Esigenze di viabilità imposero la costruzione del ponte stradale di collegamento tra Venezia e la terraferma. Il manufatto, lungo quattro Km e largo venti metri, era prolungato con altri quattro Km per raggiungere l'abitato di Mestre.

Alla realizzazione del ponte stradale si dovevano collegare tutta una serie di interventi di accesso alla città dalla terraferma per sistemare l'arrivo automobilistico a Venezia e rendere più agevole il raggiungimento del Canal Grande da Piazzale Roma: il terminal automobilistico di Piazzale Roma, la costruzione dell'autorimessa a Sant'Andrea, una delle principali opere razionaliste di Venezia, lo scavo del Rio Nuovo, con la costruzione dei ponti in legno, in mattoni e in pietra che lo attraversano.



Fig. 5 - Ponte della Libertà in costruzione

Nel 1932-34 Miozzi costruì il ponte dell'Accademia, struttura ad arco in legno, senza pile intermedie, che subentrava al ponte Neville in acciaio, opera prevista come provvisoria e oggetto di numerosi accesi dibattiti sulla sua destinazione, non fu mai sostituita.

Dello stesso anno è la sopra citata realizzazione del ponte degli Scalzi, interamente realizzato in pietra d'Istria, che rimpiazzò il ponte Neville in acciaio. La volta è realizzata in conci di pietra senza nessun collegamento metallico, scelta dettata dal ambito monumentale in cui si trova l'opera e dal deterioramento che avrebbe subito una struttura in cemento armato sotto l'azione della salsedine marina.



Fig. 6 - Ponte della Libertà in costruzione



Fig. 7 - Ponte della Libertà



Fig. 8 - Ponte sul Rio Nuovo



Fig. 10 - Ponte degli Scalzi



Fig. 9 - Collaudo ponte dell'Accademia con la passerella Neville



Fig. 11 - Inaugurazione ponte degli Scalzi

Grande conoscitore di materiali e tecniche Miozzi riconosce l'opportunità dell'uso del legno, della muratura e della pietra rispetto al cemento armato in ambito veneziano, alterabile dalla salsedine in un ambiente marino e dove il sottosuolo è soggetto a cedimenti.

I ponti dell'Accademia e degli Scalzi avevano la funzione di definire i grandi percorsi pedonali cittadini.

Nel 1936-39 si occupò della progettazione ed esecuzione dei lavori di restauro statico, rinnovamento e ammodernamento del Teatro La Fenice e nel 1937-38 collaborò con l'architetto G. Iscra alla realizzazione del Casinò Municipale del Lido dove, data l'epoca autartica, le murature furono eseguite in mattoni e malta cementizia senza collegamenti verticali in ferro e vennero sperimentati i primi solai in laterizio senza ferro e senza fibre legnose o di amianto, il solaio della sala da gioco veniva realizzato con travature in legno a traliccio.

Attento ai problemi della salvaguardia di Venezia e delle isole della laguna e sempre presente nei dibattiti sui problemi e sullo sviluppo della città, Miozzi manifesta una costante attenzione alle opere di difesa e preservazione della città dal degrado e alla priorità degli interventi di manutenzione, si occupò della difesa dall'acqua alta, il rafforzamento

delle fondamenta degli edifici, lo scavo dei rii, la realizzazione di una rete fognaria pubblica.

Nel 1942 un piano di risanamento redatto da Miozzi prevedeva la sistemazione definitiva di Piazzale Roma, con un nuovo ponte coperto in legno sul Canal Grande verso la stazione ferroviaria, l'interramento del rio di Sant'Andrea, una rotatoria intorno all'autorimessa comunale, una nuova edificazione lungo il piazzale e aree per la sosta dei mezzi turistici.

Dopo la seconda guerra mondiale ricostruì i ponti distrutti sul Piave: il ponte della Priula, il ponte a Pagare, il ponte di Vidor, il ponte di Quero, il ponte di Busche, il ponte ferroviario di Vigodarzere sul Brenta. Ripristinò anche i ponti sul Cellina, quello di Barcis e il ponte ferroviario di Montereale.

Nel 1951 Miozzi per risolvere i problemi nel periodo della ricostruzione postbellica proponeva nuovi collegamenti stradali attraverso terrapieni, ponti di barche e piazzali d'arrivo per automobili alle Fondamenta Nuove e a Sant'Elena.

Questi studi sfociarono nel progetto del 1952 per un collegamento stradale con un'autostrada lagunare su terrapieni tra Mestre, Murano, Sant'Erasmo, Lido e Punta Sabbioni, dotata di ponti galleggianti in corrispondenza dei canali di navigazione. L'anno successivo ne propose un'ulteriore versione, subacquea con un tunnel sott'acqua. nel tratto tra l'isola del Tronchetto, le Fondamenta Nuove e l'Arsenale. Per questo progetto riprese una sua idea del 1929 di collegamento con terrapieni e strade galleggianti o ferrovie sotterranee, un progetto di strada translagunare a ponti sospesi pensato per il collegamento automobilistico di Venezia a Chioggia e Ravenna, quale completamento del ponte stradale parallelo al ponte ferroviario ottocentesco.

Il progetto prevedeva una strada lagunare che, attraverso la Stazione Marittima, l'isola della Giudecca, il Lido e Chioggia, avrebbe collegato il ponte della Libertà con la via Romea e con il litorale adriatico.

Il canale della Giudecca era attraversato tramite un ponte in cemento armato apribile e con una serie di ponti in ferro, la nuova strada proseguiva verso il Lido con un tracciato non visibile da San Marco, con ponti apribili in corrispondenza dei canali.

L'attraversamento delle bocche di porto di Malamocco e di Chioggia era previsto con ponti funicolari in ferro sul modello delle grandi strutture americane dei ponti sul Niagara, di Pittsburgh, di Brooklyn.

Nel 1966 Miozzi confermava la sua proposta con l'idea di nuovi terminal automobilistici a oriente e proponendo di realizzare il "Piazzale Trieste", un terzo piazzale d'arrivo per automobili, simmetrico a Piazzale Roma e all'isola del Tronchetto.

Il progetto di Miozzi riassume la tradizione ottocentesca di idee e progetti per i collegamenti nella città e nella laguna e la ripropone adattandola all'idea del primato del traffico automobilistico su quello ferroviario. Miozzi si riallaccia

inoltre ad un precedente progetto di Giuseppe Jappelli, analogo per arditezza, ed incisività formale e tecnica.

In occasione della costruzione del ponte ferroviario translagunare Jappelli aveva immaginato un proseguimento della linea ferroviaria lungo la Marittima con un terminale alla Dogana da cui si raggiungeva piazza San Marco superando il Canal Grande con un ponte pedonale sospeso a più campate, di cui una mobile, per consentire il transito dei battelli.

Nel periodo tra 1950 e 1960 progettò e iniziò la realizzazione della nuova isola del Tronchetto, all'estremità nord-occidentale della Stazione Marittima di Venezia, in collaborazione con il figlio Giuseppe e il genero Mario Croff.

I progetti e gli studi per l'isola del Tronchetto, si susseguiranno fino al 1976, proponendo la realizzazione di un vasto centro commerciale, garage e parcheggi sotterranei, nelle intenzioni di progetto doveva diventare un luogo di scambio di merci tra oriente e Centro Europa.

Concluse la carriera di tecnico e dirigente pubblico nel 1954 ma continuò ad occuparsi dei problemi di Venezia e della laguna, per rilanciarla economicamente e risolvere i problemi urbani: le comunicazioni, gli accessi, i parcheggi, il degrado fisico e ambientale, l'acqua alta, l'esodo degli abitanti. In collaborazione con il figlio Giuseppe, tra il 1956 e il 1966, si occupò della progettazione dell'autostrada Venezia-Monaco e del-

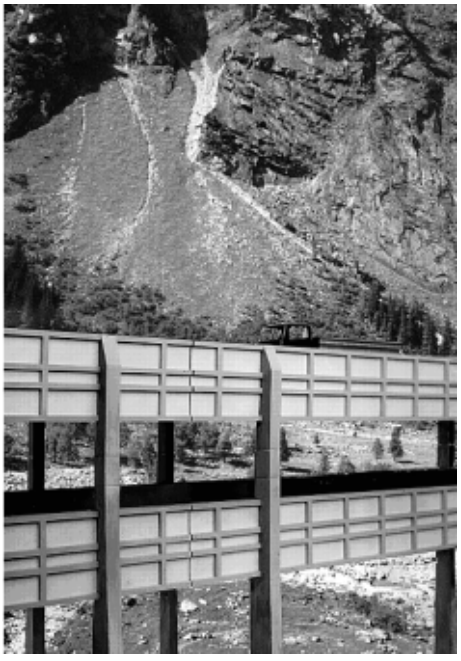


Fig. 12 - Fotomontaggio dell'autostrada a due piani Venezia-Monaco

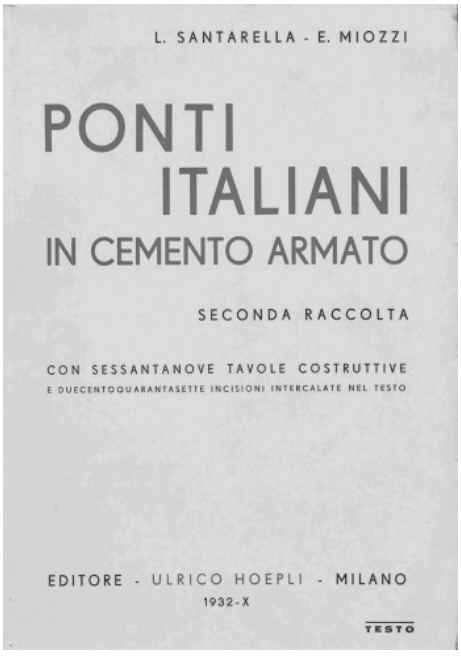


Fig. 13 - Copertina della seconda raccolta del 1932 del testo di Santarella e Miozzi

l'oleodotto transalpino, che avrebbero dovuto ripercorrere il tracciato di una linea ferroviaria proposta dopo la prima guerra mondiale, i cui lavori erano stati arrestati nel 1925.

Progetto oggetto di molte discussioni e polemiche, aveva l'intenzione di rilanciare Venezia nel suo ruolo mercantile, portuale e industriale di punto d'incontro fra l'Oriente e il Centro Europa. La nuova autostrada, a due piani sovrapposti nei tratti montani per poter essere praticabile anche d'inverno, prevedeva un percorso Venezia-Treviso-Vittorio Veneto-Perarolo-Cortina d'Ampezzo-Brunico e avrebbe raggiunto Mayrhofen, nel versante austriaco, attraverso il traforo delle Alpi Aurine sotto il Keilbach Spitz, e quindi Strass, da cui si sarebbe collegata con le autostrade austriache e tedesche esistenti o in costruzione. All'oleostrada Venezia-Monaco era strettamente collegata la proposta di realizzare il porto petrolifero e la terza zona industriale, con diretto accesso dalla bocca di Malamocco, per accogliere le navi petroliere.

Tra il 1964 e il 1968, Miozzi ripropose anche il progetto dell'autostrada per alta montagna in acciaio a due piani sovrapposti.

Tra gli anni Sessanta e Settanta Miozzi si occupò soprattutto di accorgimenti per salvaguardare Venezia dal mare, gli studi riguardano la conservazione dell'equilibrio idrogeologico della laguna e la difesa della città dalle acque alte e dallo sprofondamento con sbarramenti contro le acque alte a nord e a sud della città, nuovi sistemi di rafforzamento delle barriere a mare, tecniche per contrastare l'erosione dei litorali, interventi per ridurre l'ampiezza delle bocche di porto.

Questi progetti originarono un vasto numero di pubblicazioni sul tema della salvezza di Venezia, e furono raccolti infine nei quattro volumi di Venezia nei secoli.

Le numerose opere di Miozzi come tecnico statale delle costruzioni stradali sono documentate nella raccolta di tavole in tre volumi redatti con Luigi Santarella e editi da Ulrico Hoepli tra il 1929 e il 1931, che ben dimostrano la concezione progettuale ed esecutiva dei ponti in cemento armato, e la notevole cura per il disegno che testimonia il suo grande sapere costruttivo che non tralascia nulla.

L'archivio privato completo delle sue opere è stato affidato dai suoi eredi all'università di architettura di Venezia, ed è consultabile oggi presso l'archivio progetti dello Iuav, dopo l'attenta opera di riordino e catalogazione a cura della dottoressa Valeria Farinati, a disposizione di studenti, studiosi e professionisti che nelle realizzazioni e nella concezione etica di tale grande figura di tecnico possono trarre insegnamento riferimento ed ispirazione progettuale.

GIULIO FABRICATORE

Santo Domingo de la Calzada: l'ingegnere del Camino de Santiago

Premessa

Quanti, per ragioni le più disparate, percorrono il *Camino de Santiago*, che dai Pirenei arriva, dopo quasi 850 km, a Santiago di Compostela, trovano sul proprio percorso, circa 50 km prima di Burgos, una simpatica cittadina che (come molte altre) porta il nome di un santo: Santo Domingo de la Calzada.

A voler essere appena un po' curiosi, si apprende, con una certa sorpresa, che il nome significa, alla lettera; "San Domenico della Carreggiata". Non si ha il tempo di approfondire la strana denominazione, perché si viene subito distratti dal racconto insistito del famoso miracolo di Santo Domingo, grazie al quale, a dimostrazione evidente e spettacolare dell'innocenza di un giovane ingiustamente condannato (e impiccato), due polli arrosto, che l'alcalde stava per degustare, ritornarono in vita saltando dal piatto e riprendendo la loro solita abitudine di saltellare e chiocciare in giro.

L'intera cittadina vive all'insegna di questo miracolo (i galletti ne sono l'emblema), al punto che ad essa si fa riferimento con il detto molto popolare "*Santo Domingo de la Calzada, donde la gallina cantò despuès de asada*", ovvero: Santo Domingo de la Calzada, dove la gallina cantò dopo essere stata arrostita". Dal giorno del preteso miracolo, una parete della cattedrale (quella di fronte all'altare) riserva un posto a una preziosa gabbia che ospita (con turni di un mese) una coppia di galletti.

Per chi conosce, anche solo superficialmente la storia e le tradizioni iberiche, la vicenda del miracolo e la tradizione dei galli di Santo Domingo rientrano perfettamente in una tradizione religiosa e culturale, in un atteggiamento devozionale piuttosto diffusi in Spagna. Diamo, quindi, per scontato che la versione popolare della biografia del venerato santo sia pesantemente influenzata da un atteggiamento di ingenua venerazione, giustificata, in qualche misura, dalla grande distanza nel tempo. Una ricerca anche solo un po' più accurata consente di evidenziare, però, aspetti e "fatti" che suscitano un interesse molto concreto intorno alla figura storica di Domingo, un interesse che esorbita dallo stupore fideistico suscitato dai miracoli attribuitigli dalla credulità popolare. Il nostro santo sembra, infatti, aver avuto una vita estremamente attiva e dinamica in campi squisitamente terreni (progettazione e costruzione) che attribuiscono alla sua biografia caratteri tali da poterla iscrivere, a buon diritto, nella fase arcaica della storia "degli ingegneri".

Il contesto storico

I fatti dei quali stiamo per occuparci si svolsero ne La Rioja, una regione della

Spagna nord-orientale, prossima al fiume Ebro, "*che forma uno degli assi intorno ai quali si cristallizzò l'Europa nella quale viviamo e nella quale forse vivranno le generazioni successive*" secondo l'affermazione di Gregorio Marañón.

Un importante contributo a fare della Rioja una regione aperta, cordiale e ospitale, fusione di culture e di popoli, venne proprio dal fatto di essere attraversata dal percorso del Cammino Jacobeo, un tracciato che collega i due grandi santuari della cristianità nei quali si venerano le tombe degli apostoli: Roma e Santiago de Compostela. La leggenda di Carlo Magno attribuisce al famoso imperatore la liberazione del Camino de Santiago. Canzoni, specialmente spagnole, gli attribuiscono la sistemazione di questo stesso cammino secondo il tracciato destinato ad essere seguito da tanti pellegrini.

Linaje Conde e Charles Bishko hanno dimostrato, con il supporto di un codice scritto, nel 976, dal monaco di San Millán Eneco Garseani, che in Rioja la europeizzazione della Spagna iniziò un secolo prima che nel resto della penisola. Il confronto con la documentazione disponibile, indica che si tratta di un prezioso testimone che precede di un buon secolo le vetuste fonti storiche dei monasteri di Leyre e di Irache. E così, dunque, il Camino de Santiago rimase aperto all'intera Europa nel 950, raggiungendo l'auge in epoca romanica, conservando, tuttavia, la sua forza evocativa fino ai giorni nostri. Già nel secolo XII i monaci benedettini descrivono l'itinerario con ogni dettaglio nel famoso *Codex Calixtinus*, occasionalmente indicato anche come *Codex Compostellarum*. La prima vera guida di viaggio per i pellegrini è quella di Aymeric Picaud, nella quale, oltre a numerose informazioni su alloggi, percorsi e chiese, si parla di acque buone e cattive, di cibi, delle abitudini dei popoli e del carattere della gente. Andare da Roncisvalle o da Somport fino a Compostela (il villaggio sorto a protezione del sepolcro di Santiago scoperto nell'anno 813) significa rivivere il processo storico e artistico di un periodo in cui il Camino de Santiago era il crogiolo in cui si fusero le culture dell'intero continente europeo.

Il primitivo tracciato de la Via Jacobea, dopo l'attraversamento dei Pirenei, al suo passaggio per La Rioja e da Logroño (l'attuale capoluogo), seguiva, a grandi tratti, le vie di comunicazione allora esistenti, ripercorrendo, in particolare l'ancora agibile struttura della antica strada romana.

La storia di Santo Domingo

Il futuro santo nacque come Domenico Garcìa a Viloria de Rioja, fra Granòn e Belorado, (forse…) il 12 maggio 1019, dal contadino Ximeno Garcìa e sua moglie Orodulce. Nella sua infanzia esercitò l'attività di pastore di pecore. Della vita di Domingo Garcìa si è fatto un vero e proprio mito, al quale è stata dedicata una abbondante messe di biografie quasi sempre prive di una qualunque base fondata su una affidabile documentazione scritta contemporanea. I suoi sedicenti biografi hanno prodotto

opere che, accogliendo soprattutto luoghi comuni popolari, quando non vere e proprie leggende e favole, finiscono per appartenere alla categoria degli scritti devozionali di cui ogni religione promuove la divulgazione a scopo di edificazione dei fedeli.

Chi si dedica alla ricerca di notizie più dettagliate su Santo Domingo de la Calzada è destinato, quindi, ad imbattersi in sedicenti biografie che furono scritte, nella stragrande maggioranza, nei secoli dal XVII a XIX, con caratteri e intenti che attengono alla narrazione piuttosto che alla storiografia.

Nascono così la *Storia della vita e i miracoli di Santo Domingo de la Calzada* di Luys de la Vega (Burgos, 1606), la *Storia di Santo Domingo de la Calzada, Abrahán de la Rioja, patrono del Vescovado di Calahorra e la Calzada, e notizie della fondazione e accrescimenti della Santa Chiesa cattedrale e città nobilissima col suo nome, le sue figlie* di Joseph González de Tejada (Madrid, 1702), il *Compendio storico della provincia della Rioja, dei suoi santi e dei miracolosi santuari* di Matheo de Anguiano (Madrid, 1704); la "*Storia del glorioso Santo Domingo de la Calzada*", di Mariano Barroso (Logroño, 1887), il *Compendio della vita e dei miracoli di Santo Domingo de la Calzada e rassegna storica della sua città* di Juan Cruz Busto Senra (Santo Domingo de la Calzada, 1909), per citare solo le più note e diffuse. Solo Joaquín de Entrambasaguas nel suo *Santo Domingo de la Calzada. L'ingegnere del cielo* (Madrid, Biblioteca Nueva, 1940),



Fig. 1 - La statua del santo posta sulla facciata della cattedrale a lui dedicata a Santo Domingo de la Calzada

sfugge a questa monotonia, anche se, nella sua narrazione, finisce per allontanarsi da una condotta da storico rigoroso per deviare verso altri generi letterari. Del nostro santo si parla, inoltre, in maniera fugace in molti altri luoghi, quali gli *Acta Sanctorum*, il *Compendio storico* di Garibay, in *Anno cristiano* di Justo Perez de Urbel, e altri.

Per riuscire, però, a comprendere la effettiva personalità e la reale portata delle opere di Santo Domingo, occorre inquadrarlo come uomo del suo tempo,

dotato di molteplici capacità e talenti, dei quali certamente quello di architetto e monaco operatore di miracoli eclissa tutti gli altri. Vale la pena ricordare che visse a cavallo fra l'XI e il XII secolo, un periodo molto interessante per vari aspetti, di natura politica, religiosa, economica e sociale. Si tratta del periodo cruciale della cosiddetta "riconquista", quando, cioè, l'intero territorio spagnolo viene gradualmente e sanguinosamente ripreso ai "mori" che ne occupavano un'ampia parte da un paio di secoli. Monarchia, nobiltà e clero di Castilla y Leòn si trovano ad intraprendere l'immane compito del ripopolamento del paese. Nasce in questo periodo tutta una fioritura di città, che svolgono la loro parte nel quadro del risorgimento urbano europeo di questo secolo, figlio del risorgimento economico. Nasceranno così Jaca (1077) e Estella (1090) e si riorganizzeranno Santiago, Lugo, Sahagun, Logroño, Carrión de las Condes...



Fig. 2 - Un mosaico che raffigura Santo Domingo con la tradizionale compagnia del pollo associato al noto miracolo

Lungo le vie ormai consolidate, tra le quali spicca certamente quella del Camino de Santiago, il commercio riceve nuova linfa, mettendo in circolazione l'oro sottratto ai musulmani. In estrema sintesi, si può dire che la Spagna, benché divisa in regni diversi, si europeizza, nel senso che si pone in comunicazione con l'Europa. Da un punto di vista religioso, la Spagna volge il suo sguardo a Roma, con la quale aveva perduto ogni relazione da quando, nel secolo VIII, l'avevano invasa i musulmani. È in questo clima di fervore, favorito da una nuova floridezza economica, che si inserisce l'opera "civile" di Santo Domingo.

Il percorso del Camino de Santiago, ormai ben noto in tutta Europa e già piuttosto frequentato da una moltitudine di pellegrini, fu quasi definitivamente fissato grazie alla stabilità politica che, insieme a una certa abbondanza materiale, consentì la realizzazione di importanti opere (che oggi diremmo di ingegneria civile), essenzialmente la sistemazione della sede stradale del lungo tragitto e la costruzione di ponti (come quelli di Logroño, Ponferrada o Puente la Reina) che consentissero l'agevole attraversamento dei fiumi. L'antico tracciato del Camino andava da Nàjera, attraverso Leiva, a Briviesca. Dal momento, però, che Burgos si era trasformata nella capitale dell'appena inaugurato regno di Castilla, i pellegrini tendevano a raggiun-

gerla attraversando i Montes de Oca, passaggio quasi obbligato, infestati da temutissimi banditi. Storia e tradizione concordano sul ruolo svolto da Santo Domingo come costruttore della strada Nàjera e Redecilla del Camino, offrendo, così, una fondamentale collaborazione al notevole impegno intrapreso dai re Sancho Ramirez (in Aragona y Navarra) e Alfonso VI (in Castilla y Leòn).

All'intervento di Domingo si devono la sistemazione di questo tratto del Camino così come la costruzione di un ponte sul fiume Oja: entrambe le opere furono così significative da spostare definitivamente la via jacobea verso sud.

Dopo la morte dei suoi genitori cercò di essere ammesso nei monasteri benedettini di Valanera e San Millàn de la Cogolla, senza, tuttavia, riuscirvi. Dopo questo insuccesso si rifugiò a fare vita da eremita in una zona isolata nei boschi di quercia di Ayuela, località prossima all'attuale cittadina di Santo Domingo de la Calzada e conducendo vita contemplativa fino a circa il 1039.

Fu allora che uscì dall'isolamento del romitaggio per collaborare con Gregorio, vescovo di Ostia, arrivato a Calahorra come inviato papale per combattere la piaga delle cavallette che devastavano i territori di Navarra e Rioja. Fu Gregorio a concedergli l'ordinazione sacerdotale. Insieme costruirono un ponte di legno sul fiume Oja per agevolare il transito dei pellegrini diretti a Compostela. Dopo la morte di Gregorio, nel 1044, tornò nella zona di Ayuela e intraprese una profonda opera di colonizzazione. Disboscò foreste, dissodò terre e iniziò la costruzione di una carreggiata in pietra che comportò, come accennato prima, una deviazione del Camino tradizionale che transitava sulla via romana fra Logroño e Burgos, definitivamente spostato verso sud, fra Nàjera e Redecilla del Camino. Fu proprio per questa opera che divenne noto come "Domingo de la Calzada", ovvero *Domingo della carreggiata*.

Per migliorare ulteriormente le condizioni di viaggio dei pellegrini che avevano cominciato a usare il nuovo tracciato, sostituì il ponte di legno che aveva costruito con Gregorio con uno più robusto in pietra. A dimostrazione di una sua visione "urbanistica" nel senso più ampio, non si accontentò di questi interventi limitati: costruì un complesso dotato di ospedale, pozzo e chiesa, per venire incontro alle necessità dei viaggiatori, lì dove, ai giorni nostri, si trova la *Casa del Santo*, utilizzata ancora come rifugio dei pellegrini. Le realizzazioni a supporto dei pellegrini e dei viandanti erano particolarmente apprezzate in un'epoca in cui la viabilità era tormentosa e la sicurezza era decisamente precaria, a cagione dei molti banditi che infestavano le vie più praticate. Impadronendosi de La Rioja nel 1076, Alfonso VI di Castilla si rese conto, inoltre, che lo sviluppo del Camino de Santiago poteva contribuire al suo progetto di assimilazione della zona da poco acquisita; si fece, perciò, sostenitore del santo, delle sue opere e della sua cittadina, rendendogli visita nel 1090 e affidandogli la responsabilità di varie opere che si realizzavano lungo il Camino de Santiago.

Per incarico del re Alfonso VI, Domingo riceveva, così, sul campo, una sorta di investitura a "progettista" e "direttore dei lavori".

In questo periodo, con l'aiuto del suo discepolo Juan de Ortega (che sarebbe stato santificato anche lui), aveva già iniziato la costruzione di un tempio dedicato al Salvatore e a Santa Maria, consacrato, poi, nel 1106, dal vescovo di Calahorra. All'esterno di questo tempio il santo scelse un posto per la sua stessa sepoltura. Il borgo (chiamato Masburguete o, come si dice oggi, Margubete) di Santo Domingo de la Calzada ebbe inizio come un insieme di poche case costruite intorno all'eremo del santo nel corso della sua vita. Quando il santo morì, nel 1109, già formava una cittadina con una popolazione in crescita.

La chiesa di Santo Domingo de la Calzada, nella quale fu sepolto, fu elevata al rango di cattedrale poco dopo, quando fu trasferita qui la diocesi di Calahorra nel 1232. La grande generosità umana indusse Domingo ad affiancare alle opere che potremmo definire "strettamente tecniche" un insieme di interventi di natura umanitaria a sostegno dei bisognosi e degli infermi. Tutto ciò contribuì a rendere grande la sua fama già durante la vita e, dopo la morte, ne favorì la glorificazione, fino alla diffusione generalizzata nella credenza popolare dei suoi miracoli, il più noto e spettacolare dei quali è proprio quello già ricordato dei polli redivivi.

Sono molteplici, perciò, le ragioni per le quali Santo Domingo de la Calzada non è rimasto solo un toponimo ma è memoria viva di uno straordinario personaggio e delle sue opere: è per questo che è stato scelto quale patrono degli ingegneri spagnoli di ponti, strade e porti. Si deve pur ammettere che non è davvero di tutti i giorni il caso di un ingegnere che assurga alla santità anche per merito delle sue opere "tecniche"!

Bibliografia

E. GIL DE MURO, *Santo Domingo de la Calzada*, Ibercaja, 1993

E. MULLINS, *Il pellegrinaggio a Santiago de Compostela*, Bruno Mondadori, 2004

F. ARDITO, *Peregrinos - 33 giorni a piedi lungo il Camino de Santiago*, Touring Club Italiano, 2005



Fig. 3 - Il ponte sul fiume Oja che, nella versione moderna , ha sostituito quello costruito da Santo Domingo nel secolo XII, in uso fino al XIX secolo

AMPARO GRACIANI GARCÍA

Obras de ingeniería en el Próximo Oriente en la Antigüedad

Habitualmente se elude el papel de la ingeniería mesopotámica y la persa-aqueménide como precursora de los avances romanos. El entorno geográfico mesopotámico, marcado por el Tigris y el Éufrates, motivó que, desde el tercer milenio a.C. la inversión en grandes obras de infraestructura hidráulica, el trasvase de aguas y el cruce de los grandes ríos fueran algunas de las máximas preocupaciones de sus gobernantes, algunos de los cuales promovieron interesantísimas obras de ingeniería, en las que se fueron aplicando novedosas técnicas, y sobre las que Herodoto[1] ofrece una muy abundante información escrita, contrastable con otras fuentes como Diodoro de Sicilia[2] y con los escasos restos existentes.

Igualmente, los persas, originarios del Elam, carente de la riqueza fluvial mesopotámica, desarrollaron una avanzada ingeniería hidráulica para abastecer sus núcleos poblacionales, sus grandes palacios y capitales. La necesidad de atravesar pasos marítimos durante las Guerras Médicas, les hicieron avanzar en técnicas que contribuyeron a la fama de sus ingenieros, garantizando la transmisión de conocimientos a Occidente, proceso en el que la cultura etrusca ejercería un papel determinante como nexo entre la tradición oriental y las aportaciones romanas.

Ingeniería mesopotámica

La disponibilidad de agua en Mesopotamia dio lugar a hábitats especialmente favorables que, aunque pequeños, hicieron que desde el 10.000 a.C., en los valles de ambos ríos, en la cabecera del Golfo Pérsico, aparecieran núcleos poblacionales en los que, a partir entre el 8.500 a.C. y el 7.000 a.C., en el Neolítico, la agricultura y la ganadería fueron la principal fuente de recursos, dando lugar al nacimiento de la civilización; allí se acometieron las primeras actividades ingenieriles encaminadas al regadío y al control fluvial mediante la canalización de aguas a zonas más secas de la región, Elam y Anatolia. Para conocer estas obras es necesario cotejar los vestigios arqueológicos con las fuentes escritas, como las documentales y las descripciones periegéticas. Entre ellas, por la imparcialidad y fiabilidad de la información recogida sobre las obras públicas de Nabucodonosor, que el autor adscribe a la mítica reina Semíramis, destacan los capítulos CLXXXIV y CLXXXV del Libro I, *Clío*, de *Los Nueve Libros de la Historia* del griego Herodoto de Halicarnaso Esta información puede ser ampliada y contrastada con el propio relato del monarca y las referencias de Estrabón, Eratóstenes de Alejandría y Diodoro de Sicilia quien, en la descripción de Babilonia de su *Biblioteca histórica*, alude

a las técnicas de construcción empleadas, basándose en fuentes previas, hoy perdidas.

Los ríos condicionaron la vida y la construcción de la región, originando nuevas tipologías constructivas, como diques y terraplenes para contener las riadas que amenazaban las ciudades, y determinando la ubicación de las principales poblaciones donde fuesen fáciles de comunicar y defender de las crecidas, entre ellas la ciudad casita de Dur-Kurigalzu, sobre una alargada península caliza que la protegía del Éufrates.

Para evitar ataques se construían bajo los ríos pasajes abovedados de ladrillo cocido e impermeabilizados con betún, incluso cuando adobe era el material de construcción predominante Diodoro de Sicilia, aportaba interesantes datos dimensionales: sobre el que comunicaba el Palacio Real de Babilonia con el exterior, edificado por Nabucodonosor, vinculándolo a la reina Semiramis: "…desviando el curso hacia el Este, construyó debajo de la tierra un pasaje que iba de un palacio a otro; haciéndolo de ladrillo cocido, cubrió las cámaras abovedadas de ambos lados con betún caliente hasta que tuvieron un grosor de cuatro codos. Los muros laterales de este pasaje eran de veinte ladrillos de ancho y doce pies de alto, excluyendo la bóveda de cañón, y la anchura del pasaje era de quince pies. Cuando esta construcción se hubo terminado en sólo siete días, permitió al río volver atrás, a su antiguo cauce y, así, pasando la corriente sobre el pasaje, Semiramis podía ir de un palacio a otro sin pasar por el río. A cada extremo del pasaje había puesto puertas de bronce que permanecieron hasta época persa"[3].

Para evitar la devastación fluvial, se amurallaron ciudades, especialmente, por la violencia de su crecida, las próximas al Tigris. Ya en el Protoneolítico (h. 9.000 a.C.) se había protegido Jericó de la inundación del Jordán rodeándola de una muralla con foso, salvo por el Este donde había un manantial. En el cuarto milenio a.C. se amurallaron ciudades en defensa ante el río incluso en la Alta Mesopotamia, no inundable; como Habuba Kabira, que se extendía más de un kilómetro a lo largo de la ribera Occidental del Éufrates[4]. También era necesario proteger los campos de las imprevisibles crecidas primaverales, construyendo diques con ladrillo cocido y mortero de betún, con la técnica autóctona de insertar en la fábrica esteras de carrizo impregnadas en betún para nivelar, reforzar e mpermeabilizar las hiladas[5]. Herodoto describe cómo Semirámis construyó diques y terraplenes para contener al Éufrates y evitar que inundase Babilonia; elogiaba la grandeza de Los trabajos y cómo en diversos puntos de su cauce, se cortó la corriente del Éufrates para que "con varias vueltas, fuese menos rápida y la navegación de Babilonia más larga"[6]. El autor refiere tres obras. La primera, un pantano próximo al río, ejecutado con enormes sillares para recoger el agua de las crecidas para abastecer la población y para reducir los efectos de las riadas y almacenar provisionalmente el

caudal del Éufrates durante las obras de construcción de un puente una vez desecada la antigua madre del río: "…Hizo cortar y labrar unas piedras de extraordinario tamaño, y cuando estuvieron ya dispuestas y hecha la excavación, torció y encaminó toda la corriente del río al lugar destinado para la laguna. Mientras ésta se iba llenando, secábase la madre antigua del río… Después que con la venida del río se llenó la laguna y estuvo concluido el puente, restituyó el Éufrates a su antiguo cauce; con lo cual, además de proporcionar la conveniencia del vecindario, logró que se creyese muy acertada la excavación del pantano". Diodoro de Sicilia no referirá este pantano, pero sí el depósito que Semirámis construyó en ladrillo cocido e impermeabilizado con betún. La segunda obra referida por Herodoto fue un muro de defensa de ladrillo cocido en aquellos tramos de la ciudad que el Éufrates atravesaba, los cuales eran accesibles a la población que, ya desde la calle, cerrada las puertas, podía bajar a sus márgenes. La tercera, el puente de Babilonia.

Sistemas de almacenaje, conducción y distribución

La construcción de amplios sistemas de canales de riego desde los prolegómenos de la civilización (7.000-4.000 a.C.) alteró los modelos de asentamiento, posibilitando el desarrollo de poblaciones de secano y introducción de la agricultura en los que no recibían suficientes precipitaciones como Choga Mami. Las fuentes refieren la construcción de complejas redes de canales de riego que, ocasionalmente, sirvieron para eludir ataques enemigos, y que habían de ser cuidadosamente proyectados para obtener una pendiente adecuada para que el agua fluyera pero sin erosionar el fondo ni encenegar los canales con el légamo (cinco veces más abundante que en el Nilo; por ello, en paralelo la construcción de los canales, los reyes fomentaron su conservación, mantenimiento y limpieza, como evidencia la inscripción de la Estela de los Buitres de la III Dinastía de Ur ("Ningursu, el seños, corona de Luma es la vida del canal Prigidena"[7]) y cuidaban de que los particulares limpiaran los canales, principalmente en mayo, como indicaba el dicho babilónico: "En mayo, la arena interrumpe tu canal". Había además que evitar el derrumbamiento de los terraplenes de los canales.

Para extraer y la elevar el agua se utilizaba un sencillo dispositivo, el *shaduf*, aún en uso y probablemente remontable al tercer milenio a.C.; como se representa en un relieve asirio, muy posterior, del Palacio de Senaquerib en Nínive, era un ingenio a modo de balancín, con un cubo vacío en un extremo y en el otro un contrapeso (un cubo o un saco lleno de arcilla o escombros), que facilitaría que, una vez lleno de agua el cubo, éste se levantara y el campesino pudiera extraer el agua del canal y transportarla. Aunque muchos de estos canales han desaparecido a por las alteraciones históricas de ambos cursos fluviales, especialmente el del Éufrates, éstos pueden trazarse a partir de la

localización de los asentamientos primitivos, gracias a sus redes de canalización, que se aprecian mejor en las llanuras del Sur, así como sus bancos de escoria. Muchos de estos canales aún siguen utilizándose; el abandono de otros contribuyó a desertizar zonas que entonces fueron muy fértiles y que, según algunas descripciones de viajeros europeos, lo eran en los siglos XVIII y XIX.

Las fuentes refieren la red de canales construida por el rey Neosumerio de la Tercera Dinastía, Gudea de Lagash, que estaban cubiertos con bóvedas de cañón apuntadas con ladrillos a sardinel; el canal de Patti Enlil, que unía la ciudad casita de Dur-Kurigalzu con Sippar, del cual aún quedan restos[8], y las construidas por Hammurabi, Sennaquerib y por Nabucodonosor en Babilonia. Tras las conquistas de Uruk e Isin, Hammurabi de Babillonia, que reinó entre los años 1792 y 1750 a.C. dedicó los veinte años posteriores a la construcción de templos y canales, los últimos nueve exclusivamente a los canales, honrando a uno de estos años con el nombre de uno de ellos. Uno de los principales, fue el Canal de Arakthu, que, siglos más tarde, en 689 a.C., los asirios destruirían totalmente al tomar Babilonia. Hammurabi construyó canales con finalidad bélica; así, en el 1755 a.C conquistó Eshunna, la última ciudad de la región por hacerlo, desviando las aguas de la ciudad, como luego en 1741 a.C., su hijo y sucesor Samsu-iluna, quien desviaría las aguas del Éufrates al Sur de Babilonia para obligar a rendirse al Rey Rim-Sin de Larsa.

La importancia que esta actividad tuvo para el monarca justifica que tres decretos del Código de Hammurabi se dediquen al control del agua[9]: "Si uno, negligente en reforzar su dique, no ha fortificado el dique y se produce una brecha en él, y la zona se ha inundado de agua, ese restituirá el trigo que ha destruido (ley 53)….Si uno abrió zanja para regar, y luego ha sido negligente, si el campo limítrofe se inundó de agua y se llevó el trigo del vecino, le restituirá tanto trigo como poseía el vecino (ley 55). Si uno abrió una vía de agua y si la plantación del campo vecino resultó inundada, reintegrará al vecino 10 *gur* de trigo por 10 *gan* de superficie (ley 56)".

El asirio Senaquerib (705-681 a.C.) mandó construir un túnel de 20 km. por 2,7 m. de anchura para abastecer Erbil; las obras más emblemáticas se realizaron en Nínive, la nueva capital a raíz de la muerte de su padre (Assur-nasirpal II) una vez concluida la capital, Dur-Sharrukin. La ampliación del perímetro urbano y la construcción de quince puertas vinieron acompañadas de la desviación del curso del canal Tebiltu, cuyas aguas habían minado los cimientos del antiguo palacio. Tras rellenar el antiguo cauce, el terraplén del palacio se elevó a 914 codos por 440, alzándose hasta una altura de 190 hiladas de ladrillo.

Más ambicioso fue el plan de irrigación para abastecer Nínive, sus campos de orquídeas y jardines, el parque real, donde cultivaba plantas de las montañas de Amanu y de Caldea, la reserva natural y el parque de caza. Consistió en

construir tres canales: uno, parcialmente subterráneo, hacia Arbil; otro, de 3 m de anchura, que llevaba agua del NO a Nínive y del cual quedan algunos restos en el Este de la ciudad; de hecho, a lo largo de Jebel Faideh, a 45 km. al N de Nínive, en las laderas de la colina, se conservan muy erosionados y parcialmente enterrados, los relieves pétreos con dioses regularmente distribuidos que ornamentaban sus paredes[10]. El tercero, el de Hanusa (Bavian), un acueducto de piedra con un canal elevado, en suave pendiente de 1/8, que abastecía los campos y los jardines del Palacio Real de Nínive con agua procedente de un dique construido por Senaquerib en el río Khors, cuyo curso se regularizó. Este dique, que fue restaurado por la población local en 1979 y hoy sigue funcionando como presa; se emplaza en Shallalat, a unos 13 km. de Nínive, río arriba, cerca de Bavian (de donde tomaba el nombre), cruzando el ancho valle de Girmua (Jerwan). El dique se prolongaba con un abanico de dieciocho canales que iban a recoger entre las pendientes del Monte Muari las aguas de manantiales y arroyos; además, para atenuar la posible violencia de las crecidas del Khors, se construyó por encima de Nínive un pantano artificial plantado de cañas y poblado con aves y animales salvajes para la caza, en cuyos márgenes se plantaron árboles. Era un acueducto de cinco arcos, de 305 m. de largo y 11.9 m. de anchura, aunque en algunos puntos se llegaban a alcanzar los veinte metros. En el lecho del canal se dispuso mortero con magnesio. Se calcula que se emplearon más de dos millones de bloques, con un módulo medio de 50 x 50 x 65 cm.[11]. Se tardó tres es años y medio en construirlo, siendo ceremoniosamente inaugurado en el 691 a.C. por Senaquerib, quien dejó constancia de su autoría en una inscripción aparecida a comienzos del XX. Un incremento en las necesidades de agua hizo necesario buscar agua mucho más lejos, en la elevada región del Monte Tas, en los confines de Urartu, de modo que se pusieron diques al curso superior de un afluente del Zab y, por medio de esclusas, las aguas se derivaron hacia un largo canal del que formaba parte el célebre acueducto.

Hasta hace pocos años, esta obra de ingeniería ha sido considerada el primer acueducto de la Historia, previo al que, realizado por el griego Eupalinos en la Isla de Samos (530 a.C.) la historiografía clásica anterior a los estudios de Seton Lloyd y Thorklid Jacobsen (1935)[12] solía dar como el iniciador de esta tipología, un acueducto el de Eupalinos de más de 1 km. (3.300 pies) excavado en la roca y revestido interiormente por ladrillos. Hoy sabemos que diez años antes (701 a.C.) el rey de Judá, Ezequías, quien reinó entre el 727 y el 698 a.C., construyó en Jerusalén el aludido en la Biblia como “el tunel de Siloé”[13]. Se trata de un canal excavado a 52 m. de profundidad, de 533 m. de largo, entre 0,58 y 0,65 m. de ancho y una altura que oscila entre 1,1 y 3,4 m., con un tortuoso trazado para adaptarse a las formaciones rocosas perforadas. Fue construido para abastecer la ciudad du-

rante el asedio de Senaquerib y para impedir que los asaltantes tuvieran acceso al agua. Su canal se perforó en la roca del Valle del Cedrón (en la Colina del Ofel) para conducir el agua desde el Manantial de la Doncella, a las afueras de Jerusalén, hasta el otro extremo de la ciudad, en cuya desembocadura se construyó la alberca de Siloé. En una inscripción en un libelo de seis líneas en hebreo descubierta en 1880, y hoy en el Museo del Antiguo Oriente de Estambul, se describe el momento del encuentro de los dos grupos de trabajadores que perforaron la roca desde cada extremo del túnel y cómo las aguas iniciaron su recorrido[14].

Gracias a Herodoto, es la obra neobabilónica la mejor conocida; el autor refiere la red de diques, canales y acequias construidas al Norte del país, donde el cauce del río era recto, constituida por 180 acequias[15].

Una de las funciones de tan compleja red, fue abastecer los Jardines Colgantes de Babilonia, situados al NE el Palacio Real, una de las Siete Maravillas de la Antigüedad. Diodoro de Silicia refiere que consistían en unos potentes y largos muros paralelos, con pisos volados perfectamente impermeabilizados, con mortero de betún: "…Cuando las terrazas ascendentes habían sido construidas, se construyeron debajo de ellas galerías que soportaban todo el peso del jardín plantado y se elevaban poco a poco a lo largo del acceso una sobre la otra… Los tejados de las galerías estaban cubiertos con losas de piedra de dieciséis pies de largo, incluyendo la parte cubierta, y de cuatro pies de anchura… El techo sobre estos dinteles tenía una primera capa de cañas colocadas sobre grandes cantidades de betún; todo esto sobre dos hileras de ladrillo cocido unido con cemento, y como tercera capa una cubierta de plomo hasta la final, para que la humedad del suelo no penetrara hacia abajo; sobre todo estos se había apilado de nuevo tierra en la cantidad suficiente para las raíces de los árboles más grandes y el suelo, una vez nivelado, fue densamente plantado con todo tipo de árboles…"[16]. Para abastecer el Palacio, en sus sótanos se instaló una bomba con una cadena con cubos de modo que los del fondo subían llenos, los superiores vaciaban hacia fuera.

Pantanos y cisternas

En previsión de las sequías estivales, para almacenar el agua sobrante de las crecidas primaverales, abastecer a la población y asegurar el riego de la cosecha veraniega y los jardines palaciegos, se construyeron en Mesopotamia numerosos pantanos y depósitos así como canales de distribución y acueductos para asegurar la conducción y la distribución del agua almacenada.

Aunque en los relieves asirios del siglo VIII a.C. aparecen representados pantanos, su localización precisa no ha podido ser determinada; más información existe sobre las cisternas neobabilónicas, realizadas en ladrillo e impermeabilizadas con betún y de cubiertas abovedadas. Diodoro de Sicilia refiere el depósito de Nabucodonosor mandó construir en la nueva Babilonia, aunque

como ya hemos indicado desconocemos si esta referencia se vincula al pantano que, construido en piedra, Herodoto había referido con la triple finalidad de almacenar el agua sobrante de las crecidas, proteger la ciudad y desecar la antigua madre del río: "Después de esto, Semiramis escogió el punto más bajo de Babilonia y construyó un depósito cuadrado de trescientos estadios de largo en cada lado; construido en ladrillo cocido y de betún, con una profundidad de treinta y cinco pies" [17].

Puentes

En Oriente Próximo no existen demasiadas evidencias de la construcción de puentes, aunque se presupone que especialmente en Mesopotamia debieron existir en diversos puntos de los cauces del Tigris y el Éufrates, sobre todo, porque muchas de las ciudades de la región estuvieron atravesadas por ellos con fines defensivos.

También hay algunas evidencias del Imperio Hitita, como el puente que en Buyukkale, la ciudadela de Hattusas (la capital) prolongaba a la muralla permitiendo atravesar la garganta (*boghaz*) por la que, entre dos colinas escarpadas (*Buyukkaya* y *Buyuk-kale*) transcurría uno de los dos brazos (el oriental) del río Budakozu que formaban el promontorio donde se emplazaba la capital. Las fuentes documentales son muy pródigas sobre la construcción de los puentes de Khorsabad y Babilonia, construidos en madera y en piedra, respectivamente. El de Khorsabad (Dur Sagina) unía las dos mitades fortificadas en que la ciudad asiria se dividía, y se desarmaba por la noche, para incomunicar ambas mitades en caso de ataque enemigo.

El de Babilonia unía la mitad oriental de la ciudad, mayor y más antigua (donde se emplazaban el Santuario de Marduk y el Palacio Real), con la Occidental, que en algunos tramos llegaban a distanciarse 100 m. Herodoto refería su construcción como una de las tres medidas por las que Semiramis intentó controlar los efectos devasta-dores de las crecidas del Éufrates. Era un puente de "piedras labradas de antemano", unidas "entre sí con hierro y plomo", para evitar su oxidación como consecuencia de la penetración de agua en los intersticios y, por consiguiente, la rotura de los bloques. Indica que su piso era de madera y, que durante la noche, para evitar robos y saqueos, se desmontaba, como el puente de Khorsabad. Siglos más tarde, Diodoro de Sicilia ofrecería nuevos datos; que se había construido en el emplazamiento de máximo e-strechamiento del caudal, sus cinco estadios de longitud y una "cuidada" cimentación de doce pies de profundidad y que sus pilas tenían cinco tajamares circulares. Concretaba que las vigas del piso eran de cedro, ciprés y excepcionalmente, troncos de madera y que un amplio muelle, de ciento setenta estadios de longitud completaba el conjunto[18].

Infraestructura viaria: pistas y caminos interiores

Las comunicaciones terrestres se limitaban a pistas, practicables durante

la estación seca. Por el contrario, desde comienzos del tercer milenio a.C., ciudades como Mari o Uruk se dotaron de importantes vías procesionales de ladrillo cocido, mortero de betún, y enlosado pétreo, permanentes en algunos tramos. Por ejemplo, la Vía Sacra del Templo de Isthar en Assur (s. VII a.C.), que iba cubierta con bloques de aljez o la Vía *Air-ibur-shabude* en Babilonia, de casi un kilómetro, que pasaba por debajo de la Puerta de Isthar; siguiendo en línea recta, ésta bordeaba los palacios, el *temenos* del ziggurat y, haciendo un ángulo recto, iba a dar al puente sobre el Éufrates. En su última fase, esta Vía se debió al monarca Nabucodonosor. Se empleó un mortero al 35 % de betún, con arena y materias fibrosas.

Ingeniería elamita y persa

La escasez de recursos hídricos de la región del hizo que los habitantes del Meseta de Irán, para cultivar se procuraran agua de acuíferos distantes canalizada a través de las planicies por medio de los *qanaat* (en persa, *kariz*), unos canales de irrigación subterráneos y abiertos en la roca, de más de 40 km., que incluso atravesaban colinas. Estos canales alcanzaron su máximo desarrollo en Irán, aunque también existieron en el Norte de África (*fogarras)* y en Etruria (*cunniculi)*, tratándose de la misma solución de los tramos de *specum* romano excavados. Este tipo de canalización, más conveniente que la aérea, evitaba la evaporización y facilitaba el garantizar una pendiente adecuada al no estar condicionado por la naturaleza del terreno. Los hechiceros los trazaban aprovechando la topografía del terreno y cuidando especialmente la pendiente en el punto de conexión del canal para evitar una excesiva erosión en su base. Tallados en la roca con cinceles, se conectaban verticalmente y con regularidad por pozos de aireación, también utilizados para la extracción de material, que evitaban obstrucciones y liberar la presión del aire.

Reyes elamitas que trabajaron en la construcción de canales para abastecimiento de grandes capitales, como Untash-Napirisha (1260-1235 a.C.), que construyó un canal de 50 km de longitud para abastecer con agua del río Karkheh, al Norte de Siria[19]. a su nueva capital Al-Untash-Napirisha, enclavada en las estribaciones de una cadena de colinas de baja altura, a 1,5 km. del río Dez. El transporte de agua, a través de unos canales subterráneos, manteniendo una pendiente constante, había sido usado en Urartu (la actual Armenia); la técnica se expandería en la Alta Mesopotamia (Asiria) a raíz de que Sargón II conquistara Urartu, donde destruyó los sistemas de abastecimiento. En la Baja Mesopotamia (Caldea) el terreno de arcillas expansivas impediría la perforación de canales subterráneos, que por tanto siempre fueron aéreos.

Las principales obras corresponden al Imperio persa-aqueménide, cuyos ingenieros alcanzaron fama entre otras potencias. De hecho, nos han legado algunas de las proezas de la ingeniería más asombrosas de la Historia, grandes

palacios construyeron carreteras, puentes y canales. La primera gran obra de ingeniería persa fue la plataforma sobre la que se elevó el Palacio de Ciro en Pasargadas, una vez construidas las redes de conducción y distribución de aguas para el abastecimiento de agua de consumo y de riego de los famosos *pairithaeza* persas, jardines de diseño geométrico con canalizaciones pétreas y pilones.

Especialmente lo fueron las del reinado de Darío (521-486 a.C.). La gran plataforma del propio Palacio de Persépolis, fue una auténtica obra de ingeniería sobre la que edificaron muros de más de 18 m. de alto y 10 de espesor; exigió excavar un tremendo bancal de más de 125.000 m^2., su nivelación y la construcción de un muro de contención; para que la ciudad se viera desde lejos se construyó una terraza en la ladera.

Otras obras públicas civiles obedecían al deseo de Darío de la mejorar las comunicaciones en beneficio de la administración del Imperio o en otros casos a fines bélicos. Así, finalizó un canal desde el Nilo hasta el Mar Rojo y construyó un Camino Real entre Sardis y Susa (que Herodoto describe), con paradas de relevo, regularmente dispuestas, repitiendo el modelo asirio introducido dos siglos antes.

Durante las primeras Guerras Médicas, Darío construyó el primer puente de barcas o pontón documentado, del que Herodoto ofrece datos en su libro IV (*Melpómene*). Los pontones debieron ser muy utilizados en la Antigüedad, pero se trataba ahora de una obra de envergadura y capacidad de carga (que resistió el paso de un numeroso ejército) gracias a la flexible articulación de las barcas. El puente unía ambos extremos del Estrecho del Bósforo y su objetivo era atravesarlo con un ejército, según Herodoto, de 70.000 hombres. Se emplazaba donde se construyó el Puente *Fatih Sultan Mehmet* (conocido como el *Segundo Puente del Bósforo*). Para construir los cimientos, los barcos, alineados, se hundieron de extremo a extremo, disponiéndose sobre ellos arena prensada con el doble objetivo de secar los tablones y de reforzar su estabilidad. Sobre éste colocaron un camino. Los barcos estaban anclados, para evitar el vuelco. Según Herodoto fue realizado por Mandrocles de Samos (IX, LXXXIX)[20], siendo su construcción "generosamente pagada por parte del monarca", "a razón de diez por uno", por "…lo bien construido que le pareció".

Los ingenieros de Jerjes (485-465 a.C.) desarrollaron una solución muy similar durante la II Guerra Médica (480 a.C.) para que el ejército de casi dos millones de hombres invadiera Grecia cruzando el Helesponto. Se dispusieron 674 barcos alineados dos a dos, estabilizándolos con dos largos cables tensados; el arriostramiento de las barcas con sogas aseguraría su flexibilidad de movimiento. Sobre ellos, se dispusieron unos tableros, una plataforma y la calzada por la que llegaron a pasar hasta 240.000 hombres con sus correspondientes armaduras, monturas, quienes tardaron dos días en atravesarlo. Otra importante obra de época de Jerjes es el canal

que, para evitar que se repitiera el desastre ocurrido dos años antes, cuando la flota persa se hundió frente al Monte Atos, Jerjes hizo cavar un canal a través del promontorio, que permitió a los persas marchar victoriosos superando la oposición de los espartanos en el paso de las Termópilas.

[1] HERODOTO, *Los Nueve Libros de la Historia.* (P. Bartolomé Pou, trad.), Edad, Madrid, 1996; A. GRACIANI GARCÍA, *Aportaciones de Herodoto de Halicarnaso al conocimiento de la construcción en la Antigüedad*, "Actas del III Congreso Nacional de Historia de la Construcción", Madrid, 2000, pp. 123-131.

[2] DIODORO SÍCULO, *Biblioteca histórica, Libros I-III*, intr., trad. y notas de F. Parreu A., Madrid, Gredos, 2001.

[3] J. PITARCH et alt., *Arte Antiguo: Próximo Oriente, Grecia y Roma*, Col. Fuentes y Documentos para la Historia del Arte, Vol. I. Gustavo Gili, Barcelona, 1982, p. 67.

[4] M. ROAF, *Atlas cultural de Mesopotamia y el Antiguo Oriente Medio*, Óptima, Barcelona, 2000, pp. 29-30 y 64.

[5] A. GRACIANI GARCÍA, *Mesopotamia. Problemática y consideraciones generales para un estudio de la construcción*, Ed. aut., 1992; A. GRACIANI GARCÍA, *Una Aproximación a las Fábricas de Albañilería en Ladrillo en la Construcción Mesopotámica. el Descubrimiento de la Adherencia y la Traba*. "Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción", Cádiz, 2005, pp. 547-560.

[6] HERODOTO, I, CLXXXIV y CLXXXV; GRACIANI, 2000, pp. 457-458.

[7] M. ROAF, *Op. cit.*, pp. 29-30 y 64.

[8] J. CÓRDOBA Z., *La aventura de los casitas*, "Koiné", año I, núm. 5, p. 24.

[9] S. BERTMAN, *Canals and aqueducts, Mesopotamian*, "Handbook to Life in Ancient Mesopotamia", New York, Facts on File, Ancient History & Culture, 2003.

[10] M. ROAF, *Op. cit.*, pp. 185 y 187.

[11] A. PARROT, *Assur*, Aguilar, Madrid, 1970, pp. 228 y 229. Las medidas del acueducto, en pies son: lg. 863 p.; anch., 68 p.; alt., 28 p.; anch. del canal, 50 p. y prof. de canal 5 p.

[12] S. LLOYD y T. JACOBSEN, *Sennacherib´s Aqueduct at Jerwan*, 1935.

[13] Libro de los Reyes, Libro II, 18:17; II Libro de las Crónicas.

[14] Este acueducto fue estudiado en 2003 por un equipo de investigadores de la Universidad Hebrea de Jerusalén y la Universidad Británica de Reading.

[15] HERODOTO, I, CLXXXIV y CLXXXV; GRACIANI, 2000, p. 457.

[16] PITARCH, *Op. cit.*, p. 58.

[17] *Ut supra*, p. 56.

[18] *Ut supra*, p. 53-60.

[19] M. ROAF, *Op. cit.*, p. 143.

[20] GRACIANI, 2000, p. 459.

MARIA SIRAGO

La trasformazione dei porti e degli arsenali del Regno di Napoli nel passaggio dalla propulsione remica a quella velica

Epoca spagnola

Dal 1503, in seguito alla conquista spagnola, il viceregno napoletano, per la sua posizione geografica, divenne base di appoggio navale per le operazioni belliche mediterranee. Perciò fin dai primi anni la monarchia spagnola si preoccupò di fortificare la capitale e di creare forti basi navali, come quelle di Gaeta e Pescara, al confine, o di Brindisi, sull'Adriatico, dove poter difendere le galere della flotta regia, necessarie per la difesa del regno dagli assalti dei turchi e dei barbareschi. In breve furono riorganizzate, secondo le nuove tecniche costruttive, le fortezze dei più importanti porti, come quella di Baia, a difesa del golfo napoletano. E dopo la battaglia di Lepanto, negli anni '80, fu ricostruito l'arsenale della Capitale, necessario per l'armamento delle galere.

Questa politica di chiusura dei porti, volta alla difesa degli attacchi dei turchi e barbareschi, aveva però limitato lo scambio commerciale, reso difficile anche dal complesso apparato doganale, sia statale che feudale, tanto da suscitare un fiorente contrabbando.

Intanto da fine '500 andava mutando la tecnica di navigazione. Già nella battaglia di Lepanto un ruolo primario lo avevano avuto le galeazze veneziane, un particolare tipo di imbarcazione a propulsione mista, remica e velica.

Ed anche la Spagna dagli anni '70 del XVI secolo, per la difesa dell'Atlantico aveva allestito una flotta oceanica composta da vascelli, a propulsione velica, un nuovo tipo di imbarcazione che, chiudendo l'epoca dell'energia umana, apriva una nuova era tecnologica, cambiando totalmente il sistema di combattimento, con l'ausilio dei cannoni a lunga gittata.

Ma la Spagna, pur avendo costituito una potente flotta, detta "Grande Armada", di cui faceva parte anche la squadra delle "Galeazze di Napoli", non riu-



Fig. 1 – Napoli, arsenale e porto alla fine del '500

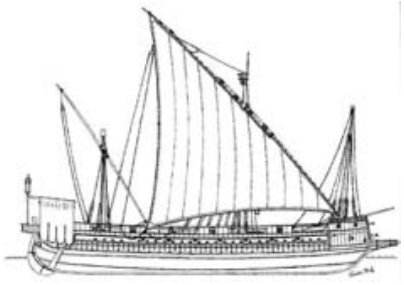


Fig. 2 – Galeazza veneziana della fine del '500



Fig. 3 – Vascello dell'Ordine di S.Stefano, 1683

scì ad opporsi agli inglesi, più evoluti nelle tecniche combattive navali, che la distrussero nel 1588. Perciò dalla fine del '500 gli spagnoli si dettero a riorganizzare l'"Armata del Mar Oceano" chiamando anche il viceregno napoletano a dare il suo contributo alla costruzione dei vascelli. Così dalla fine del '500 nei cantieri di Baia e Castellammare, gli unici adatti per i fondali profondi, iniziarono le costruzioni di vascelli ad opera dei ragusei, che avevano stipulato degli "assienti" (contratti) con la monarchia spagnola per fornire almeno 12 unità.

Invece il nuovo arsenale della Capitale, progettato sull'onda del successo di Lepanto per la costruzione delle galere, fin dall'inizio era obsoleto, perchè inidoneo alla costruzione dei nuovi tipi di imbarcazione.

Ma anche se vi era stato un certo sviluppo nelle costruzioni navali fino ai primi del 600, tutto si arrestò in seguito alla crisi economica scaturita dalle ripercussioni della Guerra dei Trenta Anni. E naturalmente tutto ciò non permise uno sviluppo della politica portuale. Nello stesso porto di Napoli a fine '500 erano state formulate varie proposte per il suo ripristino, tra cui quella di Domenico Fontana. Ma, dato il deficit continuo delle casse spagnole, si fecero solo lavori di ordinaria amministrazione. Ed anche tutti gli altri porti, come quello di Brindisi, dove era di stanza la flotta posta a difesa dell'Adriatico, decaddero sensibilmente, mentre gli scambi commerciali venivano esercitati soprattutto da mercanti stranieri, che fondarono delle vere e proprie colonie nei principali porti. Unico lavoro di rilievo fu la costruzione della darsena nella Capitale nella seconda metà del '600, necessaria per la flotta napoletana di vascelli di alto bordo, da unire alla "Armata del Mare Oceano", allestita da Andrea d'Avalos, principe di Montesarchio, che aveva firmato un "assiento" con la monarchia spagnola per la sua costruzione.



Fig. 4 – G.van Wittel, Darsena di Napoli, fine XVII - inizi XVIII sec.

Epoca austriaca

All'arrivo degli austriaci il Regno si trovava in una profonda crisi economi-

ca e sociale; perciò una delle prime richieste della cittadinanza fu quella di creare un porto franco a Salerno, sede di una importante fiera, dove accorrevano molti stranieri, specie inglesi, e di creare una potente marina mercantile in modo da fare concorrenza agli inglesi e olandesi, padroni del Mediterraneo. Inoltre si chiedeva il ripristino della flotta e delle fortificazioni, in modo da difendere il regno dagli assalti nemici. Fu perciò deciso di migliorare le funzionalità dei porti, soprattutto quello della capitale, per il quale l'ingegnere Giuseppe Stendardo propose di prolungale il molo fino alla Torre di San Vincenzo; ma dato l'alto costo (350.000 ducati) il progetto non venne attuato.

Però tra il 1716 ed il 1731 furono eseguiti molti lavori nel porto di Castellammare di Stabia per prolungare il molo e creare un braccio sporgente verso la città, con una spesa di 3608 ducati. Ma la proposta per Salerno non fu messa in esecuzione, forse perché il governo temeva una diminuzione del commercio della capitale. Invece sull'Adriatico si progettò il ripristino del porto di Brindisi ed un potenziamento del porto canale di Pescara. Inoltre, dopo l'apertura dei porti franchi di Trieste e Fiume, fu organizzato un servizio marittimo tra Trieste e Manfredonia. Nel contempo ferveva il ripristino della flotta e della marina mercantile.

In effetti rispetto al periodo spagnolo si ebbe un rovesciamento d'intenti. Dalla "difesa passiva", affidata al sistema di torri e fortificazioni, sistema alquanto inefficace anche per i mutamenti delle tecniche belliche, con i cannoni a lunga gittata, si voleva passare ad una "difesa attiva", con un sistema portuale ben organizzato, un potenziamento dei commerci mutuato sul modello inglese ed olandese, con l'ausilio di porti franchi e la valorizzazione del mare Adriatico, e la riorganizzazione della flotta. Ma il breve periodo del dominio austriaco non permise l'attuazione delle proposte formulate dai ministri, in primis quelle di Federico Valignani, riprese nella prima età borbonica.

Prima età borbonica (1734-1806)

All'arrivo di Carlo di Borbone la situazione economica, politica, sociale cambiò radicalmente. Furono riprese le proposte formulate in epoca austriaca e si cercò di introdurre le teorie mercan-

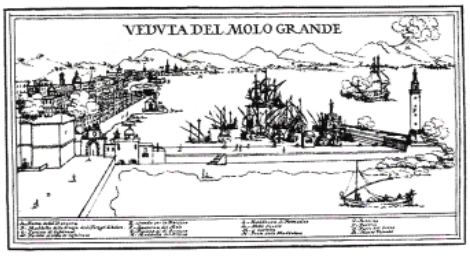


Fig. 5 – F. Cassiano, Molo di Napoli, da Silva, fine XVII - inizi XVIII sec.

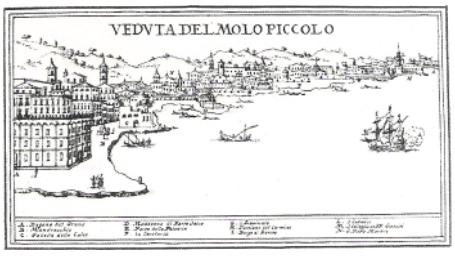


Fig. 6 – F. Cassiano, Molo di Napoli, da Silva, fine XVII - inizi XVIII sec.

tilistiche diffuse in Europa. In particolare si decideva di riorganizzare i porti, non più chiusi a difesa del territorio, come in epoca spagnola, ma aperti al commercio con l'Europa, con gli stati mediterranei e talvolta anche con le Americhe. A tale scopo si proponeva di creare scale franche, ridurre i dazi, costruire in ogni porto lazzaretti per lo "spurgo" delle merci provenienti dal Levante, costruire compagnie di commercio, concedere permessi per armare "in corso", come si usava nelle altre marine europee, in una parola di riorganizzare il settore economico del Regno.

Per riorganizzare il sistema portuale fu creata una "Soprintendenza dei Porti e Moli del Regno", che doveva provvedere a redigere i progetti per i nuovi porti. La costruzione fu affidata ad apposite Giunte soggette al controllo della Segreteria di Guerra, sotto la supervisione dell'ingegnere Giovanni Bompiede, capitano del porto della Capitale, e del generale della flotta Michele Reggio

Le prime costruzioni iniziarono a Napoli dove, tra il 1739 ed il 1743, fu restaurato il molo e ricostruito un nuovo braccio per il porto della flotta regia; nel contempo fu sistemato il Molo piccolo, o Mandracchio, dove si ormeggiavano le navi mercantili; inoltre, secondo un progetto dell'ingegnere Bompiede, furono costruiti l'edificio per la "Deputazione della Salute" ed altri edifici necessari al commercio marittimo, un fortino, una costruzione per il corpo di guardia e l'abitazione del capitano del porto alla punta del molo.

Lo stesso 1739 cominciò la sistemazione dei porti pugliesi di Taranto, Gallipoli e Trani, e due anni dopo veniva costruito un nuovo lazzaretto nel porto di Brindisi; nel 1745 vennero eseguiti lavori nel porto di Manfredonia; nel 1750-51 iniziarono i lavori per sistemare il porto di Barletta. Poi nel 1752 iniziò la sistemazione dei porti di Salerno, necessario per le navi che partecipavano alla fiera, e di Crotone, importante porto granario della Calabria. Lo stesso fervore costruttivo si ebbe anche il Sicilia, dove vennero ripristinati i principali porti, Agrigento, Messina, Marsala, Palermo.

Tutto ciò favorì un incremento della marina mercantile, grazie anche a delle franchigie per la costruzione. E per regolamentare i commerci esteri e regnicoli nel 1751 fu organizzata una "Real Compagnia di Assicurazioni Marittime".

Durante la "Reggenza" di Bernardo Tanucci si cercò di attuare le proposte formulate all'epoca di Carlo dagli illuministi napoletani, compendiate da Giovanni Battista Maria Jannucci, Presidente del Supremo Magistrato di Commercio dal 1763, nel suo inedito trattato di economia. In particolare egli chiedeva una sistemazione delle norme del "porto franco" per la Capitale, visto che i capitoli emanati favorivano solo gli stranieri. Nel contempo si ebbe il massimo sviluppo delle costruzioni portuali: l'ingegnere Bompiede progettò la riorganizzazione del polo sanitario di Nitida, con un lazzaretto, mentre iniziavano lavori nel porto di Brindisi e continuava-

no i lavori nei porti di Salerno, Crotone, Bari, Trani Barletta.

Nei primi anni del regno di Ferdinando i ministri che attorniavano il giovane principe dettero ulteriore impulso allo sviluppo economico, mentre veniva ampliato il commercio, anche con nazioni lontane come la Svezia, la Russia, le Americhe. Intanto nel 1779 era stato nominato Direttore della Segreteria di Marina John Acton, che dette un nuovo slancio alla marineria, facendo risistemare l'arsenale della Capitale ed edificare un cantiere a Castellammare per la costruzione dei vascelli a 74 cannoni, su modello francese.

Nel contempo il ministro faceva riorganizzare le scuole nautiche della Capitale e di Piano di Sorrento, create nel 1770, necessarie per istruire i marinai, ormai impegnati in viaggi lontani per i quali non bastavano più i saperi tramandati di padre in figlio ma erano necessarie specifiche nozioni tecniche e scientifiche.

In pochi anni Acton riuscì a creare una numerosa flotta, facendo potenziare il porto di Brindisi, che doveva ospitarla. Nel contempo continuavano i lavori nei principali porti, Salerno, Crotone, Bari, Barletta, testimoniati dai dipinti di Philiph Hackert, conservati nella reggia di Caserta. Ma, malgrado i lavori fatti, non si riuscí a risolvere il problema dell'interrimento, per la mancanza di conoscenze tecniche. Ed anche la flotta, oggetto di amorevoli cure da parte di Acton, venne distrutta per ordine del sovrano alla fine del 1798, mentre egli fuggiva in Sicilia con la corte.

Anche durante la Repubblica partenopea del 1799 si provvide solo a riorganizzare le fortificazioni poste nei porticcioli del golfo e della capitale, dove furono costruite batterie, ma il breve periodo repubblicano non permise interventi capillari.

Al ritorno di Ferdinando il regno diventava una provincia conquistata, per cui le rendite statali non bastavano più, mentre i lavori pubblici venivano abbandonati. Intanto, col trattato di Firenze, la Francia aveva acquisito il diritto di tenere guarnigioni nei porti pugliesi più



Fig. 7 – Castellammare di Stabia: varo del vascello Archimede (A.L.R.Ducros, Losanna, Museo Cantonale)



Fig. 8 – Battaglia fra navi angloborboniche e repubblicane nel canale di Procida, 1799 (S. Della Gatta, Napoli, Museo di S.Martino)

importanti, Brindisi, Otranto, Taranto, per tutta la durata del conflitto anglo francese. In effetti l'interesse di Napoleone era volto a ristabilire l'equilibrio in Mediterraneo, disturbato dall'occupazione inglese di Malta. Perciò si preoccupò subito di potenziare il porto di Taranto, dove cominciò a far costruire una potente base navale, da utilizzare per la sua flotta, necessaria per la campagna d'Egitto. Inoltre prevedeva un ripristino dell'antico arsenale, che doveva diventare uno dei capisaldi italiani, insieme a quelli di La Spezia e Venezia. Perciò nel 1801 fece occupare il porto dove, a spese del governo borbonico, istituì un arsenale di artiglieria, organizzando la rada, in completo abbandono a fine '700. Nel contempo a Crotone, dove fin dal 1797 erano stati progettati dei lavori per eliminare i problemi di interrimento, tra il 1800 ed il 1805 si scavò il porto, ma all'arrivo dei Francesi i lavori furono interrotti. Ed simili lavori furono effettuati anche ad Ortona, in Abruzzo Citra.

Entrato trionfalmente a Napoli il 15 febbraio 1806, Giuseppe Bonaparte ebbe subito l'ordine da Napoleone di potenziare il porto della capitale per adeguarlo alle esigenze militari, visto che gli inglesi avevano occupato l'isola di Capri. Inoltre si recò a Taranto per ispezionare i lavori e visitare le fortificazioni, in modo da esaminare la possibilità di rendere il porto una potente base navale. E tale visita fu ripetuta l'anno seguente per analizzare lo stato dei lavori.

Ma in generale durante il periodo francese gli interventi di miglioramento

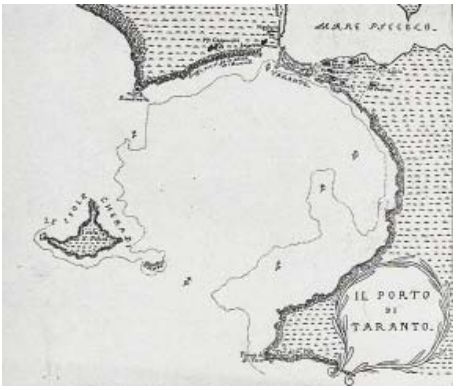


Fig. 8– Porto di Taranto 1807, dall'"Atlante del Pacelli", in F.A.FIADINO

dei porti ebbero una battuta di arresto, visto che i francesi erano interessati alle fortificazioni militari dei bacini portuali, specie quelli di Gallipoli (importante porto oleario), di Brindisi (unico capace di ospitare la flotta in Adriatco) ed al potenziamento degli arsenali.

Anche Gioacchino Murat perseguì una simile politica. In primo luogo poco dopo il suo arrivo, il 4 ottobre 1808, riuscì a riconquistare Capri con l'ausilio della flotta da poco ricostituita, posta al comando degli antichi "allievi" dell'ammiraglio Francesco Caracciolo.

Nel contempo lo stesso 1808 istituì il "Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade", su modello di quello francese, creando nel 1811 la "Scuola di Applicazione", una scuola per ingegneri, a cui, tra l'altro, fu affidato lo studio delle strutture portuali e del loro ripristino, in primis quelle della Capitale.

Ma i francesi erano interessati maggiormente alle strutture militari, per cui con decreto del 17 giugno 1809 l'organizzazione generale dei porti, sia militari che commerciali, fu affidata al Mini-



Fig. 9 – Napoli, Darsena, 1808-1815 c., Biblioteca Nazionale, Napoli, Carte Geografiche, Ba 28/6

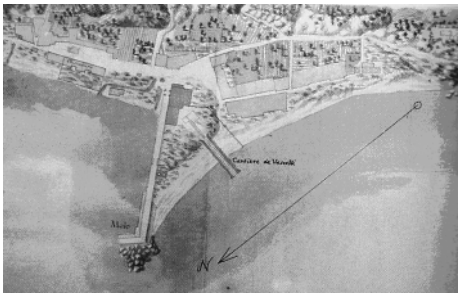


Fig.10 – Castellammare, arsenale, inizi '800, in A.Formicola-C.Romano, Il periodo borbonico

stero di Guerra e marina e l'esecuzione degli interventi al genio militare Tra il 1809 ed il 1814 furono redatti vari progetti per i porti e per i lazzaretti del regno. In particolare si fecero interventi nel bacino flegreo, specie a Nisida, dove l'ingegnere Giuliano de Fazio ebbe ordine di progettare il nuovo lazzaretto per quello che doveva diventare il polo di espansione della Capitale, e nel porto di Pozzuoli, dove lo stesso ingegnere progettava di restaurare gli antichi archi romani, utilizzando il sistema del "molo a trafori". Ma, data la mancanza di fondi, dei lavori iniziarono solo a Crotone.

Nel contempo 1812 si progettava di ampliare il cantiere navale di Castellammare con la costruzione di tre scali su cui poter costruire contemporaneamente tre vascelli secondo i nuovi modelli francesi.

Secondo periodo borbonico (1815-1861)

Al suo ritorno Ferdinando continuò a seguire la politica murattiana, mostrandosi disponibile ad adottare il carattere commerciale del suo "piano generale", che prevedeva la possibilità di creare un porto franco ed un lazzaretto a Nisida, in modo da unire le difese dell'isoletta e della capitale.

Fu però abolito il "Corpo di Ponti e Strade", per cui le iniziative in ambito portuale vennero sospese. Due anni dopo, nel 1817, i porti vennero divisi in quattro classi ed il loro controllo fu affidato ad un Soprintendente generale.

Intanto dal 1818 iniziava l'"avventura del vapore" per cui si cominciò a sentire l'esigenza di adeguare i porti a questa nuova tipologia di imbarcazioni.

Nel 1819 fu riaperta la "Scuola di Applicazione" per gli ingegneri di "Ponti e Strade", per cui iniziarono i lavori nella Capitale per ristrutturare la marina del Piliero ed il lazzaretto di Posillipo. Inoltre vennero ripresi i lavori a Crotone ed in Puglia, a Bari, Bisceglie, Barletta. Intanto il de Fazio continuava i suoi studi sui "moli a trafori", da utilizzare per i porti pugliesi, lavori non iniziati per mancanza di fondi.

Nel 1823 fu redatta una nuova pianta organica dei porti e della navigazio-



Fig. 11 – Brigantino a vapore Sirena, in A.Formicola-C.Romano, L'industria navale di Ferdinando di Borbone

ne; e l'anno seguente il "Corpo dei Ponti e Strade", passato al Ministero delle Finanze, fu posto sotto la direzione generale dell'ingegnere Carlo Afan de Rivera. Intanto il de Fazio, incoraggiato dal de Rivera, continuava i suoi studi, proponendo nel 1828 un progetto per il ripristino del porto di Pozzuoli.

In un primo tempo il de Fazio continuò a progettare il ripristino dei porti secondo il sistema dei "moli a trafori". Ma poi tale sistema venne abbandonato. Intanto nella capitale cominciò la ristrutturazione del bacino del Molo Grande, destinato alle navi da guerra. Nel contempo dal 1825 era iniziata la costruzione del porto di Pescara, in Abruzzo Citra, e nel 1831 fu redatta una pianta per i porto di Bari, richiesto dai commercianti.

La riorganizzazione dei porti del regno continuò anche nel lungo periodo di Ferdinando II, che attuò una attiva politica portuale, anche con i "cavafondi", o draghe, a vapore. Dagli anni '40 fu risistemato il cantiere di Castellammare, dove si costruivano gli scafi delle navi a vapore. Nel contempo l'ingegnere Clemente Fonseca ripristinava il cantiere della Capitale, dove si costruivano le fregate, ed il porto commerciale, il Mandracchio. Poi si intervenne anche negli altri porti commerciali, in particolare quelli di Brindisi e Bari. Ma allo scoppio dei moti del '48 i lavori si interruppero.

Dagli anni '50 l'ingegnere Luigi Giordano studiò la costruzione del porto di Bari e degli porti della costa. Ma per la loro realizzazione, tranne che per Gallipoli ed Ischia, bisognò attendere l'Unità d'Italia.

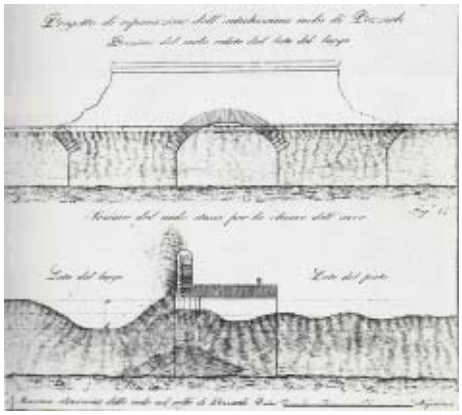


Fig. 12 – G. de Fazio,Progetto per Pozzuoli, 1828, in A.BUCCARO, I porti flegrei *(1993)*

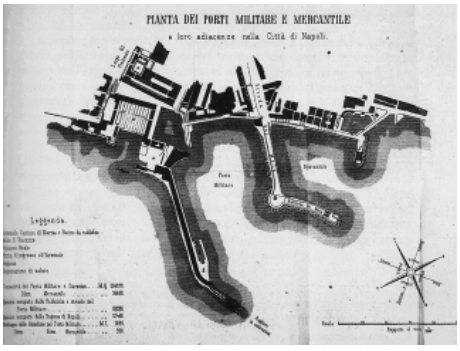


Fig. 13 – Il porto di Napoli, 1865, Archivio di Stato, Napoli, Prefettura, f. 383, fs.6

Bibliografia

G.AMIRANTE, M.R. PESSOLANO, *Immagini di Napoli e del Regno. Le raccolte di Francesco Cassiano de Silva,* Napoli, ESI, 2005.

C.BARUCCI, *I porti delle Calabrie in periodo borbonico,* in G.SIMONCINI, a cura di, *Sopra i porti di mare,* II, *Il Regno di Napoli,* Firenze, Olschki, 1993, pp. 261-318.

A.BUCCARO, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario,* Napoli, ELECTA, 1992.

A.BUCCARO, *I porti flegrei e l'alternativa allo scalo napoletano dal XVI al XIX secolo,* in G.SIMONCINI, a cura di, *Sopra i porti di mare,* II, cit., pp. 125-154.

V. D'ARIENZO, *La fiera di Salerno,* in G. CACCIATORE, I. GALLO, A. PLACANICA, a cura di., *Storia di Salerno,* II vol., *Salerno in età moderna,* a cura di A. Placanica, Pratola Serra (Avellino), Elio Sellino ed., s.d. ma 2001, pp. 90-100.

A. DI VITTORIO, *Gli Austriaci e il regno di Napoli 1707-1734. Le finanze pubbliche,* Napoli, Giannini, 1969.

A. DI VITTORIO, *Gli Austriaci e il Regno di Napoli 1707-1734 Ideologia e politica di sviluppo,* Napoli, Giannini, 1973.

F. A. FIADINO, *I porti delle province pugliesi tra settecento e ottocento,* in G. SIMONCINI, a cura di, *Sopra i porti di mare,* II, cit., pp. 195-258.

A. FORMICOLA, *Il cantiere navale di Castellammare pietra miliare dello sviluppo della Marina Napoletana,* in "Rivista Marittima", 1983, pp. 57 ss.

A. FORMICOLA, C. ROMANO, *Il periodo borbonico /1734-1860),* in A. FRAT-TA, a cura di, *La fabbrica delle navi. Storia della cantieristica nel Mezzogiorno d'Italia,* Napoli, ELECTA, 1990, pp. 61-156.

A. FORMICOLA, C. ROMANO, *Barche e bastimenti tirrenici. I principali tipi di imbarcazioni in uso nel Mezzogiorno d'Italia tra il XVIII e il XIX secolo,* in "Rivista Marittima", 1992, pp. 31-53.

A. FORMICOLA, C. ROMANO, *L'industria navale di Ferdinando II di Borbone,*Napoli s.d., ma 1994.

A. FORMICOLA, C. ROMANO, *Napoli 9 gennaio 1799. Una flotta in fumo. Documenti, fati e considerazioni sugli eventi che portarono all'incendio della flotta borbonica alla vigilia della nascita della "repubblica Napoletana",* supplemento della "Rivista Marittima", n° 1, genn. 1999.

G. B. M. JANNUCCI, *Economia del commercio del Regno di Napoli,* a cura di F. Assante, 5 voll., Napoli, Giannini, 1981.

M. MAFRICI, *I mari del Mezzogiorno d'Italia tra cristiani e musulmani,* in W. BARBERIS, *a* cura di, *Storia d'Italia, Annali,* 18, *Guerra e pace,* Torino, Einaudi, 2002, pp. 71-121.

C. PERFETTO, *Vicende della Marina Mercantile a vapore nel reame delle Due Sicilie dal 1818 al 1860,* Napoli, 1923.

M. R. PESSOLANO, *Il porto di Napoli nei secc. XVI-XVIII,* in G. SIMONCINI, a cura di, *Sopra i porti di mare,* II, cit., pp. 67-123.

M.R. PESSOLANO, *Il sistema portuale abruzzese-molisano dal viceregno all'Unità,* in G. SIMONCINI, a cura di,

Sopra i porti di mare, II, cit., pp. 155-194.

M.R. PESSOLANO, *Napoli nel cinquecento: le fortificazioni "alla moderna" e la città degli spagnoli,* in "Restauro", 146/1998, pp. 59-118.

M.R. PESSOLANO, *Interventi pubblici nella Napoli del Settecento. Programmi, scelte, realizzazioni,* in G. SIMONCINI, a cura di *L'edilizia pubblica nell'età dell'Illuminismo,* vol. III, Firenze, Olschki, 2000, pp. 813-855.

M.R. PESSOLANO, *Napoli viceregnale. Strategie difensive, castelli, struttura urbana,* in AA.VV., *Raccolta di scritti in memoria di Antono Villani,* Napoli, 2002, pp. 1869 -1925.

M.R. PESSOLANO, *Una fortezza scomparsa. la piazzaforte di pescara fra memoria e oblio,* Pescara, Carsa edizioni, 2007.

M. G. PEZONE, *Ingegneria idraulica in età borbonica. L'opera di Giovanni Bompiede,* in A. BUCCARO, G. FABRICATORE, L .M. PAPA, a cura di, *Storia dell'Ingegneria,* Atti del 1° Convegno Nazionale, Napoli, 8-9 marzo 2006, Napoli, 2006, II, pp. 875-886.

L. RADOGNA L., *Storia della marina militare delle Due Sicilie,* Milano, Mursia, 1978.

L. RADOGNA, *Storia della marina mercantile delle Due Sicilie (1734-1860),* Milano, Mursia, 1982.

F. RISPOLI, *Il porto borbonico di Ischia,* in A. BUCCARO, G. FABRICATORE, L .M. PAPA, a cura di, *Storia dell'Ingegneria,* Atti del 1° Convegno Nazionale, Napoli, 8-9 marzo 2006, Napoli, 2006, II, pp. 979- 988.

G. SIMONCINI, *La Sicilia marittima fra XV e XIX secolo,* in G. SIMONCINI, a cura di, *Sopra porti di mare,* III, *Sicilia e Malta,* Firenze, Olschki ,1997, pp. 9-69.

M. SIRAGO, *Attività economiche e diritti feudali nei porti, caricatoi ed approdi meridionali tra XVI e XVIII secolo* e *Appendice, Gli scali meridionali fino al 1806: descrizioni, lavori e diritti feudali,* pp. 391-433, in G. SIMONCINI, a cura di, *Sopra i porti di mare,* II, cit., pp. 329-389.

M.SIRAGO, *L'"Armata del Mar Oceano" o dei "Vascelli d'alto bordo" a Napoli (1623-1707),* in "Studi storici meridionali", 2, 1994, pp. 99-116.

M. SIRAGO, *Il porto di Salerno nel "sistema" portuale del regno meridionale in età moderna (1503- 1806),* in RSS, 21, 1994, I parte, pp. 103-151 e 23, 1995, II parte *(1806-1861),* pp. 285-309.

M. SIRAGO, *Il sistema portuale degli antichi Stati italiani in età moderna (secoli XVI-XIX),* in A. GUIMERÀ – D. ROMERO, a cura di, Atti del Coloquio Internacional *El Sistema portuario Espanol (Siglos XVI-XX),* Madrid, 19-21 ottobre 1995, Madrid, ARTEGRAF, 1996, pp. 53-76.

M. SIRAGO, *Porti, caricatoi, approdi del Regno meridionale in età moderna (1503-1806),* in "Studi Melitensi", V, 1997, pp. 61-97.

SIRAGO M., *"Il porto di Taranto" Dagli Aragonesi all'età contemporanea,* negli Atti del Convegno *Il porto di Taranto tra passato e presente,* Taranto 28 ottobre 1997, Taranto, Grafiche Cressati, 1998, pp. 51-95, pp. 71 ss.

M.SIRAGO, *Il sistema portuale di Trani dal medioevo all'Unità,* in "Ar-

chivio Storico Pugliese", LI, 1998, pp. 111-158.

M.SIRAGO, *Scuole per il lavoro. La nascita degli Istituti "professionali" meridionali nel dibattito culturale tra fine '700 e '800*, in "Rassegna Storica Salernitana", 31, 1999, pp. 109-172.

M. SIRAGO, *La flotta napoletana nel viceregno spagnolo (1507-1598)*, in "Frontiera d'Europa", 1999, I parte, pp. 111-172.

M. SIRAGO, *Il porto di Manfredonia in età moderna*, in SERRICCHIO C., a cura di, Atti del V Convegno di Studi *Siponto e Manfredonia nella Daunia*, Manfredonia 9-10/4/1999, Manfredonia, 2000, pp.142-176 .

M. SIRAGO, *Il porto di Brindisi dal Medioevo all'Unità*, in "Archivio Storico Pugliese, LII, 2000, pp. 77-132.

M. SIRAGO, *Il sistema portuale del Regno di Napoli e lo sviluppo della flotta dall'epoca di Carlo di Borbone ai Napoleonidi (1734-1815)*, in F. BARRA, a cura di , Atti del Convegno *Il Mezzogiorno, l'Italia ed il Mediterraneo nel triennio rivoluzionario 1796-1799*, Avellino 18-20 marzo 1999, Avellino, Centro "G. Dorso", 2001, pp. 303 -356.

M. SIRAGO, *La politica portuale nell'Italia napoleonica. Arsenali, porti e lazzaretti nel Mediterraneo italiano*. QUARTO FORUM MARENGO, *Spazi della borghesia e governo del territorio nell'Italia napoleonica*, Alessandria, 14, 15, 16 giugno 2002, in "Rivista Napoleonica", 1, 2003, pp. 249-263.

M.SIRAGO, *Le città e il mare. Economia, politica portuale, identità culturale dei centri costieri del Mezzogiorno moderno*, Napoli, ESI,2004.

M. SIRAGO, *Dalla galera al vascello. L'apporto economico di genovesi, ragusei, fiamminghi, napoletani nella costituzione della flotta napoletana tra Cinquecento e Seicento*, in M. MAFRICI, a cura di, *Rapporti diplomatici e scambi commerciali nel Mediterraneo moderno*, Atti del Convegno internazionale di studi (Fisciano 23-24 ottobre 2002), Rubettino ed., Soveria Mannelli (CZ), 2004, pp. 461-487.

M. SIRAGO, *Nuove tecnologie: dal vascello alla nave a vapore*, in A. BUCCARO, G. FABRICATORE, L .M. PAPA, a cura di, *Storia dell'Ingegneria*, Atti del 1° Convegno Nazionale, Napoli, 8-9 marzo 2006, Napoli, 2006, II, pp. 671-679.

Giuseppe Maria Montuono

L'approvvigionamento idrico della città di Napoli. L'acquedotto del Serino e il Formale Reale in un manoscritto della Biblioteca Nazionale di Madrid

L'approvvigionamento idrico ha sempre rappresentato un servizio primario nella gestione dei servizi infrastrutturali urbani; ciò vale anche per le opere di rifornimento idrico che interessano la città di Napoli ed il territorio circostante. Allo stato attuale non esiste alcuna certezza dell'antichità del ben noto acquedotto della Bolla[1] ma è probabile che già in età greco e romana repubblicana[2] l'acqua fosse captata dalla falda freatica sottostante la città attraverso un sistema di pozzi o di cisterne capaci di sfruttare il deposito delle acque piovane. I procedimenti citati presentavano l'inconveniente di dipendere dalla disponibilità di acqua in un raggio territoriale immediatamente prossimo a quello di fruizione da cui questa doveva, manualmente o con l'aiuto di macchine, essere trasportata sul luogo di utilizzazione o diretta verso punti altimetricamente vantaggiosi per essere distribuita sotto pressione; interessanti a tal proposito alcuni esempi di macchine per il sollevamento idrico riferiti dallo stesso Vitruvio nel decimo libro del suo trattato[3] : il timpano e la pompa aspirante di Ctesibio. Il timpano - *che se non è in grado di portare l'acqua molto in alto, ne tira però rapidamente in gran quantità* - è un cilindro cavo, compartimentato all'interno di tramezzi di legno formati da piani diametrali; di questa ruota non esistono testimonianze archeologiche e quella di Vitruvio è l'unica descrizione completa. Infine la pompa di Ctesibio[4] l'unica macchina pneumatica di cui si scrive nel Trattato*;* "con questo sistema, installando un serbatoio è possibile pompare l'acqua dal basso in alto".

Ma, a parte gli studi e l'ingegno dimostrato nel progettare dispositivi idrici efficaci, solo la costruzione di acquedotti alimentati da sorgenti permanenti permette di ovviare in via definitiva a tutte le difficoltà di raccolta, di trasporto, di permanenza e di ripartizione dell'acqua in ogni punto della città. A Napoli, nell'età di Augusto (63 a.C.-14 d.C.), il pressante problema dell'approvvigionamento idrico fu così risolto con la costruzione dell'acquedotto del Serino[5] . L'opera grandiosa, il cui percorso si snodava dalla sorgente del Serino fino alla *piscina Mirabilis*[6] , va inquadrata nell'ambito di un più ampio programma imperiale che teneva conto non solo delle esigenze agricole, artigianali e domestiche di città e paesi alimentati dall'impianto, ma anche e soprattutto delle necessità della *Classis Praetoria Misenas*[7] istituita nel periodo iniziale dell'età augustea.

Un'epigrafe[8] scolpita su una lastra di marmo cipollino, rinvenuta presso la sorgente Acquaro nella valle del Sabato dà alcuni chiarimenti sull'acquedotto del Serino. Ne riporto il testo:

DD+NN+FL+COSTAN/TINVS+ MAX+PIVS+ / FELIX+VICTOR+ AVG+ / ET FL IVL CRISPVS ET / FL. CL. COSTANTINVS / NOBB CAESS / FONTIS AVGVSTEI / AQVAE-DVCTVM / LONGA INCVRIA / ET VETVSTATE CONRVPTVM / PRO MAGNIFICENTIA / LIBERALITATIS CONSVETAE / SVA. PECVNIA. REFICI IVSSE-RVNT / ET VSVI CIVITATIVM INFRA / SCRIPTARVM REDDIDERVNT / DEDICANTE CEIONIO IVLIANO VC / CONS. CAMP. CVRANTE / PONTIANO. V. P. PRAEP. EIVSDEM / AQVAE-DVCTVS / NOMINA CIVITATIVM / PVTEOLANA NEAPOLITANA NO-LANA / ATELLANA CVMANA ACERRANA / BAIANA MISENVM[9]

La lettura dell'iscrizione ha suggerito alcune ipotesi sia sull'attribuzione, sia sulla data del restauro voluto da Costantino (280 ca.-337), sia sull'identità dei centri della Campania che in quel tempo utilizzavano l'acqua del Serino.

La *Fontis Augustei Aquaeductum* cui l'epigrafe si riferisce s'identifica verosimilmente nella cosiddetta sorgente Acquaro che in età romana garantiva l'alimentazione dell'acquedotto. La parola *Augustei* chiarisce l'attribuzione di questa mirabile opera ingegneristica ad Augusto (63 a.C.-14 d.C.) e non - come affermava il Pontano (1426-1501)[10] e dopo di lui altri studiosi, come il Summonte ed il Capaccio - all'imperatore Claudio (10 a.C.–54 d.C.). Queste errate attribuzioni, fondate sul ritrovamento di *fistule* in piombo recanti il nome di Claudio, hanno così voluto riconoscere per molte generazioni l'opera quale *Acquedotto Claudio*. Solo più tardi, dal Paoli[11] al Maiuri[12], l'attenta analisi delle tecniche costruttive impiegate ed alcune legittime obiezioni relative al teorema pontaniano delle *fistule* marcate hanno suggerito che la costruzione potesse invece risalire all'epoca augustea: "questi canali potevano od appartenere a qualche particolare diramazione di acqua, od essere stati sostituiti a vecchi già consumati, od in qualunque maniera potevano essere moderni"[13]. Peraltro, a conferma di quest'ultima tesi, lo stesso Augusto ordinò, per rispondere alle esigenze di approvvigionamento idrico della flotta di stanza a Miseno, la realizzazione della immane cisterna detta *Piscina Mirabilis*, dove l'acquedotto del Serino termina dopo aver percorso circa 96 chilometri. In ogni caso, a fronte di tutte le contraddizioni relative alla data della costruzione, si può ipotizzare che l'opera per le sue dimensioni fu realizzata in un *lungo* intervallo di tempo. Pertanto risulta possibile che tra progetto, costruzione e messa in esercizio di tutti i condotti, anche delle città servite, sia trascorso il tempo che separa gli anni del potere di Augusto e di Claudio.

Un'opera così monumentale necessitava di continua assistenza e di frequenti riparazioni per essere sempre

funzionante[14]: importanti interventi di restauro si ebbero in età flavia (I sec. d.C.) con la sostituzione di interi tratti di condotta con altri a questi paralleli, mentre si deve all'intervento di Costantino (280-337 d.C.) l'imponente ricostruzione del percorso principale dell'acquedotto sino a Napoli per circa 12 chilometri.

È immediato risalire alla data del restauro costantiniano a cui l'epigrafe si riferisce per la menzione, insieme con Costantino, dei due Cesari Crispo e Costantino II; "l'incoronazione di questi ultimi il I° marzo del 317, e l'uccisione di Crispo nel 326 rappresentano eventi in grado di collocare la datazione dell'opera in un intervallo di tempo compreso tra il 317 e il 326 d.C.; ma per il fatto stesso - afferma Italo Sgobbo - che al nome di Costantino seguono soltanto i nomi dei due predetti Cesari Crispo e Costantino II, l'epigrafe e quindi il ripristinato acquedotto vanno riferite precisamente all'anno 323 o al 324, con maggiore probabilità per il 324. Il cenno nella lapide ad un *praepositus eiusdem aquaeductus* come *vir perfectissimus* lascia pensare che fosse un *praefectus classis*: in tal caso il restauro dell'acquedotto sarebbe allora dovuto ai *classiarii* della flotta di Miseno"[15].

Per quanto attiene alle popolazioni dei siti della Campania antica che utilizzavano l'acqua del Serino può accettarsi l'indicazione dell'epigrafe che le elenca in ordine di importanza: *Puteoli, Neapolis, Nola, Atella, Cumae, Acerrae, Baie* e *Misenum*[16]; l'ordine del percorso compiuto dall'acquedotto è invece: Nola, Acerra, Atella, Napoli, Pozzuoli, Baia, Cuma e Miseno.

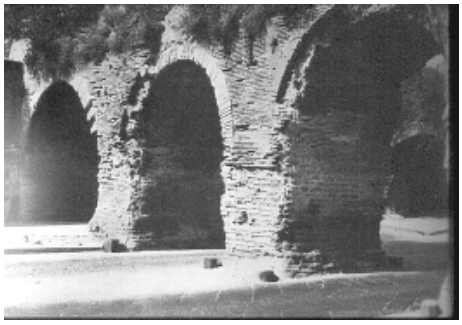


Fig.1 - Gli archi in laterizio dei Ponti Rossi

La lapide[17] fu ritrovata al *caput aquae*, il sito dove aveva origine l'antico acquedotto romano, in occasione dei lavori del 1927 destinati ad aumentare la portata di acqua che dal Serino arrivava alla città di Napoli[18].

Per buona parte del suo percorso, soprattutto nelle aree *extra moenia*, l'acquedotto non correva in galleria ma all'aperto, sulle caratteristiche arcate in laterizio, delle quali resta traccia a Napoli, presso l'attuale zona dei Ponti Rossi[19].

Va ricordato a questo proposito che presso i Romani l'acquedotto era di regola una infrastruttura *ipogea*; ma nei lunghi percorsi a valle che si preferiva abbreviare[20], o nelle regioni caratterizzate da forti dislivelli del terreno, la necessaria continuità di pendenza del condotto non poteva ottenersi per mezzo dei soli cunicoli sotterranei. Occorreva alternare a questi alcuni sostegni, a muro pieno o ad arcate, che tenessero alto il canale in corrispondenza delle depressioni del suolo; i Ponti Rossi costituiscono il ponte in laterizio per l'accesso set-

tentrionale a Napoli della condotta del Serino.

Circa il percorso dell'acquedotto augusteo, la captazione veniva effettuata in un bacino all'estremità settentrionale dell'altopiano di Serino, da dove si diramavano in direzioni opposte un tratto alimentato dalla sorgente bassa (320 metri s.l.m.) detta *Urciuoli* che riforniva *Beneventum*[21] e l'altro dal gruppo delle sorgenti alte (370 metri s.l.m.) di *Acquaro* e *Pelosi* per la Campania. Il primo si svolgeva per circa 35 chilometri lungo la valle costeggiando il fiume Sabato, attraversando i villaggi di Prata e poi quelli di Altavilla Irpina e Ceppaloni per poi raggiungere la città alla Rocca dei Rettori, che ha incorporato un ponte-canale.

L'altro, seguendo la sponda sinistra del fiume per inoltrarsi nella valle di un suo affluente proveniente da Contrada, attraversava Monte Castello e la piana di Forino per discendere in rapida caduta dal valico della Laura a Mercato S. Severino. Successivamente, dopo un altro tratto nuovamente ipogeo attraverso il costone fra Castel S. Giorgio e Lavorate, lo speco proseguiva lungo il pendio passando per Terravecchia di Sarno[22], e a Monte di Foce, e sboccava nella pianura nolana presso Palma[23], da dove una diramazione secondaria si dirigeva dopo circa 11 chilometri a Nola e a Pompei, qui veniva incanalato per essere distribuito in pressione nel *castellum aquae* presso Porta Vesuvio[24]. L'acquedotto del Serino da Palma, in località Tirone, procedeva su un ponte-canale (un *opus arcuatum* lungo 3500 metri con archi di circa 5 metri) nei pressi dell'attuale Pomigliano D'Arco - che da questi prende nome - e all'altezza di Pacchiano (masseria Palmese) prendeva una deviazione che lo portava alla masseria Chiavettieri e di lì raggiungeva Arcora, l'attuale Casalnuovo.

Nel corso della storia del ducato napoletano tutti i villaggi che nascevano erano distinti, a secondo della loro disposizione geografica rispetto a Napoli, con le espressioni *intus arcora* e *foris arcora,* se si trovavano cioé di qua o di là dell'*Acquedotto Claudio*. Dagli archi dell'acquedotto, secondo il Capasso, derivava non solo la possibilità di individuare i luoghi rispetto a Napoli, ma anche la possibilità di individuare i vari insediamenti che si formavano. Per cui " Dagli archi in discorso fu detto Arcora [...] un villaggio che sorgeva ai tempi del ducato, dov'è ora Casalnuovo". Dunque, l'etimologia del villaggio di Arcora va ricercata nella scelta che la sua antica comunità fece di insediarsi nei pressi dell'acquedotto.

L'acquedotto da Casalnuovo proseguiva con una diramazione per Acerra, e poi proseguiva con un ponte-canale nella zona detta *i cantarelli* di San Pietro a Patierno e, con un percorso sotterraneo, attraversava la collina di Capodichino dove s'innestava la diramazione per *Atella,* e giungeva attraversando il vallone di Miano sui cosiddetti *Ponti Rossi*[25] al territorio di *Neapolis*[26]. Qui il tracciato si svolgeva alle falde delle colline di Capodimonte, in corrispondenza dello Scudillo laddove un ramo dell'acquedotto proseguiva entran-

do da porta Costantinopoli e l'altro si dirigeva al Vomero; il primo dopo aver attraversato piazza Bellini, dove sono stati infatti rinvenuti resti di un edificio termale, continuava nel luogo dell'attuale S. Pietro a Maiella dove era probabilmente in funzione una delle sue torri di derivazione. L'abate Romanelli così descrive il tracciato "attraversando il largo delle Pigne scorrevano a lato dell'odierna porta Costantinopoli, dove uno di questi acquidotti s'introduceva alle mura di Napoli, verso la porta Donn'Orso presso S. Pietro a Maiella. Qui da Summonte se ne videro gli avanzi, che furono rotti nel fondersi il palazzo del principe Conca, e volgeva verso S. Patrizia [...]"[27] . Le fortificazioni di piazza Bellini che si addossano ad un avancorpo che potrebbe essere una torre, ed il percorso del vico storto S. Pietro a Majella, sul quale ha già richiamato l'attenzione Mario Napoli ("Il tratto di murazione che con andamento non perfettamente normale rispetto alla cortina si diparte proprio agli estremi limiti meridionali del tratto esplorato in Piazza Bellini, deve piuttosto essere identificato come elemento di una torre connessa ad una porta, che doveva aprirsi proprio sullo sbocco dell'attuale Via S. Pietro a Majella, quasi di fronte a Port'Alba"[28]) fanno ipotizzare l'ubicazione in quell'area di un *castellum aquae*, situato, con approssimazione, alla sbocco della *plateia* dei Tribunali. La torre di cui parla Mario Napoli potrebbe quindi essere un serbatoio di distribuzione, che sarebbe oggi nel luogo in cui sorge il monastero di San Pietro a Majella, che assicurava alla *Neapolis* un'alimentazione in pressione come era utilizzata a Pompei. A questo proposito per comprendere il funzionamento di una rete idrica distributiva che utilizzasse un *castellum aquae* é necessario affidarsi allo studio di quegli archeologi ed eruditi[29] che si sono succeduti nello studio dell'antica Pompei: la città sepolta dall'eruzione del 79 d. C. è l'unica del mondo antico in cui è stato possibile studiare i *castellum dividiculum.*

Come si è osservato trattando del percorso dell'acquedotto, questi entrava a Pompei in corrispondenza della via Stabia tra le regioni V e VI, per alimentare il *Castellum Aquae*, la grande cisterna in mattoni posta ad un'altezza di circa 42 metri, dotata di tre uscite con saracinesca che permettevano di inviare l'acqua separatamente alle fontane pubbliche, alle abitazioni private e alle terme.

Il *Castellum Aquae*, a pianta trapezoidale, racchiudeva una sala circolare a cupola, di 5,7 metri di diametro e 4,3 metri di altezza che costituiva la vasca. L'acqua entrava da una fessura, la cui chiusura era regolabile mediante una saracinesca, ed entrava nella vasca di decantazione, alta 40 centimetri, ai bordi della quale si trova un corridoio di servizio. Dopo essere passata tra due filtri metallici, l'acqua si frangeva contro un'altra saracinesca regolabile posta al centro della vasca, appoggiata a due muretti spartiacque, e quindi, dopo aver superato una lamina di piombo alta circa 25 centimetri, veniva convogliata, attraverso tre condotti a diverse altez-

ze, alle tre condutture che costituivano i rami principali della rete di distribuzione. Il condotto di uscita dell'acquedotto destinato alle abitazioni private e alle fontane pubbliche era il più basso, e quello sempre alimentato; il condotto posto a mezza altezza riforniva le terme e quello in alto, il primo in cui l'acqua veniva a mancare quando il livello si abbassava, le fontane decorative ed i ninfei.

La probabile presenza a Napoli di una torre nell'area dell'attuale S. Pietro a Majella, suggerisce alcune considerazioni. Si può ancora aggiungere che il già ricordato non perfetto allineamento del campanile con il muro perimetrale della chiesa, ma soprattutto la presenza alla base di blocchi di piperno di dimensioni non rinvenibili in altre parti della costruzione, consentono di ipotizzare l'edificazione del campanile sul luogo di una torre più antica. La tesi suggestiva di un *castellum aquae* resta tuttavia di difficile dimostrabilità anche a causa del completo stravolgimento dell'orografia locale: attualmente la chiesa di S. Pietro a Maiella è posta ad un livello superiore rispetto all'antico piano stradale (tratti di lastrico stradale di epoca romana sono stati rinvenuti sotto la quota di calpestio della chiesa a circa 10 metri).

Il secondo ramo, dopo aver costeggiato l'Orto Botanico, proseguiva interrato sotto il colle di S. Erasmo e si dirigeva verso il Vomero, dove sono ancora visibili resti dello speco tra il Cavone e Corso Vittorio Emanuele; dove, presso l'ex Monastero della Trinità (costruito nel 1608, dal 1806 Ospedale Militare), quando vennero create le mura cinquecentesche, fu distrutto il castello di derivazione per la città. Il condotto, costeggiando ancora la collina del Vomero, si diramava con un braccio secondario a Posillipo mentre il principale attraversava il lato nord della *crypta neapolitana*[30]. Dopo la grotta vi era un'altra diramazione che, passando su un ponte canale sul mare, alimentava l'isolotto di Nisida, mentre la condotta continuava raggiungendo le terme di via Terracina[31], per poi seguire il pendio delle alture tra Monte Spina, le terme di Agnano e Monte Olibano, entrando così nel territorio puteolano. Qui correva nella parte alta della città, lì riforniva la piscina Cardito[32] in prossimità del bagno detto Ortodonico[33], e la piscina Lusciano[34], per poi proseguire per la Starza, a sud del lago di Averno; qui è da supporre l'innesto di un braccio con una condotta libera che costeggiando la grotta della Pace riforniva Cuma, e poi Baia, fino alla piscina Mirabile posta sopra il porto di Miseno.

Nella fase di costruzione originaria lo speco, largo in media metri 1,85 e sempre rivestito di uno spesso strato di cocciopesto, è -laddove non attraversa la roccia calcarea o tufacea- realizzato in pietra calcarea o tufacea a seconda della convenienza, con paramento in *opus incertum* voltato a botte su leggera risega, con *caementa* disposti a cuneo. Nei tratti in cui il percorso si svolge fuori terra, come alla Terra, ai muri d'Arce a Sarno e nel tratto terminale a Bacoli, il paramento è in laterizio o in

tufelli rettangolari con ricorsi in laterizio, e in laterizio è anche l'unico ponte canale attribuito a tale fase, quello dei *Ponti Rossi* a Napoli, dove i cunei del rivestimento degli archi sono costituiti da frammenti di tegole rotte parallelamente alle costolature. In tufelli con ricorsi in laterizio è anche costruita la Piscina Mirabile a Bacoli, lungo il cui lato nord si snoda in arcate il tratto terminale dell'acquedotto.

Per quel che riguarda *Neapolis*, una cisterna a due navate con volta a crociera con una concamerazione a volta a botte a nord (rinvenuta nel 1957 lungo il lato sud di vico S. Severo e tuttora in gran parte incorporata nel Palazzo S. Severo) è forse in rapporto diretto con il ramo che alimentava la città, anche se non anteriore all'età flavia nelle parti finora conosciute, come è il caso, del resto, delle piscine Cardito e Lusciano a *Puteoli*.

D'altro canto, proprio all'età flavia vanno datate le massicce riparazioni dell'acquedotto che hanno portato a sostituire interi tratti con tratti paralleli, dovute evidentemente alle conseguenze di movimenti franosi nonché degli eventi sismici del 62 a.C. e di poco antecedenti o posteriori, nonché quelli relativi all'eruzione del 79 d.C. Sono da attribuire probabilmente all'eruzione del 79 d.C. il tratto nord dei «Ponti Rossi» ed i ponticanali con tratti adiacenti contraffortati alle mura d'Arce presso Sarno, nonché un raddoppiamento del ramo per Benevento presso la località Pratola-Serra. La struttura di questa fase è infatti caratterizzata dallo speco con copertura



Fig.2 - Il percorso dell'acquedotto del Serino

alla cappuccina e paramenti in laterizio, specchi in *opus reticulatum* e ricorsi in *bipedales*, i quali sono usati anche per i cunei degli archi. Un ramo secondario che portava alle terme di Agnano[35] risale, come queste, al II sec. d.C. ed ha il paramento in tufelli con copertura piana in *bipedales*. Rami secondari alimentavano alcune ville, tra cui quella di *Pollius Felix* sita nella zona della Riviera di Chiaia.

Poco si sa dell'arco temporale che va dall'età di Costantino al completo abbandono dell'acquedotto del Serino; certo è che, a partire dal medio evo, in Occidente si costruirono ex-novo o si *ri*costruirono acquedotti romani in disuso (l'acquedotto di Segovia venne riparato nel 1481; e nel 1609 Paolo V Borghese, 29.V.1605 - 28.I.1621, riportò a Roma l'acqua Traiana).

Sull'abbandono e sulle vicende funzionali del Serino significativi si rivelano due episodi di utilizzo dell'acquedotto romano da parte degli eserciti assedianti per penetrare nelle mura ed occupare la città di Napoli, riferiti uno dall'abate Domenico Romanelli (sull'invasione nel 537 del generale Belisario)

e l'altro da Benedetto Croce (sull'ingresso di Alfonso d'Aragona a Napoli nel 1442).

All'inizio dell'età vicereale (1503-1734), l'acquedotto romano di pertinenza napoletana anche se in disuso doveva ancora presentarsi in buone condizioni, tanto è vero che fu presa in considerazione l'idea di restaurarlo.

La notevole espansione demografica imponeva una urgente alternativa all'ormai insufficiente acquedotto della Bolla. Il viceré Don Pedro di Toledo (1532–1553) pensò allora di risolvere il problema dell'acqua emanando il 13 giugno un "banno" (bando) composto di 19 articoli che proibiva i prelievi abusivi e le manomissioni ed incaricando nel 1549 il *tavolario* Pietro Antonio Lettieri (m.1562)[36] di redigere una relazione sulle possibilità di ripristino dell'acquedotto romano. Lettieri indagò, ispezionò e rilevò per quattro anni il canale che conduceva per circa 43 chilometri l'acqua dal Serino alla città di Napoli, ma il progetto di restauro non fu realizzato sia per l'ingente costo dell'opera (185.000 ducati) sia per la sopraggiunta morte del viceré Don Pedro di Toledo[37] ed il disinteresse del suo successore, Pietro Afan de Rivera duca di Alcalà (1553-1571). La relazione[38] con la descrizione dell'itinerario dell'acquedotto, fu poi pubblicata da Lorenzo Giustiniani agli inizi dell'800 con il titolo *Discorso dottissimo del Magnifico Ms. Pierro Antonio dé Lecthiero cittadino, et Tabulario Napoletano circa l'antica pianta, et ampliatione dela Città di Nap. Et del'itinerario del acqua che anticamente flueva, et dentro, et fora la pred. Città per aquedocti mjrabili quale secondo per più raggioni ne dimostra, era il Sebbetho celebrato dagli antichi auttori*[39].

Il Lettieri, su iniziativa promossa dal vicerè d'Alcalà responsabile già della costruzione della fontana del Molo, nel 1562 diresse i lavori di allacciamento delle acque sorgenti sotto il mulino di Morrone con il Formale Reale[40].

Ma il problema della carenza d'acqua persiste agli sporadici rimedi promossi ed è soprattutto la parte alta della città, costretta ad utilizzare ancora i pozzi, quella più gravemente penalizzata, come è ben sottolineato da questo brano di Giovanni Tarcagnota[41] (1490/1500 ca. - 1566) da Gaeta:

"[…] Ma ritornando alle acque dico, che la parte superiore della città, percioche non ha potuto l'acqua giungere à tanta altezza, ha i suoi pozzi con le sue fresche conserve della medesima acqua delle fontane, che per tutta quella parte della città per cave sotterranee si conduce, perché ogn'un, che ne vuole, possa parteciparne"[42].

A conferma dell'abbandono in atto al suo tempo del canale del Serino, l'autore segnala come unico acquedotto di Napoli quello della Bolla[43]. Sulla presenza di pozzi ed acque sorgive Jacopo Sannazaro (1458-1530) descrive nell'ode *de fonte Mergellina* di "una fontana di acqua trasparente e perenne [...]. Quella sgorga nei miei possedimenti, unica sorgente in un immenso tratto arido del monte, dalla parte in cui Posillipo, ricca di viti, si protende in

mare"[44]; e Luigi Galluccio (1430-1502) che descrive il giardino del Pontano, in una lirica a lui dedicata, dove "nel mezzo un pozzo ossia una fonte d'ignota provenienza è prodiga della grata bevanda di acque sorgive é bastevole ad irrigare gli alberi, né mai si esaurisce per la gente del luogo, data la presenza di molti zampilli sotterranei"[45].

La necessità idrica di una popolazione in aumento rendeva urgente un progetto di ripristino dell'acquedotto romano che, dopo il tavolario Lettieri, viene puntualmente affidato ad Ascanio Capece ed agli Ingegneri Benvenuto Tortelli (1533-1594) e Ambrogio Attendolo (1515-1585), incaricati da Alfonso D'Avalos (1502-1546) di ricondurre l'acqua del Serino nella città di Napoli, come riportato dal Filangieri :

"Alfonso d'Avalos ordina agli ufficiali regii e baronali, ai sindaci ed alle popolazioni dei comuni di Napoli e Serino, di ospitare e assistere Ascanio Capece mandato a *ritrovare l'acquedotti per li quali veniva l'acqua da detta terra in questa città*.

Commissione in persona del magnifico Ascanio Capece, per l'acqua del Serino.

Alfonsus d'Avalos [...] – A tutti et singuli officiali, magiori et minori, tanto regii come de baroni, sindici, eletti, università et homini delle città, terre et lochi del presente Regno, dove occorrerà in solidum. Perché lo magnifico Ascanio Capece de Napoli se parte da questa città per andare per servitio della Regia Corte in diversi parte et lochi convicini da Napoli a Serino per ritrovare l'acquedotti per li quali veneva l'acqua da detta terra in questa città o in altre parte, et comple al servitio di Sua Maestà per la facilità et exequtione de le cose predette, che dove capitarrà sia provvisto di stantia, strame et letto per esso et per sua cometiva gratis, et de comitiva o compagnia, et delle cose che bisognano per esso et detta sua cometiva, iusto salario mediante, per questo con la presente se ordina et comanda a ciaschuno a chi la presente spettarà o sarrà quomodolibet presentata, a la pena di onze cento, che al detto magnifico Ascanio debbiano in quello che per esso sarrà recercato obedire, assistere et prestare ogni aiuto et favore necessario et oportuno et donarli et farli dare stantia, strame et letto (per esso) et comitiva, et quello che li bisognarrà ut supra, iusto salario mediante, non fando lo contrario si amate la gratia de Sua Maestà et sotto la pena predetta. La presente resti al presentante.

Datum, (...), die V novembris 1576"

Alcuni anni dopo, il viceré Pedro d'Ossuna (1582-1586) assegna all'architetto frà Giovanni Vincenzo Casale (1539ca.-1593)[46] il compito di condurre a Napoli le acque del Serino e del Sarno; e dà incarico nel 1583 di restaurare l'acquedotto della Bolla, gravemente danneggiato dal terremoto del 1581[47] come ricorda una lapide posta sulla fontana del Formello[48]. Anche Domenico Fontana (1543-1607), a Napoli nel 1592, fu responsabile di un progetto di allacciamento per diverse acque sorgive in Terra di Lavoro che rinnovava l'antico

alveo del Clanio, detto volgarmente *Lagno*; dal Sarno condusse inoltre l'acqua alla Torre della Nunziatella per comodità dei mulini di Napoli[49] (sul tema è interessante il testo *Del modo di condur le acque* di Pellegrino Tibaldi, 1527–1596)[50] .Nella prima metà del XVII secolo la città di Napoli vive una nuova fase di esplosione demografica registrando un rapidissimo incremento della popolazione da circa 270.000 a 450.000 abitanti nel 1607. In questo contesto, che vede la capitale del Regno esercitare con i suoi privilegi di cittadinanza un'attrazione sempre più considerevole sulle popolazioni delle campagne, si rende necessario un ulteriore progetto di canalizzazione delle acque; accantonato momentaneamente il progetto del Serino, il 9 maggio 1629 Cesare Carmignano ed Alessandro Ciminelli, discepolo di Nicola Antonio Stigliola[51] , hanno il merito di proporre e di farsi approvare dal viceré duca d'Alba un progetto-contratto per la condotta delle acque del *Faenza* da S. Agata dei Goti a Napoli.

L'architetto Felice Abate[52] ha affermato che l'acquedotto Claudio ha funzionato, seppur in modo limitato, fino al secolo XII o XIV. Agli inizi del XVII secolo l'approvvigionamento idrico di Napoli era garantito, oltre che dalle sorgenti e dal fiume Sebeto, dal solo acquedotto della Bolla. Per comprendere il percorso e la gestione dell'acquedotto della Bolla o *Formale Reale* a Napoli agli inizi del XVII secolo, nelle pagine seguenti si commenta e si trascrive una inedita lettera, di quattro fogli scritti anche sul verso (fogli da 112r a 115v), custodita nella Biblioteca Nazionale di Madrid[53] (Cfr. Fig.3). La descrizione, contenuta nel ms 9610 (anonima e senza data), viene inviata a Roma ad un non ben specificato *cardinale Orsini*, e contiene un 'resoconto' dell'antico acquedotto della città di Napoli.

Dalla lettura del documento è stato possibile collocare il manoscritto negli anni intorno al 1610, periodo in cui fu commissario dell'acquedotto della Bolla il regio consigliere Michele de Villanova[54] , menzionato al foglio 114v; inoltre, quale destinatario della *descrizione* - si può ipotizzare - il cardinale Alessandro Orsini (1592-1626). Il cardinale era interessato in quegli anni al funzionamento degli acquedotti ed a reclutare competenti *fontanieri* per condurre l'acqua Paola - di cui la famiglia era proprietaria - a Roma dal lago di Bracciano[55] . Napoli in quell'epoca era, con Roma, una delle poche grandi città italiane abbastanza civili per godere di un acquedotto e l'interesse del cardinale ne sottolinea lo stato di avanzata ingegneria idraulica raggiunto. Il condotto fu chiamato *Formale*, e più tardi *For-*

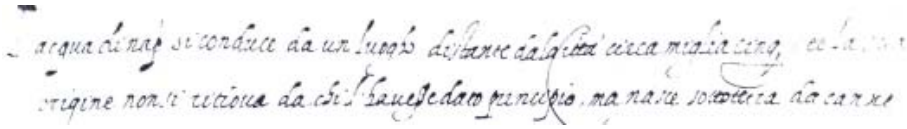


Fig.3 - Incipit del manoscritto conservato a Madrid

male Reale. La voce *formale* è riportata per tutti i canali che si riferiscono all'acquedotto della Bolla, dando talvolta nome ai luoghi per i quali passavano le diramazioni. La denominazione di *Formello*- scrive Capasso[56] - fu data non solo alla fontana ora posta alle spalle di Castelcapuano ma anche ad una località circostante che formava un borgo e ad un vico al suo interno (l'attuale via Oronzio Costa).

Le acque utilizzate per alimentare la Bolla erano quelle affioranti dalle pendici del monte Somma, in varie località denominate Benincasa, La Preziosa, Taverna Nuova, nei pressi del comune di Volla. Sul percorso delle sorgenti che confluivano nel Formale non sempre le descrizioni tra gli autori che l'hanno trattata coincidono. Fiengo[57] fa riferimento a quattro cunicoli drenanti: due in masseria Preziosa, uno in masseria Benincasa e uno in masseria Grotticella. Seguendo la descrizione di Luigi Cangiano[58], architetto commissario del ramo delle acque della città di Napoli, il più antico cunicolo, il solo che alimentava nei primi secoli l'acquedotto, era denominato braccio di Benincasa; successivamente nel 1765 furono collegati ad opera di Alessandro Ciminelli altri due cunicoli drenanti: il braccio della Preziosa ed il braccio di Taverna Nuova. Le prime righe della lettera descrivono l'origine del Formale facendo riferimento ad "un luogho detto la pretiosa dove se son ritrovate fatte le mura antiquissime con l'aperture donde l'acqua scorre"; poi tratta l'ingresso dell'acquedotto in città "caminando a livello giusto verso Napoli alla maggior altura che l'ha potuto portare appresso di poggio reale si spartì et la metà di tutta l'acqua per uso di Poggio reale resta, et perservigio di molti particolari che l'han avuta in concessione dali Re antichi per far molina et fontane neli lor luoghi. Resta l'altra metà de l'acqua, qual si conduce in Napoli". I canali si riunivano in un canale principale interamenete intonacato[59] nei pressi della casa dell'Acqua, e proseguiva con il nome di Formale Reale fino alla villa di Poggio Reale; qui si divideva in due porzioni: una ad alimentare la villa stessa e l'altra proseguiva entrando in Napoli all'altezza della porta Capuana.

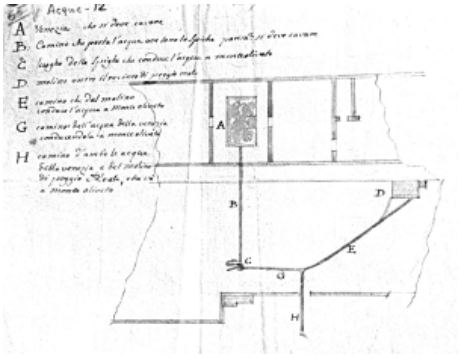


Fig.4 - Disegno della Venezia a Poggio Reale (Cfr.n.60)

A tal proposito nell'Archivio Storico del Comune di Napoli è conservato sia un inedito disegno[60] della *Venezia* a Poggio Reale (Cfr. Fig.4) sia un documento datato 1689, dal titolo *Note delle fontane di Poggioreale*[61], in cui si legge:

"All'Illustrissimi sig.ri Deputati del Tribunale della Fortificazione Mattonata et Acqua di questa fidelissima Città.

Per obedire come devo à gl'ordini di

lor sig.ri illustrissimi, che ciasched'uno fontanaro facesse fede delle fontane cossì pubbliche, come de particulari del suo quartiero io soddetto fontanaro del quartiero di Poggio Reale, riferisco, che nella strada principale di esso vi sono sette fontane pubbliche, che pigliano l'acqua dal regio Formale, che viene da Volla, ciò è delle tre prime una piglia all'incontro la Porta di Poggio Reale detta Pitaffio, e l'altre due nominate il Monte, et la Vcicogna pigliano l'acqua vicino alla Cappella sotto al Pitaffio, ciò è la Cicogna piglia l'acqua persa del Monte, et l'acqua persa della Cicogna và alla Padula del sig. Cardinale.

L'ultime quattro fontane nominate li Cavalli marini, le Tele, la Tassa, et il Satiro pigliano l'acqua in detto Regio formale dentro la Masseria di Carmeno Atinolfo. Dentro Poggio Reale vi sono le concessioni del molino del Brancacciello, che piglia l'acqua all'incontro alla Taverna dietro alla Cocina di Poggio Reale vi è la concessione dello Seniello.

Appresso vi sono altri Circoli, che portano l'acqua al Molino di Monte Oliveto. Andando poi verso alla Volla dentro alla Masseria di Pietro delle Donne vi è un bronzo, che porta l'acqua alla Padula del sig. Antonio Pagano. Ritornando verso Napoli dentro al Giardino di Gaetano Gaeta vi è un altro bronzo, che porta l'acqua al Molino del Iannazzo, al presente del Sig. Duca di Sicignano. Nella Polverera della Masseria di Masilio dello Tufo, vi è un puzzo pe il quale si ponno pigliar l'acqua nello sguazzatoio. Nel sguazzatoio del Duca vi è una chiave di bronzo pe pigliar l'acqua. Nel sguazzatoio appresso vi è una finestra pe la quale si affaccia al Formale Reale. Nel sguzzatoio vicino Giulio Ciano vi è una pietra con cunnolo di ferro, appilato con spoccolo di legname.Che è quanto posso riferire alle loro Illustrissime [...]

Napoli 18 lug. 1689 Gennaro Ruggiano".

Quindi, dopo aver servito l'area della villa di Poggioreale, l'acquedotto prosegue e il 'resoconto' ne descrive il percorso in città, anche attraverso i Seggi[62]: "questo acquedotto maggiore detto lo reale si conduce per la porta di Capuana et per la strada a direttura di li seggio Capuano prevene a Santo Stefano, et dallà a San Lorenzo, si riduce al li seggio di Nido, et dopo a directura di Santa Maria dela Nova discende per l'Incoronata sino avante il Castello Nuovo dove è la fontana pubblica et lla si termina questo acquedotto maggiore". Il canale principale, dunque, seguendo anche la descrizione del Melisurgo[63], entra ad una quota di 12 metri sul livello del mare e procede per porta Capuana, Tribunali, vico Zuroli, S.Biagio dei Librai, vico Salvatore, vicoletto Mezzocannone, Banchi Nuovi e termina alla fontana Medina[64] alla quota di circa 9 metri s.l.m.; durante il percorso il canale principale si frazionava in successivi canali secondari per raggiungere vaste aree della città. Infatti l'anonimo cronista prosegue la descrizione e, approfondendo le diramazioni o *bracci*, scrive "questo magistrale reale caminando da Capuano si piglia un braccio da questo

acquedotto reale il quale si estende per la parte superiore di Capuana verso quello braccio et l'Anticaglia, un altro braccio se piglia da Santo Stefano caminando verso San Paulo et Santa Patrizia et verso la torre d'arco saglie a Santo Gaiuso (Gaudioso), un altro braccio se piglia dal seggio de Nido et camina per San Domenico verso San Pietro a Maiella et San Sebastiano et il palazzo del Principe de Salerno, et Santa Clara"; e, a conferma che la parte alta della città era servita dai pozzi riforniti dall'acquedotto, scrive "questi tre bracci principali che se pigliano dal formale reale dando acqua a tutte quelle regioni della parte superiore di Napoli perché da questi bracci si conducano l'acque ali puzzi particolari et ciascuno secondo che li vien più comodo se la può pigliare dal puzzo più vicino alla sua casa".

Dopo una interessante e dettagliata esposizione sulla gestione e sull'amministrazione del Formale e sulle regole per dare la concessione d'uso, la lettera prosegue registrando alcune fontane alimentate dalla Bolla agli inizi del XVII secolo[65]: "alle fontane della Selleria[66] delo mercato[67], de porta nova[68], et de porto[69] et dela piazza de S'ulmo[70], dela dogana, et del Molo[71]".

Immediato è il confronto con ciò che scrive Tarcagnota alla fine del XVI secolo: "ma soprattutto quello, di che ha bisogno per suo maggiore decoro una città, sono le fontane di acqua viva e corrente: che oltre la comodità che danno, che è grandissima et incomparabile, fanno vaga, lieta et quasi viva quella città dove sono»- prosegue menzionado alcune fontane che ritroviamo anche nella lettera della Biblioteca Nazionale di Madrid- «Le pubbliche fontane si trovano per tutti i luoghi principali della città compartite. La piazza dell'Olmo ha la sua così commoda e vaga. Ha la sua non men bella la Selleria. Presso l'Annunziata è l'altra così magnifica et copiosa che pare un fiume. Ha la sua bella e schietta il seggio di porto [...]. A mezzo Cannone è l'altra[72]". L'anonimo mittente riferisce che "né se ha potuto ancora aver il desegno perché volendose fare come ha con tanti divertimenti che tiene et come che camina per tutta la città se ne ricerca un grand fastidio ci bisogna tenere più di quelli esperti che l'hano tenuti l'ufficio più anni et che sanno come camina il formale maggiore et come sono poi pigliati gli acquedotti parrticolari et come sono poi divisi anche l'uno all'altro essendo che Napoli non ci n'è ancora stato fatti desegno alcuno". La mancanza in quegli anni di un rilievo attendibile dell'acquedotto della Bolla è da attribuire all'assenza tra il 1593 e il 1613 di un ingegnere stabile addetto al *tribunale delle fortificazioni, acqua e mattonata*[73] e alla 'gelosia' dei *pozzari* e dei *fontanieri*, veri esperrti conoscitori del percorso del *Formale*. L'inedita lettera, proprio a questi ultimi si rivolge - nella parte conclusiva - per raccogliere alcuni consigli sull'acquedotto che a Roma si stava terminando[74].

Probabilmente si riferiva alla costruzione dell'acquedotto Paolino[75] voluta da Paolo V Borghese (1605-1621) ed inaugurata il 25 giugno del 1611.

Allegato

Biblioteca Nazionale di Madrid, *sezione manoscritti* "El servicio de aguas en Nápoles", MS9610 (h.112r-115v) - (Cfr. nota n.53)

L'acqua di Napoli si conduce da un luogho distante da la Città circa miglia cinque, et la sua origine non si ritrova da chi l'havesse dato principio, ma nasce sottoterra da canne sei più o meno, et ha diverse nascente che ponere in un circuito di più di tre miglia cominciando da Arpino casal di Napoli sin ad un luogho detto la pretiosa dove se son ritrovate fatte le mura antiquissime con l'aperture donde l'acqua scorre, e se ne son fatte poi di tempo in tempo de le altre cave in quelli circuiti con le mura con l'apertura donde l'acqua potesse uscire, et così uscendo si riduce in un fonte larghissimo dove scorrono tutte le nascenete et da questa fonte si riducesi in acquedotto fatto con molta diligentia che l'acqua non si possi perdere di nessun modo, et così caminando a livello giusto verso Napoli alla maggior altura che l'ha potuto portare appresso di poggio reale si spartì et la metà di tutta l'acqua per uso di Poggio reale resta, et perservigio di molti particolari che l'han avuta in concessione dali Re antichi per far molina et fontane neli lor luoghi.

Resta l'altra metà de l'acqua, qual si conduce in Napoli et li livellata tutta gionta insieme essere quanto cape un baril napoletano entra per la porta di Capuana per un formale seu acquedotto maiestrale che si dimanda lo reale perché l'acqua è del Re et questo acquedotto maggiore detto lo reale si conduce per la porta di Capuana et per la strada a direttura di li seggio Capuano prevene a Santo Stefano, et dallà a San Lorenzo, si riduce al li seggio di Nido, et dopo a directura di Santa Maria dela Nova discende per l'Incoronata sino avante il Castello Nuovo dove è la fontana pubblica et lla si termina questo acquedotto maggiore lo quale parimente è fatto co' grandissima diligenza di manifattura con toniche et letto suprfini et saldi che di nessun modo l'acqua si può perdere camina sempre sotterranea col suo liviello giustissimo et perché i siti di Napoli no' è piano né eguale ma una parte è posta in altura et superiore et altra è più bassa et inferiore et secondo che sta posto il camino che questo magistrale reale caminando da Capuano si piglia un braccio da questo acquedotto reale il quale si estende per la parte superiore di Capuana verso quello braccio et l'Anticaglia, un altro braccio se piglia da Santo Stefano caminando verso San Paulo et Santa Patrizia et verso la torre d'arco saglie a Santo Gaiuso (Gaudioso?), un altro braccio se piglia dal seggio de Nido (Nilo?) et camina per San Domenico verso San Pietro a Maiella et San Sebastiano et il palazzo del Principe de Salerno, et Santa Clara, et questi tre bracci principali che se pigliano dal formale reale dando acqua a tutte quelle regioni della parte superiore di Napoli perché da questi bracci si conducano l'acque ali puzzi particolari et ciascuno secondo che li vien più comodo se la può pigliare dal puzzo più vicino alla sua casa l'un dall'altro ovvero da quelli bracci principali secondo che più li vien comodo et tutta quest'acqua che si distribuisce per questi tre bracci particolari et principali et che poi serve per le case deli cittadini che abitano in questa parte superiore tutta l'acqua medesimamente ritorna nel formale reale poiché hano ricevuti l'acqua li puzzi alor bastanza ne se ne può perdere perché tutti l'acquedotti costi delli tre bracci principali come deli puzzi de particolari son fatti con la medesima diligenza da li maestri approbati et ben prouisti et resistenti. L'acquedotti come li puzzi che sian ben curati et bene caricati et fabbricati modo che l'acqua no si possa perdere et quando se ne venisse a perdere subito si conosce tanto con li acquedotti deli bracci principali come nel formale maggiore doveano essere osservati et posti li segni de l'acqua che quando mancasse se ne verria a scemare et conoscere da qual termine che deve andare la sua direttura et ultra questo i tre bracci principali fra la distanza de l'una l'altra ci son vari acquedotti che pigliano acqua dal formale reale per le loro case che ereno più propingue al formale maggiore che no alli bracci suddetti, è ben vero che nessun può fare il pozzo a venti palmi appresso al formale maggiore, et ciascuno che fa il pozzo deve fare il suo fonte più basso almeno di palmi dieci da l'acquedotto donde entra l'acqua nel suo puzzo affinché le bruttezze che cascassero neli puzzi de' particolari non potissero pervenire nel formale maggiore né macchiare, né contaminare quell'acqua, et ritornando dala parte inferiore de Napoli cominciando dalla porta Capuana

sino dove finisce il formale maggiore avante il Castello Nuovo, si ritrovano essere state fatte gran numero di concessioni dali Re et Regine anche passate a diversi particolari et monastery et ecclesie così per molina come ancora per fontane, et parimente se ne pigliano molte fontane pubbliche et tutte queste acque che pigliano dal formale maggiore verso la parte inferiore di Napoli ritornano più nel acquedotto reale perché hanno la dipendenza verso la marina et se pigliano da l'acquedotti reali a misura secondo le concessioni fatte con candelle di brunzi et pietre de marmo fatte di diametri tonde o quadrate secondo l'acqua concessa et che non possa capere più che se contiene nela concessione come per exemplio a la Nontiata fò concessa ala misura di un alfonsino, a la Duchesca quanto capisce un carlino, a la fontana de formello et al molino quattro (parola incomprensibile) *di diametri, a la Madalena un armellino, a San Pietro ad Ara un cavalluccio (cavalluccio?) et con questo ordine et misure limitati da acque a li molini depistata et di diversi altri et alle fontane della Selleria delo mercato, de porta nova, et de porto et dela piazza de S'ulmo, dela dogana, et del Molo, et a li bagni, et a molti particolari che hanno le loro fontane in casa, et questi tutti la possono dare l'uso all'altro per compiacimento o venderla quelli che ne tengono li concessioni, ma quelli che se la pigliano dalli bracci communi per far puzzi in loro case o da quella che cade dalle fontane pubbliche se ne possono servire l'un da l'altro senza compiacimenti ne pagamenti alcuno, et come è detto tutta questa parte inferiore si serve dell'acqua per in tofolatura allacciata et ben fatta.*

Cos'è osservato che queste acque che son concesse et che se pigliano dal formale maggiore con li brunzi o' co le pietre questi brunzi et pietre son poste nela superficie del acquedotto maggiore a chi più, a chi meno ma non possono calare più d'un palmo dentro l'acquedotto maggiore perchè s'è osservato et visto per esperienza che mettendo un bronzo de misura de un carlino nela superficie dela acqua et mettendo più basso tanto più receve acqua quando più basso fosse posto.

Il regimento che si tiene et che si osserva di fronte in quest'acqua de questi modi, che il Re, ci ha deputati perché si dice supremo il suo collaterale Consiglio et Il vicerè il quale né da poi la cura ad un Regente dela Cancelleria et Lui ha da decidere et terminare tutte le differenze et controversie che' nei occorreno et se 'nce deputa un consigliere del sacro consiglio il quale è commissari de tutte le cause a lite che 'nci occorreno et ha da andare et vedere i luoghi particolari co li esperti li pigliare le informazioni et formati li processi se ne ha da fare relazione al Regente de Cancellaria Il quale l'ha decidere et terminare, ad esso il Re ci regente et deputato sopra de questo. Illustrissimo Villanova consigliero è il commissario, oltre de questi la città ci tiene sei deputati uno per ciascun seggio, et un altro del populo, li quali hano il governo di far nettare il formal maggiore et reale et parimente le fontane pubbliche tre e quattro volte l'anno almeno, et non si può far puzzo alcuno di nuovo né dà nessuna particolare si può pemettere che sia pigliata l'acqua dallo pubblico fonte senza espressa licenza delli signori deputati li quali mai la concedono se prima non son ben provvisti l'acquedotti e le tofolature che sian ben fatte a l'acqua ben lacciate et riflette che non si possono di modo alcuno perdere et a questo li hanno deputato con profusione pubblica alcuni esperti che deveno fare questi fatti e deveno ancora diligentemente guardare che l'acqua non sia fraudata dalli particolari che ne' tenono concessioni con fare limare li giunti o pietre donde se pigliano alché sono imposte grandissime pene. Se osservato anco che non si conceda acqua del formale maggiore dentro di quelli surgenti perché se ne veneria a perdere et se fano bandi regi sotto pene grandissime per la confermazione de quest'acqua la quale come s'è visto per lunga esperienza d'ua acqua abondantissima a tutta questa città dove sono molte fontane pubbliche et molti molini dentro et for della città et poic'è un numero infinito di puzzi perché solerta che ogni casa lo ha macere foro dentro la medesima casa qualtro et anco a diversi usi per la stalla, cocina, e per altri servizi, et una bona parte de Napoli dala banda inferiore sono fontane pubbliche et tutte case de primati, et se ne vedono l'acqua per tutto limpie et nette or se ne tiene un bonissimo reggimento perché li deputati sopra di ciò se congregano ordinariamente due volte la settimana dove si ritrovano tutti li ministri et ufficiali deputati alla conservazione de detta acqua et quelli esperti et maestri che fano l'acquedotti et le tofolature alli quali non si promette se non sono approbati, ci sono dele altre avvertenze et consi-

derazioni che non s'hano potuto ad esso tutte servere, né se ha potuto ancora aver il desegno perché volendose fare come ha con tanti divertimenti che tiene et come che camina per tutta la città se ne ricerca un grand fastidio ci bisogna tenere più di quelli esperti che l'hano tenuti l'ufficio più anni et che sanno come camina il formale maggiore et come sono poi pigliati gli acquedotti parrticolari et come sono poi divisi anche l'uno all'altro essendo che Napoli non ci n'è ancora stato fatti desegno alcuno et forse che S.I Re arria dato occasione de farli fare perché esse sian dato co' ciò questi signori deputati gli esperti, et gli altri ufficiali che la governano se son ritrovati mezzi approntati di Napoli disegno né saperlo ancora tutti li particolari di difficili che ci sono accorsi et le difficoltà che da tempo in tempo han dato diverse forme al regimento de quest'acqua, ma iò in questo breve tempo non avendoci sparagnata fatica meritrovo così ben informato come ogni altro che lungo tempo l'ha praticata anzi me son informato de tutte le particolari concessioni et si basano di farci qualche avertenza nova et di metterle in opra di desegno avendone parlato con lo P. Abate Francesco Ferro che havesse ancora lui dalla sua parte fatigati li ho fatto trascorso de tutte queste informazioni che ne ho preso et fatto lì vedere un disegno che ne havea Ricciati uno del'esperti che so era ancora consigliero, ne messo da parte comparere nela (parola incomprensibile) *di Vostra Signoria Illustrissima perché non era tirati con le linee rette et di misura geometrica, me a detti illustrissimo Pier Francesco che esso di questo breve tempo non ci ha possuto attendere perché have in casa il segretario del cardinale di Trenta che lo tiene occupato ma che se podarà de attenderci come havrà tempo perché questa cosa ricerca di possersi fare con comodità da quelli che s'han notitia ma che li pare che con questo discorso che l'ho fatto et mostrati sopra de questo farmi fare da un architetto il disegno, ma io me voglio ancora affatigare con questi esperti perché fra gli altri ce n'è uno vecchio espertissimo il quale molti anni ha tenuto il governo di queste acque de Napoli et tanto nel regno come di for per Italia et ancora in Spagna è bravo a fare questi effetti, et a caposessione ma è di condure et reparare acque et acquedotti, et di campagna et si dimanda mastro Iaconi di Noria (?) il quale fo' pure chiamato in Roma quando serdeve condurre l'acqua di Salaria (?). Ma han detti alcuni di questi esperti che vorriano sapere quanta quantità d'acqua è questa che s'è condotta in Roma anche che parte de Roma entra et da quale porta, et si mena sotterranea o per acquedotti altri benché dicono che saria bene che si conducesse quanto più alto si potesse perché havendola in alto si possono fare fontane pubbliche et private et finite et secondi la quantità che acqua così si potrian fare le concessione et repartimenti, et quando se concedesse et repartesse à luoghi che non se ne venisse a perdere tanto pui se potria ampliamente di rendere et concedere perché ritornando al formale et acquedotto maggiore quando se ne fossero serviti li particolari non se ne venia a diminuirse lì potrea caminare più a lungo siccome quella de Napoli che se portata a Chiaia dove son fontane pubbliche et private a diversi giardini et questo è quanto per ora io posso informarmi.*

Illustrissimo signor domine cardinal Orsino mio padrone illustrissimo

[1]L'acquedotto deve il suo nome dalla pianura da cui ha origine, *Bolla* o *Volla*, detta anche *Polla*. Si ritiene anche che il nome nasca dall'effetto che acqua aveva al suo sgorgare, quasi *bollisse*. Su quest'ultima ipotesi ci conforta un altro toponimo, il *Balneum Bullae* nella località Pisciarelli a Pozzuoli. Cfr. L. Cangiano, *Acque pubbliche potabili della città di Napoli e de' modi di aumentarle*, Napoli, Tip. dell'Acquila, 1843, p.3; F.Abate, *Intorno alle acque pubbliche di Napoli*, Napoli, 1840, p.37; R. D'Ambra, *Acque vecchie ed acque nuove della città di Napoli,* Napoli, tip. R. Università, 1883, pp.9-11; A.M.A.N. (a cura), *Gli acquedotti di Napoli*, Napoli, Tip. Gaeta, 1994, pp.36-65; Aa.Vv., *Le terme Puteolane e Salerno nei codici miniati di Pietro da Eboli*, Napoli, ed. Fausto Fiorentino, 1995, pp.60-61, 114-115; G.M. Montuono, *Le terme dei Campi Flegrei. Rapporti tra i documrnti iconografici dal XIII secolo ad oggi*, pp.35 ss (Tesi di Laurea A.A. 1994-95); A. Riccio, *L'antico*

acquedotto della Bolla, in F. Starace (a cura di), *L'acqua e l'architettura. Acquedotti e fontane nel regno di Napoli*, Lecce, Del Grifo, 2002 pp.115-179.

[2] W. Johannowsky, *Le opere pubbliche*, in Aa. Vv., *Napoli Antica*, Napoli, Macchiaroli ed., 1985, p.338.

[3]Il Trattato composto da Marco Vitruvio Pollione tra il 27 e il 23 a.C. si compone di X libri e fu dedicato all'imperatore Augusto (63 a.C.-14d.C.); il libro X tratta di meccanica civile: macchine di sollevamento, principi, apparecchi per tirar su l'acqua, organo idraulico, odometro.; e meccanica militare. Di notevole interesse per comprendere le conoscenze idrauliche degli ingegneri romani al tempo di Augusto è l'ottavo libro del *De Architectura*, dove Vitruvio descrive le tecniche adottate per la costruzione degli acquedotti, i metodi per scoprire le sorgenti, le proprietà delle acque, i modi per stimare la loro salubrità.

[4]"Ctesibio, meccanico di Alessandria, vissuto nel III secolo a.C. è menzionato nel *De Architectura* altre sei volte", Vitruvio, *De Architectura*, (a cura di) P. Gros, Torino, Einaudi, 1997, vol. I, p.75 nota 78.

[5] Cfr. G.M. Montuono, *L'acquedotto romano del Serino e la città di Napoli*, in F. Starace (a cura di), *L'acqua e l'architettura. Acquedotti e fontane nel regno di Napoli*, Lecce, Del Grifo, 2002, pp.75-107 (In parte rielaborato per il presente saggio)

[6] L'imponente cisterna romana, 75 metri per 25 e alta 15 metri, poteva contenere 12000 metri cubi d'acqua.

[7] P. Amalfitano, G. Camodeca, M. Medri (a cura di), *I Campi Flegrei*, Venezia, Marsilio, 1990, p.242, 250.
[8] "L'epigrafe è incisa su una lastra di marmo cipollino, alta m. 1.86, larga m. 0.86 e spessa 0.17" in I. Sgobbo, *L'acquedotto romano della Campania*, in "Notizie degli Scavi", 1938 fasc. 1,2 e3 , p.75.

[9]Già pubblicata da I. Sgobbo, *op. cit*., p.76, e da W. Johannowsky, *op. cit.*, p.338

" I nostri principi: Fl.Costan/tino imperatore Pio/ Felice e vittorioso/ Fl. Giulio Crispo e/ Fl. Claudio Costantino/ nobili cesari/ comandarono che fosse ricostruito/ a loro spese/ colla munifica consueta liberalità/ l'acquedotto della fonte augustea/ andato in rovina col tempo per la grande incuri/ e lo restituirono all'uso delle città sottoscritte. (Questa lapide) dedica Ceionio Giuliano, vice console giurisdicente l'agro pontiano, e preposto all'acquedotto stesso. Nomi delle città/ Pozzuoli – Nola – / Atella – Napoli – Cuma – Acerra –/ Baia – Miseno"(traduzione del prof. Italo Sgobbo).

[10] Il Pontano scrive "memoria mea multis in locis inter Baianas et Puteolanas ruinas fistulae plumbeae mirae crassitudinis inventae sunt, in quibus Claudii Augusti nomen scriptum erat;" (de magnif., c.9).

[11] P. A. Paoli, *Antiquitatum Puteolis, Cumis, Baja existentium reliquiae*, Napoli, 1768.

[12] A. Mauiri, *I Campi Flegrei*, Roma, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, 1934.

[13] .P. A. Paoli *op. cit.*, p.36.

[14]"la manutenzione dei singoli acquedotti era normalmente data in affitto, e che ai concessionari era fatto obbligo di avere un numero fisso di schiavi di mestiere per l'efficienza delle condutture [...]" Sesto Giulio Frontino, *Gli acquedotti di Roma* (a cura di) F. Galli, Lecce, Argo, 1997, p.87.

[15] I. Sgobbo, *op. cit.*, p.80 nota 2

[16] Pompei che pure utilizzava le acque del Serino non è menzionata nella lapide perché già sepolta dalla lava del Vesuvio nel 79 d.C.

[17] La lapide in marmo cipollino è ancora conservata nel luogo del ritrovamento, la *Sorgente Alta*.

[18] Per soddisfare i bisogni idrici della popolazione nel 1885 si convogliarono a Napoli le acque della sorgente Urcioli (1500 l./sec.) e più tardi nel 1927 si attingerà anche al vicino gruppo di Acquaro-Pelosi (700 l./sec.).

[19] "E in un censimento del 1591-95 lo trovo chiamato *Archi di Mattoni*" da G. Doria, *Le strade di Napoli*, Napoli, R. Ricciardi, 1943, p.379.

[20] "Ora invece in certi punti, nei distretti in cui il condotto è stato danneggiato dal tempo, il canale sotterraneo che circondava le valli viene abbandonato, e per ridurre il percorso le si attraversa con muri di sostegno e archi." S. G. Frontino, *op. cit.*, p.41.

[21] Lo studioso Francesco Criscitelli ha approfondito tra il XVIII e il XIX lo studio del canale per Benevento.

[22]Cfr. O. Elia, *Un tratto dell'Acquedotto detto "Claudio" in territorio di Sarno* in "Campania Romana", XVII Napoli, 1938.

[23] Nel 1983, in occasione del raddoppio della linea ferroviaria Cancello-Avellino, furono ritrovati resti dell'acquedotto augusteo in località Ponte Tirone/Masseria Minichini del comune di Palma Campania.

[24]Il dislivello esistente tra la Porta Vesuvio a N-O e la Porta Stabia a S-E è di circa 35 metri.

[25] "Ces restes d'aquéducs sont situé au pied de la colline de C*apodimonte* : ce sont des témoins effrayans de la puissance des Romains, qui triomphaient également de tous les obstacles pour soummettre les nations à leurs lois et la nature à leurs besoin." in J. Le Riche, *Antiquités des environs de Naples*, Napoli, Imprimerie Francaise, 1820, p.233.

[26] W. Johannowsky, *op. cit.*, p.338.

[27] D. Romanelli, *Napoli antica e moderna*, Napoli, Tip. A. Trani, 1815, vol.I, p.156.

[28] M. Napoli, *Napoli greco-romana*, Napoli, F. Fiorentino, 1959, p.51.

[29]Cfr. A. Maiuri, *Introduzione allo studio di Pompei (la città ed i monumenti pubblici)* , Napoli, R. Pironti e F., 1949;. J.P. Adam, *L'arte di costruire presso i romani*, Milano, Longanesi, 1988; A. De Vos-M. De Vos, *Pompei Ercolano Stabia*, Bari, Laterza, 1982; R. Tolle Kastenbein, *L'archeologia dell'acqua*, trad. it. Milano, Longanesi, 1993.

[30] La Crypta Neapolitana, nota anche come Grotta vecchia di Pozzuoli, fu realizzata poco anteriormente o contemporanea *all'Acquedotto Claudio* (I secolo a.C.), per collegare rapidamente Napoli e Pozzuoli. Attualmente a 50 centimetri dall'attuale piano stradale, è visibile il condotto scavato nel tufo.

[31]Cfr. E. Laforgia, *Edificio termale romano di Fuorigrotta*, in "Accademia di Archeologia, Lettere e belle Arti, Monumenti" IV, Napoli, 1981.

[32]" La piscina Cardito nel quartiere orientale della città (Pozzuoli), in prossimità del bagno Ortodonico, è formata di due cisterne; la maggiore di esse (lunghezza m.55, larghezza m.16, altezza m.15 circa), è costituita da un grandioso ambiente rettangolare a volta, sostenuta da tre serie di pilastri; la seconda, minore, è formata da quattordici piccoli compartimenti rettangolari, che sembra avessero soprattutto la funzione di bacini di sedimentazione per la maggior purezza e leggerezza dell'acqua" A. Maiuri, *op. cit.*, pp.52-53.

[33]" L'undicesimo è il bagno Ortodonico che è posto sopra Pozzuoli a 30 passi dopo la chiesa di San Giacomo verso oriente, tra antichi resti di edifici" lo stato dei luoghi è riferito alla descrizione che

Sebastiano Bartolo riporta nell' Epitaffio visibile nell'attuale Parco Virgiliano, nei pressi della Crypta Neapolitana. Il nome del bagno è riferito al luogo di proprietà del vescovo di Pozzuoli (hortus domini, ortodomino, ortodonico). R. Giamminelli-R. Di Bonito, *Le terme dei Campi Flegrei: topografia storica*, Roma, Jandi Sapi ed., 1992, p.45.

[34]"La *piscina di Lusciano* (m.35x20) divisa in 21 compartimenti comunicanti, per mezzo di porticine rcuate" A. Maiuri, *op. cit.*, p.53.

[35] *Le terme Puteolane e Salerno* cit., pp.58-59, 112-113; R. Giamminelli-R. Di Bonito, *op. cit.*, p.19-23.

[36]"(...) et li fu anco dato per Ingegniero ultra il detto quondam Aghilera lo magnifico quondam Pietro Antonio Lectiero, con provisione de ducati dieci il mese et servì fino a 25 de decembre 1562 che se morse (...)" – *A. S. N., Sommaria, Consulte, vol.9, cc.135-159* in F. Strazzullo, *Edilizia e urbanistica a Napoli dal '500 al '700*, Napoli, A. Berisio ed., 1968, p.73.

[37] Interessante è la lettera inviata da Bernardo Tasso a Giambattista Peres tra il 1543-45 per decantare le bellezze di Napoli durante il viceregno di Pedro di Toledo, si legge: "Torto certo farei all'infinita virtù dell'Eccellentiss. Sig. Don Pietro di Toledo, al presente Vicerè di questo regno, s'io non dicessi il molto studio e le continue spese fatte per renderla al pari di tutte le altre bella e riguardevole; come le fontane da mastra e d'artificiosa mano di finissimi e di bianchi marmi scolpite, il Parco, le Castella di Capuano e di Sant'Ermo, le strade di Nido, dell'Olmo, della Sellaria, la nuovamente ad onore eterno di Sua Eccellenza nominata di Toledo, e di tutte le altre, per opera sua tali rendute, quali si mostrano, del loro obbligo e della sua virtù fede saranno alla posterità". Cfr. F. Nicolini, *Napoli descritta da Bernardo Tasso*, in "Napoli Nobilissima", XIII (1904), pp.172-174.

[38] "La relazione fu tramandata intorno al XVI sec. da Giambattista Bolvito nel suo manoscritto *Volumen variarum rerum* conservato nella Biblioteca Nazionale di Napoli e con molta probabilità ricopiata dal Giustiniani", in A. Bellucci, *Gli archi dell'Acquedotto Claudio ai Ponti Rossi*, Napoli s.d., p.11, nota 2; F. Strazzullo, *op.cit.*, 1968 pp.73-74 n.3.

[39] *Discorso dottissimo del Magnifico Ms. Pierro Antonio dé Lecthiero cittadino, et Tabulario Napoletano circa l'antica pianta, et ampliatione dela Città di Nap. Et del'itinerario del acqua che anticamente flueva, et dentro, et fora la pred. Città per aquedocti mjrabili quale secondo per più raggioni ne dimostra, era il Sebbetho celebrato dagli antichi auttori.* in L. Giustiniani, *Dizionario geografico-ragionato del Regno di Napoli*, tomo VI, Napoli, V. Manfredi, 1803, pp.382-411)

[40] F. Strazzullo, *Edilizia e Urbanistica a napoli dal '500 al '700*, Napoli 1968 p.74.

[41] "Giovanni Tarcagnota, il cui pseudonimo era Lucio Fauno, era nipote di Michele Marullo Tarcagnota (1454 ca. – 1500) autore delle traduzioni dal latino delle opere di Flavio Biondo, stampate a Venezia da Michele Tramezzino" in F. Starace, *La cultura umanistica napoletana e le antichità dei Camp Flegrei nei disegni degli architetti del XV e XVI secolo*, in G. Alisio (a cura di), *Campi Flegrei*, Napoli 1995 pp.131-162, nota 57; Cfr. A. Altamura F. Sbordone E. Servidio (a cura di), *Antologia poetica di umanisti meridionali*, Napoli 1975, pp.179-197.

[42] G. Tarcagnota, *Del sito et lodi della città di Napoli*, Napoli 1566, ma in anastatica, *La città di Napoli dopo la rivoluzione urbanistica di Pedro di Toledo*, Roma, ed. Benincasa, 1988, p.18 con saggio introduttivo di F. Strazzullo.

[43] La condotta della Bolla fu costruita essenzialmente per l'approvvigionamento idrico della città di Napoli; e le sue sorgenti, non lontane, consentivano di ampliarlo e rimpinguarlo continuamente e questi ampliamenti, a seguito della captazione di nuove polle, comportava una continua manutenzione. Molti studiosi ritengono che sia posteriore al Claudio, solo perché ha funzionato in modo conti-

nuo e con certezza fino al 1885; l'acquedotto romano, invece, avendo due grandi limiti la lunghezza (circa 100 km) ed il fine per cui era stato costruito (la flotta stanziata a Miseno) non fu adeguatamente preservato.

[44] A. Altamura, F. Sbordone, E. Servidio (a cura di), *Antologia poetica di umanisti meridionali*, Napoli, Società Editrice Napoletana, 1975, p.235.

[45] *Ibidem,* p.119

[46] Il *Taccuino di disegni* del frate servita è conservato nella Biblioteca Nazionale di Madrid, ms. B16-49. Cfr. E. A. Santiago Paez, *Dibujos de Arquitectura y Ornamentacion de la Biblioteca Nacional – Siglos XVI y XVII*, Madrid, publicaciones COAM, 1991, pp.211-218;

[47] Cfr. G. Coniglio, *I Viceré spagnoli di Napoli*, Napoli, F. Fiorentino, 1967, p.142.

[48] L. Conforti, *La fontana di S. Caterina a Formello*, in "Napoli Nobilissima", vol.I, 1892 pp.93-94; G. Ceci, *La chiesa e il convento di S. Caterina a Formello*, in "Napoli Nobilissima", voll. IX 1900, X 1901.

[49] F. Milizia, *Memorie degli architetti antichi e moderni*, Tomo II, Bassano, 1785, p.77 (Ristampa anastatica, Bologna, Forni, 1978).

[50] G. Simoncini, *"L'architettura" di L. B. Alberti nel commento di Pellegrino Tibaldi (1527–1596)*, Roma, De Luca, 1988, pp.203-205.

[51] F. Starace, *Un disegno appartenuto a Colantonio Stigliola (1546-1623)*, in "Napoli Nobilissima", gen.-dic. 1999 p.124 note 38-39.

[52] Bisogna attendere il 10 maggio 1885 per rivedere nella città di Napoli l'antico acquedotto romano. Alla presenza del re Umberto I e della regina Margherita, la condotta del Serino viene finalmente inaugurata con uno scenografico evento: la fontana circolare di piazza del Plebiscito con un potente getto d'acqua annuncia il ritorno dell'acquedotto augusteo. Cfr. F. Abate, *Intorno alle acque pubbliche di Napoli*, in "Annali Civili del Regno delle Due Sicilie", fasc.XXXXIII, Napoli 1840; F. Abate, *Delle acque pubbliche della città di Napoli*, Napoli 1840; F. Abate, *Intorno all'acquedotto Claudio*, in "Annali Civili del Regno delle Due Sicilie", fasc.LX, Napoli 1842; F. Abate *Sulle acque pubbliche della città di Napoli*, Napoli, tip. del Nazionale, 1861; F. Abate, *Primi studi sull'acquedotto Claudio*, Napoli, stamperia dell'Iride, 1862; F. Abate, *Su due progetti per aumentare le acque potabili in Napoli*, Napoli 1962; F. Abate, *Memoria sulla questione del fornimento di nuove acque potabili alla città di Napoli*, Napoli 1863; F. Abate, *Studi sull'acquedotto Claudio e progetto per fornire di acqua potabile la città di Napoli*, Napoli, stamperia del Giornale di Napoli, 1864; F. Abate, *Cenno storico della condotta in Napoli delle acque del Serino*, Napoli 1885.

[53] Biblioteca Nazionale di Madrid, sezione manoscritti, *El servicio de aguas en Nápoles*, MS9610 (h.112r-115v). La lettera è trascritta in allegato al presente studio con alcune annotazioni/titoli aggiunte dallo scrivente.

[54] Nell'Archivio Storico Comunale di Napoli (d'ora in poi A.S.C.N.), *Tribunale delle Fortificazioni, Mattonata e Acqua*, vol.1858, Banni 1552-1700, è conservato un bando di 25 articoli emanato il 20 dicembre 1610 a tutela del Formale Reale da Don Pietro Fernandez de Castro conte di Lemos, vicerè dal 1610 al 1616, in cu è menzionato "*Michele de Villanova Regio Cons.ro*"

[55] Sull'utilizzo degli esperti fontanieri della città di Napoli già Sisto V (1585-) aveva formato il 9 maggio 1585 una commissione di esperti per condurre l'acqua Felice (1585-1587) composta da Bartolomeo Ammannati, Domenico Fontana, Matteo Bartolani, Raffaello da Sangallo e il napoletano Giovanni Antonio Nigrone. Cfr.C. D'Onofrio, *Storia dell'acqua che fu detta Felice*, in *Acque e fontane*

di Roma, Pomezia (Roma), Staderini ed., 1977, pp.198-221.

[56] B. Capasso, *Topografia della città di Napoli nell'XI secolo*, Napoli, s.n., 1895 pp.9-10.

[57] Cfr. G. Fiengo, *L'acquedotto di Carmignano e lo sviluppo di Napoli in età barocca*, Firenze, L.S. Olschki, 1990, pp.60-66.

[58] Cfr. L. Cangiano, *op.cit.* , pp.4-5.

[59] Capaccio nel *Forastiero* descrive l'intonaco "chiamata anco Pozzuolana la nostra la qual par c'habbia l'istessa perfettione che in mar diventa scoglio. E credo c'habbiate notato la felicità del nostro fabricare, mentre con due pontelle si mantiene una casa in aria fabricandosi sotto senza impedimento de gli habitanti; e con quanta piacevolezza di fabrica si fanno cloache, ripari alle risacche, alle lave, s'indirizzi un fiume sotterraneo in tanti pozzi, in tante fontane, in tante commodità che la natura si è compiacciuta dar a Napolitani".

[60] Il disegno a china acquerellato indica nella legenda con la lettera A la "Venezia che si deve cavare", poi "C – luogho delle spighe che conduce l'acqua a monteoliveto; D - molino entro il recinto di poggio reale; E – camino che dal molino conduce l'acqua a Monte oliveto; G – camino dell'acqua della venezia conducendola a monteoliveto; H – camino d'ambe le acque della venezia e del molino di poggio reale, che và a monte oliveto"

[61] A.S.C.N. *Tribinale della Fortificazione, Mattonata ed Acqua*, Vol.1830, Acque-Relazioni di concessione, bronzatura ed altro, anni 1633-1778, fol.82-82v.

[62] Agli inizi del '600 Napoli era divisa in 9 seggi: *Montagna* (Piazza Capuana, S.Giovanni a Carbonara, Borgo di S. Antonio Abate, la strada di Don Pedro, i fondaci di S.Chiara); *Nido* (Porta S.Gennaro, Borgo dei Vergini, Strada del Mercato Vecchio, S.Angelo a Segno, S.Maria Maggiore); *Portanova* (Vicaria Vecchia, S.Gennarello, Strada di Nido, S.Giovanni Maggiore, S.Maria d'Alvina); *Porto* (S.Giuseppe, Santo Spirito e borghi); *Capuana* (S.Pietro Martire, Strada di Porto, Rua Catalana); *S.Pietro Martire* (Strada della Selice, la Sellaria, la Loggia, Porta del Caputo); *Mercato* (Rua Catalana, gli Armieri, la Scalesia); *S.Giovanni a mare* (Mercato e borghi, S.Giovanni a Mare, Spiezeria antica); *S.Giovanni a Carbonara* (Case nuove e l'Orto del Conte, Forcella, Fistola e Baiano).Cfr. F, Strazzullo, *Prammatiche per l'edilizia napoltana dal '500 al '700*, in "Ingegneri", n.37, anno VII 1996 pp.52-53.

[63] Cfr. G. Melisurgo, *Napoli sotterranea*, Napoli, ESI, 1997 (1889), p.36. Per il percorso dell'acquedotto della Bolla Cfr. D. Romanelli, *op. cit*., pp.158 ss; F. Abate, *Intorno alle acque* ...cit., p.37, 47; R. Di Stefano, *Lineamenti di Storia urbanistica*, in Aa.Vv., *Il Centro Antico di Napoli*, vol.I, Napoli, ESI, 1971 pp.185 ss.

[64] G. Cantone, *Napoli barocca*, Roma-Bari, Laterza, 1993 pp.228-231; F. Starace, *Da Nettuno a Medina. Una fontana errante nei "larghi" di Napoli*, in *L'acqua e l'architettura* ...cit. pp.253-286.

[65] Cfr. Per le fontane servite dalla Bolla all'inizio del Seicento Cfr. L. Gasparini, *Le antiche fontane di Napoli*, Napoli, Società Editrice Napoletana, 1979; E. Nappi, *Documenti su fontane napoletane del Seicento*, in "Napoli Nobilissima", vol.XIX, 1980 pp.216-231; A. De Rose, *Le fontane di Napoli*, Roma 1994; F. Starace, *Studi sulle fontane pubbliche di Napoli nei secoli XV e XVI*, in *L'acqua e l'architettura* ...cit. pp.239-248.

[66] Nella pianta Lafrery (1566) è indicata al n.74. Cfr. L. Gasparini, *op. cit.*, pp.31-33, 59-60; E.Nappi, *op. cit.*, pp.219-220; G. Cantone, *op. cit.*, pp.234-240.

[67] Nella pianta Lafrery (1566) è indicata al n.73. Cfr. L. Gasparini, *op. cit.*, pp.29-31, 53-54; G. Cantone, *op. cit.*, pp.236-237.

[68] Cfr. L. Gasparini, *op. cit.*, pp.60-62;

[69] *Ivi*, pp.63-64.

[70] *Ivi*, pp.38-39.

[71] Nella pianta Lafrery (1566) è indicata al n.69. Cfr. L. Gasparini, *op. cit.*, pp.39-42; E. Nappi, *op. cit.*, p.216.

[72] G. Tarcagnota, *op. cit.*, pp.16v-16r.

[73] Cfr. B. Capasso, *Catalogo ragionato dei libri, registri e scritture esistenti nella sezione antica o prima serie dell'Archivio Municipale di Napoli (1387-1806)*, Napoli, Stabilimento Tip. F. Giannini, 1876, pp.34-35

[74] "Roma, città dove si trova un riscontro della nostra canalizzazione della Bolla [...]" in G. Melisurgo, *op. cit.*, p.41

[75] "Portando quest'acqua il pontefice diede vita al quartiere di Trastevere ai piedi del Gianicolo, tanto più che gli abitanti di esso erano ancora ridotti a bere l'avqua del Tevere depurata in cisterne" in A. D. Tani, *Le acque e le fontane di Roma*, Torino, Tip. Ed. Coc. An. l'Argentografica, 1927, p.71; Cfr. C. D'Onofrio, *Fontane con acqua Paola e giardini vaticani*, in *Acque e fontane di Roma*, Pomezia (Roma), Staderini ed., 1977, pp.373-395.

EMILIO CHIRONE, PIERLUIGI PIZZAMIGLIO

Niccolò Tartaglia, matematico e ingegnere

Premessa

L'ingegneria, orientata al futuro, all'innovazione, guarda giustamente i fatti concreti: spesso però questi hanno alle spalle delle storie che aiutano a spiegarli e ne chiariscono anche la genesi e lo sviluppo. Anche nella storia della tecnica può perciò trovar spazio la storia degli uomini, che dello sviluppo della tecnica sono stati attori, ma che in genere rimangono immagini sbiadite sullo sfondo. Il 450.mo anniversario della morte, a Venezia, di Niccolò Tartaglia offre l'occasione per collegare anche alla storia dell'ingegneria, un personaggio, che ha nei trattati di storia della scienza avuto alterna fortuna, talora discusso, talora compatito, ma pur sempre interessante.

Il personaggio

Come per molte altre figure lontane nel tempo, i dati biografici su Niccolò Tartaglia sono talora incerti e confusi. Se è certa la morte nel 1557 a Venezia, dove visse a lungo e pubblicò le sue opere, la nascita, certamente a Brescia (Brisciano si definisce in numerose occasioni e ripetutamente ricorda Brescia "mia patria"), non trova concordi gli studiosi, anche se il 1499 si trova richiamato in molti riferimenti biografici. Che il cognome vero sia Fontana non è assolutamente sicuro, ma anche esso comunemente accettato. Sicuro, perché più volte da lui stesso dichiarato, il ferimento al volto, ancora ragazzo, da parte di una spada francese durante il saccheggio di Brescia del 1512[1], da cui la difficoltà di parola che diede origine al suo soprannome (da lui poi orgogliosamente esibito a significare che la forza d'animo di una persona è in grado di rimediare a molti malanni o disagi della sorte) e la necessità di coprire lo sfregio con la cospicua barba con cui compare nei ritratti posti in apertura di suoi libri.

Fra le difficoltà della sua vita va segnata anche l'estrema povertà della famiglia, che lo costrinse (secondo le sue stesse parole) a "industriarsi" per guadagnare qualche spicciolo per pagarsi, secondo l'uso del tempo, la possibilità di



Fig.1 - Un ritratto di Tartaglia , da La travagliata inventione del 1551

imparare a leggere, scrivere e far di conto, competenze già allora diventate indispensabili per sopravvivere civilmente. Egli era di certo dotato intellettualmente, così da riuscire a trovar lavoro, ventenne, nientemeno che come pubblico e privato insegnante di matematica commerciale a Verona, ove rimase per una quindicina d'anni.[2]

Continuò comunque a studiare da solo, comprendendo che bisognava sapere il latino per accedere ad un livello di conoscenze scientifiche ulteriore, quale si ritrovava solo nelle grandi opere matematiche di Euclide e di Archimede; capì anche che era il tempo di rendere accessibili quegli importanti e difficili scritti a un pubblico di lettori più vasto di quello degli intellettuali latinizzanti ed a questo compito dedicò buona parte delle sua attività.[3]

Il Tartaglia matematico

Alla matematica è più frequentemente legata la memoria del Tartaglia. Nei nostri ricordi scolastici ritorna il "triangolo", che dà i coefficienti per lo sviluppo delle potenze di un binomio[4] , la formula per il volume del tetraedro e quella per la risoluzione delle equazioni generali di terzo grado, legata alle dispute con Cardano.

Come matematico, "algebrista", ricorre quindi il nome di Tartaglia nelle storie di queste materie ed anche nelle opere più generali di storia della scienza, con ampio spazio dato alla feroce citata disputa con il coetaneo matematico, lombardo anch'esso, e con i suoi allievi.[5]

Non si vuole tornare qui questi temi, ampiamente trattati, e togliere qualcosa alla sua fama nell'area matematica ed al suo meritato posto in essa, ma piuttosto sottolinearne ancora il collegamento con le applicazioni pratiche (di "matematica per gli ingegneri", si sarebbe detto più tardi).

Quando a Venezia, nel 1543, il Tartaglia volle pubblicare quella che risultò essere la prima edizione degli "Elementi" di Euclide in una lingua volgare europea (che per merito suo era quella italiana), il suo primo obiettivo era che anche i commercianti, i geometri, gli artiglieri, ecc. potessero perfezionare le loro attività artigianali e professionali fruendo di una più ampia e più solida base scientifica.[6]

Il frutto maggiore dell'attività in campo matematico (soprattutto di tipo didattico) è costituito certamente dai tre grandi tomi del suo *General trattato di numeri e misure*, più enciclopedia che corso di matematica, realizzata e pubblicata dal bresciano nei suoi ultimi anni di vita[7] .

Il Tartaglia "meccanico"

La meccanica, se da un lato ci porta a muoversi nel vasto mare della fisica, dall'altro è elemento caratterizzante gli studi di ingegneria e quindi a pieno titolo possiamo inserire in questo filone gli scritti di Tartaglia relativi a diversi aspetti degli studi meccanici.

Non può mancare anche in questa occasione una sottile polemica, che affiora qua e là nella storiografia scientifica, su una tecnica operativa (i.e. inge-

gneria) contrapposta ad una scienza speculativa, e sul dislivello culturale fra le osservazioni nate dall'attività sperimentale di architetti, artiglieri, idraulici e lo sviluppo teorico della fisica. [8] Ci si dimentica quanto scrisse lo stesso Galileo, osservando come nella quotidianità dell'attività costruttiva vi sia "*numero grande d'artefici, tra i quali, e per l'osservazioni fatte dai loro antecessori, e per quelle che di propria avvertenza vanno continuamente per se stessi facendo, è forza che ve ne siano de i peritissimi e di finissimo discorso*"[9].

È tuttavia indubbio che la balistica fino al '500 non era stata certamente una scienza , quel ramo della meccanica che si occupa del lancio, della traiettoria e della caduta dei proiettili, ma soltanto un insieme di dati sperimentali raccolti sui campi di battaglia, negli assedi, tramandati per tradizione fra quelli che oggi si chiamerebbero "operatori del settore", fossero essi fabbricanti di armi o loro utilizzatori, fra cui nascevano probabilmente delle intuizioni, in mancanza delle soluzioni formalizzate, che interverranno molto più tardi.

Altrettanto indubbio che con Tartaglia questo insieme disordinato di dati ed abitudini diviene una scienza, con le sue teorie, le sue sperimentazioni motivate e regolate, le sue incertezze ed i suoi sviluppi. I lavori di Tartaglia annunciano, fatte le dovute proporzioni, le ricerche di chi comincerà a elaborare questa scienza a partire dal XVI secolo[10]. Di ciò il "matematico" bresciano è ben consapevole dando alle stampe nel 1537 l'opera che comincia orgogliosamente

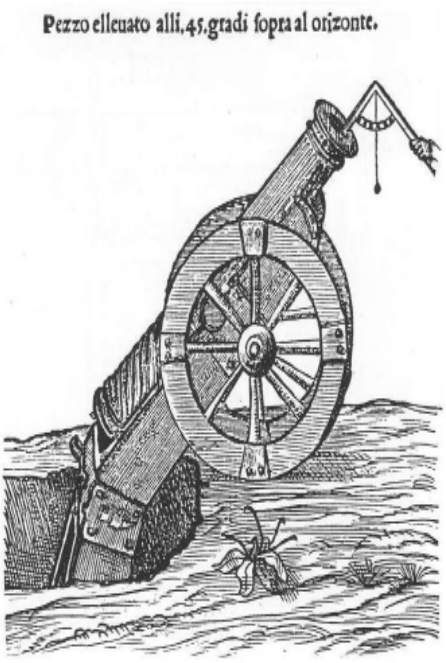


Fig. 2 - Cannone posto ad alzo 45° verificato con la squadra descritta da Tartaglia (da Nova Scientia, 1537)

con "*Inventione di Nicolo Tartaglia Brisciano intitolata Scientia noua.....*", nota con il titolo "*La Nova Scientia*". Dell'opera lo stesso Tartaglia racconta l'origine, ricordando che, mentre si trovava in Verona nel 1531, da un amico "bombardiere" gli venne chiesto in che modo disporre un pezzo d'artiglieria per ottenere la massima gittata. L'atteggiamento del Tartaglia è significativo: dopo aver premesso di non aver pratica nel campo, non avendo mai sparato un colpo con armi di alcun genere, "ben masticata & ruminata tal materia, gli conclusi, & dimostrai con ragioni naturale, & geometrice", di collocare la bocca da fuoco con un'inclinazione di 45°, ed alla

risposta unisce il disegno dello strumento, il quadrante, in grado di facilitare l'operazione. Ci si trova quindi di fronte ad un "ingegnere", che coniugando le esperienze pratiche con l'elaborazione teorica, dà applicazione e sviluppo alle conoscenze scientifiche disponibili con indicazioni costruttive accompagnate dal disegno[11]. L'opera ora citata appare divisa in cinque libri, di cui ci piace richiamare il contenuto con le parole stesse dell'autore[12].

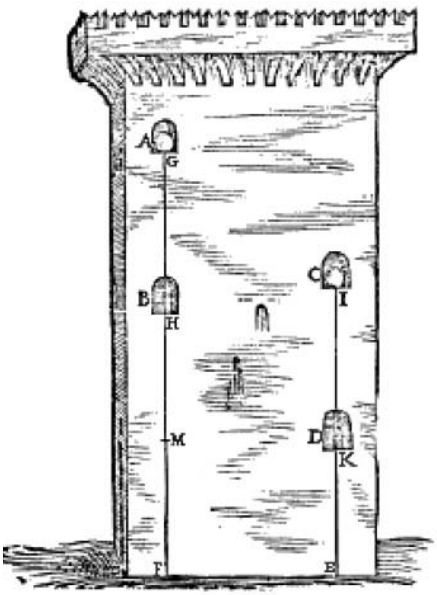
Nel Primo .... se dimostra theoricamente: la natura: & effetti de corpi egualmente gravi: in li dui contrarij moti che in essi puo accadere: et de lor contrarij effetti.

E in lo secondo (geometricamente) se approva, e dimostra la qualita, similitudine, & proportionalita di transiti loro secondo li varij modi, che puono esser eietti, over tirati violentemente per aere, & similmente delle lor distantie.

E in lo terzo se insegna una nova pratica de misurare con l'aspetto, le altezze distanti e ypothumissale, & orizontale delle cose apparente, giontovi .....la ragione & causa di tal operare.

E in lo quarto se dara la proportione de l'ordine ..... in ogni pezzo de arteglieria nelli suoi tiri, alzandolo over arbassandolo, sopra il pian de l'orizonte, & ..... anchora se insegnara il modo di trovar tutte le dette varieta, over quantita de tiri in ogni pezzo de artegliaria..... mediante la notitia dun tiro solo. .....Oltra di questo se insegnara ancora il modo come ..... percottere nel medemo luoco per altra via, over ellevatione quantunque piu non veda quel tal luoco.

E in lo quinto libro se dechiarira ..... la natura,& origine de diverse specie di gome, olei, acque stillate, anchora de diversi simplici minerali & non minerali dalla natura prodotti, & da l'arte fabricati, anchora se manifestara alcune sue particolare proprieta circa l'arte dei fuochi. ..... se dara il modo di componere, varie & diverse specie de fuochi, non solamente, alla defensione de ogni murata terra utilissimi, ma anchora in molte altre occorrenti e molto a proposito.



Propositione. iii.

Fig. 3 - Studio della caduta dei gravi da diverse altezze (1537)

In realtà l'opera si fermò ai primi tre libri, ma una parte degli argomenti in essi toccati e di quelli proposti, che dimostrano varietà di interessi e richiesta di un loro inquadramento di tipo scientifico, anche se con ingenuità ed errori, saranno sviluppati, con particolare attenzione agli aspetti pratici, nei *Quesiti* (cui si accenna più oltre).

Nella *Nova Scientia* si tratta quindi in primo luogo di dinamica e Tartaglia distingue un moto naturale dei corpi pesanti in caduta, con un'accelerazione dovuta al loro avvicinamento alla loro collocazione naturale, al centro del mondo (tanto più forte quanto maggiore è la distanza dell'inizio della caduta da questo centro) dal moto impresso violente-

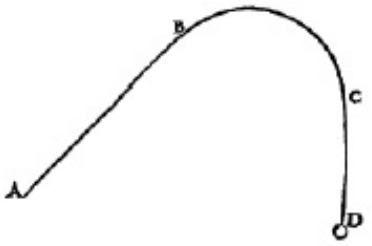


Fig. 4 - Prima ipotesi di traiettoria dei proiettili (1537)

mente ad un proiettile, per cui distingue una traiettoria continua in tre fasi (AB rettilinea, BC curva di giunzione, CD verticale), sostenendo si ha la velocità minima in C, dove termina il moto impresso ed inizia la caduta naturale[13]. L'ovvia necessità di valutare le distanze porta il Tartaglia alla elaborazione di strumenti per rilievo topografico, al loro uso e manutenzione, anche qui con l'approccio di un tecnico consapevole dei principi teorici e del loro uso pratico.

Un altro aspetto degli interessi "ingegneristici" del Tartaglia trova espressione nella *Travagliata inventione*, del 1551, in cui, con applicazione dell'idrostatica di Archimede, propone un metodo per il recupero di navi affondate, e nell'occasione propone anche una versione della campana per permanenza sott'acqua, con capsula in vetro: probabilmente i progetti erano troppo avanzati per la tecnologia del tempo,ma costituirono spunti e suggerimenti per gli sviluppi successivi[14].

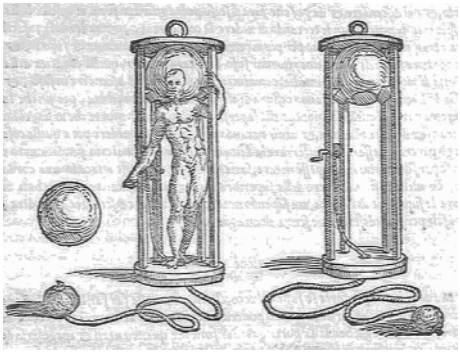


Fig. 5 - La campana per esplorazione subacquea (da la Travagliata inventione, 1551)

Il Tartaglia architetto militare

L'attività del Tartaglia si sviluppa, almeno a livello teorico, anche nel campo delle costruzioni militari, come per altri suoi predecessori, contemporanei e posteri: si può ipotizzare che questo settore rispondesse soprattutto all'esigenza di suscitare l'interesse delle autorità, con conseguente possibile ingaggio ben retribuito dei proponenti.

Quando l'architetto cinquecentesco si dedica a costruzioni civili, palazzi, chiese, ville, è indubbio che nel suo progetto la prevalenza è data alla forma, essendo i valori estetici quelli che maggiormente colpiscono i committenti. Diverso è il discorso per le esigenze militari, in cui i fattori tecnici assumono un peso preponderante, mettendo in primo piano proprio gli aspetti più ingegneristici. Ciò non solo per quanto riguarda le conoscenze acquisite in termini di resistenza strutturale, ma soprattutto per l'attenzione agli elementi innovativi, legati ad esempio alle armi da fuoco.

Il Tartaglia per primo dà alle stampe un trattato in cui si sostiene la possibilità di valutare il progetto di una fortificazione in relazione alle funzioni che essa deve svolgere: è logico pensare che tali considerazioni siano legate

alla previsione del comportamento dei proiettili lanciati dalle bocche da fuoco.

La trattazione delle fortificazioni è contenuta nel volume di *Quesiti et Inventioni*, pubblicato nel 1546, che perciò segue di nove anni la *Nova Scientia*, a cui è universalmente riconosciuto il merito di aver posto le basi scientifiche della balistica, come s'è visto in precedenza. Oltre al discorso sull'attenzione agli aspetti connessi alla necessità di costruire in modo da migliorare, grazie alla forma, la capacità delle mura di sostenere i tiri nemici, i citati *Quesiti* meritano attenzione anche sotto altri punti di vista.

Il primo riguarda l'impianto metodologico, che ne fa una specie di guida ai problemi tecnici posti dalle domande di interlocutori qualificati (illustri, come il Duca d'Urbino o l'ambasciatore di Spagna, o semplici tecnici, amici o conoscenti), quasi un manuale di riferimento (e tutti sappiamo come tali riferimenti siano strumenti di sostegno essenziali nell'attività ingegneristica).

Il secondo è la conferma della validità del testo, che oltre a successive edizioni ampliate dallo stesso autore, lo ha visto tradotto in altre lingue poco dopo la sua pubblicazione, citato positivamente in numerose opere dei secoli seguenti ed utilizzato (insieme al trattato di balistica) anche quando più perfezionati strumenti e sviluppi matematici lo relegavano a livello di un primo approccio semplificato, ma non per questo meno utile ai non specialisti.

Vale la pena una breve scorsa agli argomenti degli otto libri:

1. *sopra gli tiri delle artiglierie*
2. *sopra la differentia ... nelli tiri fatti con balla di Piombo, ...di Ferro....di Pierra e ...proporzione, peso e misura delle dette balle*
3. *sopra il salnitrio e delle varie composizioni della polvere delle arteglierie*
4. *sopra l'ordinar le schiere ... e del modo di far caminar ...*
5. *sopra il metter .... in disegno .... le piante delle città...*
6. *sopra il modo di fortificar le città rispetto alla forma .....* cui segue la *Gionta: nella quale si dimostra il primo modo di render una città inespugnabile*
7. *sopra gli principi delle questioni mechanice di Aristotile*
8. *sopra la scientia de' pesi..."*

Come si vede, oltre all'architettura militare del sesto libro, non mancano accenni di topografia ed anche di chimica,

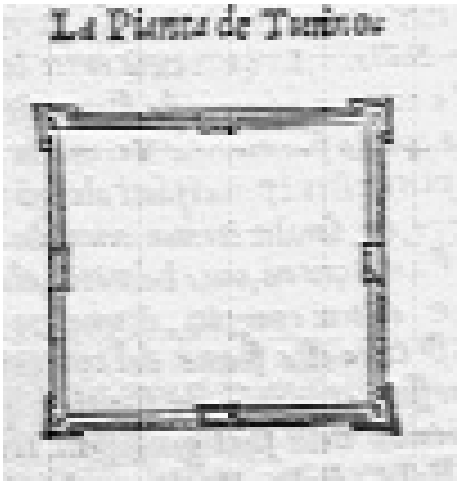


Fig. 6 - La fortificazione di Torino (da Quesiti .... del 1546)

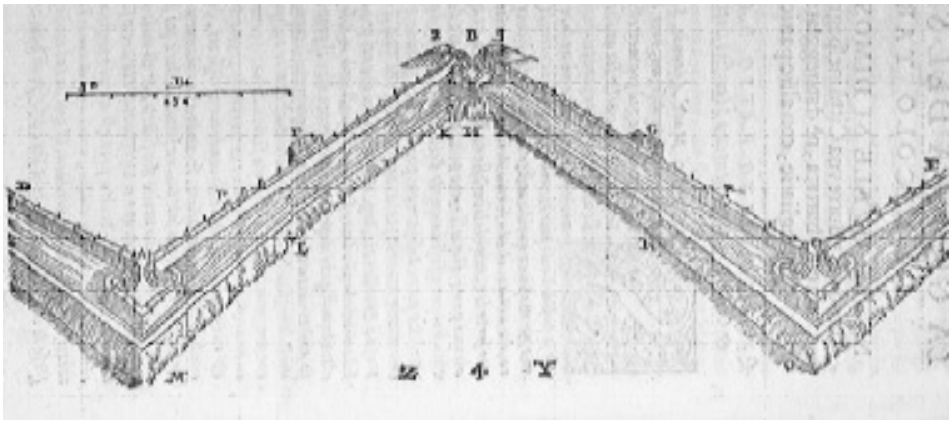


Fig. 7 - Un esempio di disposizione di una fortificazione
(dalla "Gionta al libro sesto" dei Quesiti...., edizione del 1554)

oltre allo sviluppo di argomenti meccanici, già in precedenza toccati. Traiamo ora un esempio dal sesto libro, dove, nella discussione con Gabriele Tadino da Martinengo, sperimentato comandante di piazzeforti[15], si discute della validità della fortezza di Torino.

All'epoca la città, di modesta estensione, era tuttavia considerata un nodo importante e perciò massicciamente fortificata, prima dai Duchi di Savoia e poi dagli occupanti francesi, tant'è che il Tadino presenta al Tartaglia il problema con la premessa "*vedeti qua, questo è il dissegno della pianta di Turino, qual dagli uomini de ingegno è giudicato esser inespugnabile*", particolarmente per le dimensioni.

L'osservazione di Tartaglia (che precisa di non aver esperienza diretta di costruttore) è in primo luogo la necessità di guardare alla forma delle mura più che alla loro grossezza, proseguendo poi, in relazione a successivi quesiti, ad enunciare una serie di sei obiettivi da tener presenti per la forma stessa.

Le mura non devono poter essere colpite perpendicolarmente dall'artiglieria nemica e non devono consentire alla stessa un avvicinamento che ne agevoli il tiro; devono invece consentire alle artiglierie a difesa di battere il nemico da almeno quattro punti diversi ed essere dotate di postazioni che rendano difficoltosi attacchi con scale; devono infine, nell'ipotesi di una loro parziale distruzione costituire ancora un ostacolo praticamente valido quanto prima. Ultima particolare esigenza, quella di racchiudere fra le mura terreno coltivabile in modo da sostenere un assedio anche dal punto di vista del sostentamento.

Al di là del significato di queste prescrizioni, riveste particolare interesse, per noi, il ripetuto richiamo del Tartaglia alla valutazione della bontà del progetto attraverso l'osservazione dei disegni che lo illustrano. La considerazione del disegno come elemento di valutazione e sviluppo dei progetti, ma anche come strumento per la modellizzazione e lo studio dei fenomeni fisici, ha in Tarta-

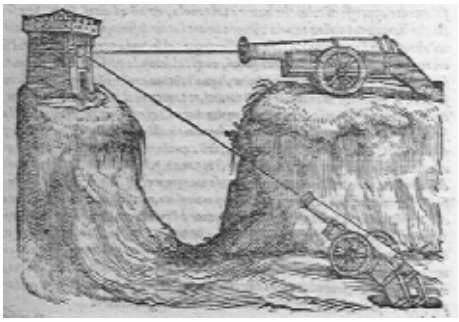


Fig. 8 - Studio dell'efficacia di tiro secondo la posizione (da Quesiti, ed.1554)

glia uno sviluppo importante, che segna praticamente l'inizio di questa metodologia, passando dagli allievi di Tartaglia a Galileo ed a tutta la scienza moderna.[16] Dal primo libro è tratta ancora la dimostrazione del fatto che un cannone collocato in una valletta al di sotto di un muro fortificato, ad una distanza di 100 passi, lo danneggia maggiormente rispetto a quanto possa fare un cannone posto su un rilievo, a solo 60 passi, che tiri in direzione orizzontale.

Solo le considerazioni geometriche accompagnate alla teoria balistica consentono di superare quel che appare evidente al senso comune e di correggere la pratica con la teoria. Ciò conferma quanto storici della scienza e dell'ingegneria hanno affermato, questa volta in pieno accordo, che un'interazione fra teoria e pratica, nasceva da esigenze concrete e che non era più pensabile in alcun campo un reale sviluppo tecnologico senza l'apporto di un adeguato supporto matematico. Non si dimentichi che questo era già presente nella pratica progettuale dell'architettura, ma dal XVI secolo si diffonde ad una grande varietà di soggetti la conoscenza scientifica, di livello diverso per competenze e ruoli diversi, ma sempre in grado di indurre uno spirito critico che supera la semplice acquisizione dell'esperienza.[17]

Conclusioni

Riprendendo quanto accennato all'inizio, queste brevi note vogliono richiamare, anche per i cultori della storia dell'ingegneria, l'attenzione su uno dei simboli di quella collaborazione fra esperienza, indagini sperimentali ed elaborazioni teoriche, che si pone alla base della scienza moderna.

Può forse apparire eccessivo voler arruolare fra gli ingegneri il matematico Tartaglia, ma ci troviamo di fronte davvero ad un ingegnere, che coniuga le esperienze pratiche con l'elaborazione teorica, applicando e sviluppando le conoscenze scientifiche disponibili, ponendole a disposizione degli interessati[18] . E' forse il caso di ricordare come ciò corrisponda all'ingegnere italiano, diverso (nel bene e nel male) dall' *engineer* anglosassone, in quanto formato dalla nostra tradizione e dalle nostre scuole alla cultura scientifica.

Nel riproporre la figura di Tartaglia alla nostra attenzione non si può trascurare come moderna appaia la sua sensibilità di tipo etico, che l'aveva fatto esitare a pubblicare la *Nova scientia* perché ben consapevole dell'immediato uso militare che le sue ricerche sulla balistica dei proiettili avrebbero avuto: quel tipo d'uso gli ripugnava, perché gli sembrava *"cosa biasimevole, vituperosa e crudele e degna di non poca*

punizione presso Dio e gli uomini di voler studiare di perfezionare tale arte così dannosa al prossimo, anzi distruttrice della specie umana e soprattutto dei Cristiani nelle loro continue guerre". Solo l'incombente pericolo di un'invasione dell'Europa da parte dei Turchi e le alleanze strette allora dai prìncipi cristiani lo convinsero che era moralmente obbligato a prender parte all'impresa della difesa della Cristianità con la sua stessa scienza. Solamente a quel punto si era deciso a riprendere i suoi studi sulla balistica e a renderli pubblici, "*acciochè ogni Cristiano sia meglio atto sì nel offendere come nel difendersi*" dai Turchi.

Personaggio quindi meritevole di attenzione, per cui permane il rammarico che non abbia visto la luce il volume progettato da Arnaldo Masotti cinquant'anni or sono, che prevedeva un adeguato sviluppo dei vari aspetti della complessa attività del Tartaglia e della sua vita sullo sfondo culturale e politico del periodo.[19]

Nota bibliografica

Le opere del Tartaglia sono state pubblicate in diverse edizioni, alcune già mentre l'Autore era in vita, altre postume, e poi in gran parte ripubblicate, tradotte, ridotte o commentate.

Per gli studiosi interessati è ora disponibile l'insieme di tutte le opere originali in 3 CD, editi, a cura di Pierluigi Pizzamiglio, dalla Biblioteca di Storia delle Scienze "Carlo Viganò" dell'Università Cattolica in Brescia.

[1] sulla relatività dei giudizi umani, valga l'emissione nel 1969, da parte francese, di un francobollo commemorativo di tale impresa, in una serie dedicata alle glorie di Francia

[2] P.PIZZAMIGLIO, *L'Ateneo di Brescia e Niccolò Tartaglia*, Atti del Convegno "L'Ateneo di Brescia e la storia della scienza" (Brescia, 20-21 ottobre 1985)

[3] G.MICHELI, L'assimilazione della scienza greca, in "*Storia d'Italia, Annali, 3, Scienza e tecnica....*", Torino, Einaudi, 1980

[4] un interessante discorso sull'argomento si trova sul sito *ww2.polito.it/didattica/polymath*. a cura di FEDERICO PEIRETTI

[5] si può ricordare la sintesi di RICHARD FRIEDMANN. "*The Cardano-Tartaglia dispute*", in *From Five Fingers to Infinity*, Chicago, Open Court, 1994 e l'articolo dedicato alla questione da J.J. O'CONNOR-E.F.ROBERTSON, *Nicolo Fontana Tartaglia*, sul sito *www-gap.dcs.st-and.ac.uk*

[6] G.MICHELI, "*L'assimilazione della scienza greca*", in "*Storia d'Italia, Annali, 3, Scienza e tecnica....*", Torino, Einaudi, 1980

[7] l'ultima parte apparve nel 1560, dopo la sua morte

[8] cfr. B.GILLE, *L'evolution de la civilisation technique*, in *Histoire generale des techniques* , a cura di M.DAUMAS, P.U.F., Paris, 1964

[9] GALILEO GALILEI, "*Discorsi e dimostrazioni intorno a due nuove scienze*", Leida, 1638

[10] DUGAS, R., *Histoire de la Mecanique,* Griffon, Neuchatel, 1955

[11] per riferimenti precisi per la consultazione di questa e delle altre opere del T. si veda la nota in conclusione della presente memoria

[12] T. non era un umanista, pur conoscendo il latino come tutte le persone colte del suo tempo; le sue opere sono scritte in italiano, con quel tanto di semplificazione e terminologia tecnica che lo fanno apparire "rozzo" ai puristi e spesso "espressivo" a chi lo legge senza preconcetti

[13] ma nei *Quesiti* T. precisa che, tranne nel caso in cui la particella sia lanciata verticalmente, la traiettoria di un colpo non ha parti rettilinee e la gravità naturale fa curvare continuamente la traiettoria verso il basso.

[14] cfr. ALEX KELLER, *Archimedean Hydrostatic Theorems and Salvage Operations in 16th-Century Venice* , Technology and Culture, v. 12, n. 4, 1971

[15] Il Tadino (1475-1543) , generale al servizio di Venezia, Cavaliere di Rodi, era stato assunto dall'imperatore Carlo V d'Asburgo come consigliere militare per le difese fortificate e per le artiglierie.

[16] E. CHIRONE, D. CAMBIAGHI, *Meccanica e Macchine nella rappresentazione grafica fra Medioevo e Rivoluzione Industriale*, Atti Convegno Internazionale XVI ADM-XIX INGEGRAPH (Perugia, 6-8 giugno 2007)

[17] cfr. M.HENNINGER-VOSS, *The rchitectonic understanding of design*, in "*Picturing Machines*", a cura di W.LEFEVRE, M.I.T., 2004

[18] il KLEMM, nella sua *Storia della tecnica* (trad.it., Milano, 1959), scrive:"... Tartaglia si pose al servizio di un artigianato in ascesa che auspicava un approfondimento scientifico del proprio lavoro. Mastri archibugieri e tecnici di guerra, esperti minerari e fonditori di metalli, agrimensori e commercianti devono essersi spesso rivolti al dotto Tartaglia"

[19] presso la Biblioteca del Politecnico di Milano esiste un *Archivio Tartaglia*, nel *Fondo Arnaldo Masotti* ivi custodito

ALDO AVETA

Luigi Vanvitelli e la cultura tecnica del Settecento

Nel campo della storia della ricerca scientifica e tecnologica, nonché in quella dell'architettura molto è stato scritto in relazione ad un periodo particolarmente significativo per gli sviluppi registrati, il XVIII secolo. A tale epoca dei "lumi" appartiene un personaggio, Luigi Vanvitelli celebrato in occasione del convegno a lui dedicato nel 1973 ed oggetto di una imponente monografia[1]. Si è anche indagato sulla sua formazione, benché su tale argomento manchino riferimenti precisi, dovendosi desumere ogni considerazione dal ricco epistolario (1700 scritti), ovvero dalle lettere inviate da Vanvitelli a suo fratello Urbano, residente a Roma, contenenti la testimonianza di quasi un ventennio di intensa attività a partire dall'opera casertana (1751) fino al trasferimento del fratello a Napoli (1768). Per tale motivo sembra utile focalizzare l'attenzione su alcuni aspetti per meglio delineare il suo rapporto con la cultura scientifica del tempo ed il suo modo di confrontarsi con problemi di grande complessità tecnica.

Orbene, gli studiosi concordano sul fatto che all'inizio del Settecento si manifesti con chiarezza il contributo allo sviluppo della società fornito da un tecnico le cui capacità e competenze erano state già delineate tra il XVI ed il XVII secolo: è quella dell'ingegnere, impegnato prevalentemente nella costruzione di fortificazioni e di infrastrutture territoriali. In particolare, S. Di Pasquale ha segnalato l'importanza, nel settore dell'architettura, dei contributi divulgativi, e tra questi quello di notevole spessore di B.F. de Belidor, autore di un trattato destinato a riscuotere grande fortuna editoriale e sul quale si formeranno per più di un secolo intere generazioni di tecnici[2]: in esso si potevano rintracciare regole e metodi applicativi sulle più diverse problematiche del costruire[3]. Ma i contributi di Belidor, dal punto di vista scientifico, non sono ritenuti molto significativi: egli divulga le opinioni più diffuse, senza tener conto del dibattito accademico in quegli anni molto vivace[4].

In tale secolo vive ed opera L. Vanvitelli, del quale R. Di Stefano ha evidenziato le capacità di ingegnere idraulico, costruttore di porti e di ponti e restauratore di monumenti, definendolo una sorta di autodidatta che ha "dovuto far tutto a forza di schiena e studio a tavolino"[5]. Circa la formazione ed il gusto C. de Seta sottolinea che i disegni di Vanvitelli sono tipici della cultura tardo barocca - con riferimenti sia a Borromini, Bernini, Pietro da Cortona, Rainaldi - non solo dell'ambiente italiano, ma anche del gusto "rocaille" d'oltralpe che egli doveva conoscere attraverso i trattati più noti. Mette, dunque, in relazione Vanvitelli con l'ambiente romano e quelli europei, e individua un a-

nello importante nell'opera di Carlo Fontana, dai cui disegni de Seta è convinto che Vanvitelli trasse spunto. Ci segnala ancora che almeno fino agli anni Trenta è palese l'influenza dello Juvarra nelle scelte scenografiche del Nostro[6].

Dal suo epistolario si evidenzia che Vanvitelli possiede una ricca biblioteca: il libro dell'architettura di G.B. Montano, quelli di Vitruvio nella edizione del Caravita e del Perrault, il trattato del Vignola, l'Opus architettonicum di Borromini, i volumi di Jean-François Blondel, nonché numerosi trattati di ingegneria e di idraulica[7].

Sul tema delle sue conoscenze si è espresso anche R. De Fusco, il quale lo considera un uomo di vasta informazione culturale, che possedeva una grande quantità di testi sull'architettura, di stampe, di quadri e che aveva relazioni con i personaggi di più alto livello del suo tempo; sottolinea, però, la sua notevole avversione per la teoria e la critica architettonica ed un certo disinteresse per l'archeologia e l'antiquariato. Su tale ultimo aspetto si era espresso il critico M. Ruggiero, citato da A. Venditti[8].

Il periodo in esame è ricco di fermenti ed è caratterizzato dalla polemica antibarocca che segna l'inizio dell'idea settecentesca di architettura: eppure anche nei contributi dei trattatisti si rilevano approcci diversificati: da un lato, quello del canonico L.G. de Cordemoy, il cui "*Nouveau Traité de toute l'Architecture*" (1706), che fu criticato per non aver sufficientemente approfondito gli aspetti costruttivi; dall'altro, nel trattato di A.F. Frézier "*La théorie et la pratique de la coupe des pierres et des bois*" (1739), la decadenza dell'architettura contemporanea è messa in relazione con l'ignoranza costruttiva. La pubblicazione di quest'ultimo trattato coincide con il periodo nel quale Vanvitelli, dopo aver esordito con opere tecniche e di restauro, è impegnato nei lavori di Ancona. Ebbene, la tendenza tecnicistica del suddetto testo, presto divulgatasi in tutta la cultura architettonica del tempo, trova una perfetta corrispondenza nell'opera vanvitelliana e costituisce una delle principali componenti delle sue realizzazioni: R. De Fusco giunge alla conclusione che Vanvitelli, se si eccettua la Reggia di Caserta e poche altre opere di spicco, è impegnato prevalentemente in opere di restauro, ovvero in attività progettuali e cantieristiche nelle quali il fattore tecnico risulta di primaria importanza[9]. A. Venditti, d'altra parte, riferendosi ad alcune date significative della sua attività, come le opere di Ancona (1733-43), la fondazione della Reggia di Caserta (1732), sottolinea il fatto che Vanvitelli "*apre le porte al neoclassico*"; e, continuando segnala che "*se appare chiara ed innegabile nel Vanvitelli la costante presenza di un'ispirazione classicistica, è pur vero che egli supera ogni premessa culturale per raggiungere, in quasi tutte le sue opere, accenti individuali*"[10].

Ma quali risultano le evoluzioni più significative nel campo delle scienze che possono aver avuto un diretto legame diretto o indiretto con le applicazioni nel

campo architettonico e infrastrutturale di Vanvitelli? La Fisica e la Chimica nel XVIII secolo subiscono una vera e propria rivoluzione[11] . Va, poi, ricordato che, con Leonardo prima e poi con Galileo, sempre più vasti orizzonti si andavano aprendo alla Meccanica intravedendosi la possibilità di inserire e di risolvere l'arte del costruire come episodio specifico e particolare della nascente «nuova scienza». Viene in luce, finalmente, la fecondità del connubio tra le forme di un linguaggio ideale - il linguaggio matematico - e le regole costruttive che, agli occhi di uomini che avevano ereditato le norme dei trattatisti rinascimentali, potevano apparire autogiustificanti e, quasi, fini a sé stesse. Eppure, E. Benvenuto ha sottolineato: "*che le prime indagini sperimentali, per quanto applicate ad elementi strutturali, come travi, ferri, colonne, ecc., non erano rivolte specificamente ad arricchire il bagaglio di nozioni del costruttore. Dunque, anche se la ricerca scientifica era caratterizzata da grandi dispute sulla statica e sulla resistenza dei materiali, non si può affermare che la sua intenzione fosse rivolta ai problemi dell'architettura, e neppure che gli architetti e gli ingegneri dimostrassero sensibile interesse verso tali studi. Piuttosto, solo nel XVIII secolo, con la divulgazione dei trattati «sull'arte di costruire» che attingevano in qualche modo alle nuove conoscenze scientifiche, si inizia a scorgere la fecondità, per le risoluzioni tecniche, del connubio che oggi ci appare naturale e imprescindibile*"[12].

Dopo il *Traité du mouvement des eaux* (Parigi, 1686), nel quale Mariotte pubblica i risultati di una serie di esperimenti su leve e travi incastrate e dimostra che la tesi di Galileo non è rigorosamente confermata dall'esperienza e che la frattura nei materiali sopravviene quando la dilatazione supera i limiti consentiti, nel XVIII secolo si configura più nettamente il ruolo dell'ingegnere come portatore della cultura scientifico-tecnica di ispirazione illuminista: ne consegue, tra l'altro, la tabulazione dei risultati sperimentali utili al dimensionamento delle strutture. Va anche citata la grande importanza che assumono gli studi sviluppati nell'ambito delle scuole militari, che, durante il primo ventennio del Settecento, furono create in Francia e che influenzano non poco anche il contesto italiano.

Il Settecento risulta di importanza determinante anche per gli sviluppi teorici nel campo che può direttamente riguardare l'architettura, testimoniati dalle prime trattazioni sull'equilibrio delle strutture. Si manifesta, in sostanza, l'interessamento dei matematici alla ricerca di curve (funicolari, catenarie, ecc.) che risolvono per via geometrica problemi di natura costruttiva: si citano, in proposito, il Parent, che individua la posizione dell'asse neutro (1713) ed Eulero, per la classificazione delle curve elastiche piane, la loro forma e le loro equazioni (1744). I primi elementi di una vera e propria teoria statica degli archi e delle volte furono definiti dal già citato matematico P. De La Hire (1712), i cui contributi vennero pubblicati nel 1730-

31, e dal Couplet (1772): si registra l'inizio di una chiave di lettura dell'arco che resterà egemone durante il XVIII secolo e che a fatica sarà rimossa a seguito di reiterate contraddizioni sperimentali[13]. Anche se il modello di de La Hire fu molto apprezzato e, dunque, sarà seguito fino alla divulgazione delle teorie di Coulomb sull'attrito, i costruttori continuavano a fidarsi molto di più della regola riferita da padre Derand, che aveva radici medioevali[14]. Alle tesi di de La Hire e di Couplet si collegano gli studi di B. Forest de Bélidor: il suo sistema grafico-analitico sarà largamente impiegato fino alla fine del XVIII secolo, quando grazie agli studi di Coulomb e Mascheroni, sarà individuato il nuovo meccanismo flessionale[15]. Dalle ricerche citate emerge come nel XVIII secolo la cupola venisse considerata una struttura soggetta all'applicazione di leggi matematiche e meccaniche. Cospicuo, in tale periodo, è stato il contributo fornito dagli studi pubblicati in Francia, che favoriscono la divulgazione in Europa dei risultati delle ricerche sul calcolo analitico e sulle leggi della meccanica attraverso le *Memoires dell'Académie Royale des Sciences de Paris*; un altro rilevante apporto è fornito dal Poleni nel 1743, allorquando pubblica le *Memorie Istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano* con il progetto del restauro, poi eseguito dal Vanvitelli[16].

Nella seconda metà del Settecento si sviluppano ulteriori e rilevanti studi sulla stabilità di archi, volte e cupole: alcuni trattati evidenziano interessanti considerazioni innovative su spinta e attrito, ma legami ancora forti con il dimensionamento geometrico delle cupole[17]. L'impulso per un approccio innovativo è data dall'eccezionale contributo di Coulomb, con il saggio sulla teoria delle volte dotate di attrito e di coesione (1773)[18].

Nel XVIII secolo il contributo degli scienziati napoletani al progresso delle dottrine matematiche nella grande epoca di Newton, Leibnitz, Eulero non fu particolarmente significativo; le motivazioni addotte da taluni studiosi risiedono nelle condizioni di particolare disagio economico in cui versavano tali scienziati al confronto con quelli degli altri stati europei. Eppure, nelle applicazioni di tali teorie alla scienza delle costruzioni, nonché nel campo della divulgazione e della didattica, il contributo degli scienziati napoletani fu particolarmente propizio alla formazione di nuovi tecnici[19]. Nel capoluogo partenopeo l'interesse per le scienze applicate fu forte grazie all'opera di G.B. Vico, di C. e F. Galiani, di B. Intini e, soprattutto, di A. Genovesi; nel contempo, c'è da ricordare che la formazione per tutto il Settecento dei futuri ingegneri ed architetti avveniva non solo presso l'Università, ma presso le Scuole Militari ed anche presso l'Accademia di Belle Arti[20].

Tra i numerosi scritti di natura tecnica va segnalato, in ambito napoletano, la *Statica degli Edifici* di V. Lamberti (1781)[21], testo definito da E. Benvenuto "bellissimo e discutibile"; lo stesso Lamberti, qualche anno prima, aveva pubblicato un saggio sulla misura delle volte[22].

Sulla personalità di Vanvitelli, A. Buccaro, in linea con le osservazioni di R. De Fusco, ha segnalato che l'architetto mostrò una certa simpatia per gli scienziati rivolti alla tecnica e all'attività sperimentale, contro l'astrazione e l'erudizione inutile, ma fu sordo ai nuovi stimoli emersi, ad esempio, nei circoli giansenisti dell'ambiente romano, e, dunque, a quel razionalismo progressista ed antibarocco[23]. Vanvitelli risulta, dunque, fortemente ancorato all'insieme di norme acquisite nella pratica dell'arte, un costruttore alla maniera di Vitruvio, alieno da suggestioni mitiche o archeologiche: in lui non è possibile distinguere il tecnico dall'artista, essendo la sua architettura ancora, prevalentemente, tutta all'interno del vitruvianesimo. Ancora, secondo R. De Fusco il punto di maggiore convergenza di Vanvitelli con la teoria e la critica del Settecento è la nozione di "techné", ovvero di un'arte come sinonimo di progressiva acquisizione dell'abilità tecnica, del mestiere, già presente in Vitruvio, nell'Alberti e in tutta la trattatistica cinquecentesca.

Dall'analisi delle sue opere e del suo epistolario, sono state ben individuate le indiscutibili capacità tecniche che gli valsero la stima di Carlo di Borbone. Vanvitelli, ad esempio, si occupa con grande scrupolo dell'approvvigionamento dei materiali da costruzione, ritenendo che da tali scelte derivasse direttamente la validità statica ed estetica dell'opera. A Caserta per la buona riuscita del complesso vigilava su tutto, dalla scelta e dall'acquisto dei materiali, alle gare ed ai contratti di appalto; dall'organizzazione e dai trasporti delle forniture all'assunzione e remunerazione della mano d'opera fino alla distribuzione degli operai nei cantieri. Un'ingerenza che avveniva anche nelle questioni amministrative e che era mal sopportata dal responsabile Neroni.

Incarna così la figura di un architetto a tutto campo che affronta la realizzazione dell'opera progettata con la piena consapevolezza delle difficoltà insite in tale fase e con la determinazione e l'entusiasmo di chi intende raggiungere l'attuazione dell'idea progettuale. La ricerca dei materiali da costruzione più idonei, sia dal punto di vista della resistenza che della lavorabilità, tiene fortemente impegnato Vanvitelli, che dimostra esperienza e conoscenza tecnica davvero insolite. Si reca personalmente nelle cave, ove sceglie i marmi intuendone l'effetto cromatico a seguito delle successive lavorazioni, così come le caratteristiche fisiche di resistenza delle pietre. Il cantiere edilizio è il luogo nel quale egli si muove con sicurezza e dove riesce ad affrontare e superare ogni ostacolo. Egli mostra, poi, grande attitudine a inventare e costruire ponteggi, impalcature, macchine: tra questi va ricordato il sistema escogitato per il sollevamento e la posa in opera delle grandi colonne del portico di Caserta e di quelle nel palazzo reale di Napoli.

Il suo atteggiamento pragmatico è fondamentale nella soluzione di problemi complessi: nell'affrontare le opere per il Lazzaretto ed il porto di Ancona, Vanvitelli ascoltò con attenzione il pare-

re di ben 82 capitani di navi inglesi, olandesi, svedesi, francesi e danesi nonché molti proprietari di barche nel porto suddetto; analizza, inoltre, la letteratura specialistica in cui sono descritte le strutture dei porti europei sia "naturali et artefatti", sia "antichi che moderni", ovvero quelli di Messina, Palermo, Napoli, Livorno, Genova, Tolone, Marsiglia, Barcellona, ecc.. Per determinare il moto ondoso e la più opportuna posizione delle nuove opere di difesa, Vanvitelli studiò prima il regime locale dei venti e la loro direzione, forza e frequenza riferita al periodo di un anno. È certo che egli non visitò i porti citati, ma studiò con grande attenzione il trattato di Belidor che ne riportava le piante. Analogo atteggiamento pragmatico ispira le sue attività progettuali per i porti di Fiumicino, di Anzio e di Fano.

In tema di sistemazioni idrauliche vanno segnalati gli ottimi risultati quali quelli conseguiti nei lavori di rinnovo delle saline di Barletta, nell'ambito del programma di riordinamento dell'amministrazione finanziaria e di revisione delle entrate fiscali di Carlo di Borbone: è del 1754 una sua importante relazione sulla situazione delle saline e sui rimedi da adottarsi, che tiene in considerazione le osservazioni degli operatori del sito, dei Maestri delle saline e degli operai. La complessità del sistema, le interferenze con l'interesse dei privati per la pesca nel contiguo lago Pantano lo costringono a procedere con prudenza negli anni, prendendo ogni decisione dopo accurate visite nei siti, fino alla definizione di vari tipi di opere edili, tra le quali il ripristino dell'antica foce e l'applicazione di uno specifico dispositivo per sollevare l'acqua marina in alcuni invasi, ovvero "col far uso della Ingegnosa Coclea d'Archimede", con grande risparmio di manodopera. Egli pone particolare attenzione nell'appalto delle opere nel 1762 applicando il sistema all'"accenzione della candela", ovvero del sistema del massimo ribasso, ma escludendo un'offerta che conteneva una pericolosa riserva.

Nel Settecento i costruttori di ponti e canali avrebbero potuto avvalersi di una serie di studi teorici sulla resistenza dei materiali e, soprattutto, delle prime conoscenze matematiche sul flusso dei fluidi; in tal senso risultavano fondamentali i risultati raggiunti da Newton, lo scienziato inglese che aveva dimostrato sperimentalmente che la resistenza opposta da un fluido ad un corpo che si sposta aumenta con il quadrato della velocità[24]. Ma i risultati di matematici e fisici non riuscivano ancora ad essere utilizzati dai tecnici.

Per quanto concerne l'impegno di Vanvitelli per importanti infrastrutture quali gli acquedotti, essa presenta approcci sistematici di chiara matrice illuministica. Dopo l'esperienza acquisita in area romana per le acque del Vermicino, di Trevi e dell'Acqua Felice[25], dopo un ventennio è impegnato nella progettazione dell'acquedotto carolino, laddove risultava essenziale assicurare le risorse idriche indispensabili per un programma edificatorio vasto e complesso. La fase del rilievo è per Vanvitelli un elemento di conoscen-

za insostituibile: il rilievo altimetrico molto preciso delle sorgenti di Airola gli consentirà di progettare un articolato percorso che comporterà l'invenzione progettuale degli archi della Valle del ponte omonimo. Per affrontare tale impegno è documentato che egli si avvalga dei trattati più significativi dell'epoca: "*benedetti li libri che ho portati, perché con quelli e quello che so spero nella Misericordia di Dio che non sbaglierò certamente in niuna cosa*". I libri cui si riferisce sono quelli di Carlo Fontana, di Belidor, di Barattieri[26].

Circa i ponti della Valle c'è da osservare che il progetto, pur essendo ispirato al Pont du Gard in Provenza, mostra una chiara originalità per una diversa soluzione determinata dalle difficoltà legate alle maggiori dimensioni: la diversa impostazione strutturale ispirerà un disegno razionale di grande eleganza e semplicità dettato da un forte senso di proporzione statica ed architettonica nel superare una luce di ben 529 metri con piloni alti da poche decine di centimetri a m. 57,50. Anche in tale occasione Vanvitelli si scaglia contro i teorici per il fatto che questi avevano criticato la sua scelta: egli sostiene che gli esperimenti compiuti dai matematici portavano a risultati pratici errati. Nelle "prattiche" a suo avviso conveniva adottare le teorie della Matematica e studiare poi le ragioni, cioè dopo aver analizzato gli effetti: e poiché gli effetti sono diversi, a questa diversità non si può dare "*il principio certo di una sol teoria la quale serva per fondamento di discorso ma non già effetto plausibile*"[27].

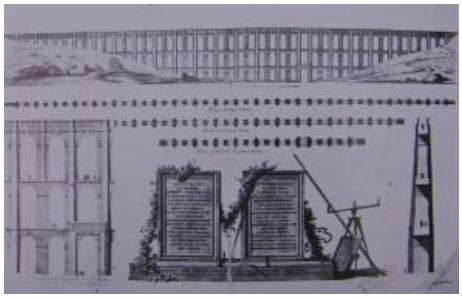


Fig. 1 – Progetto vanvitelliano per il ponte della Valle, da AA.VV. Luigi Vanvitelli, *cit.*

Anche in tema di ponti sui fiumi gli studi sulla storia della tecnologia evidenziano le interessanti acquisizioni manifestatesi nel XVIII secolo in relazione alla pratica del drenaggio, all'uso dei cassoni, al sistema delle centine in legno ed anche agli studi per ridurre lo spessore dei pilastri rispetto alle luci degli archi. Anche per il ponte di Canosa, Vanvitelli evidenzia la necessità di avere una "giusta pianta" per esprimersi sui risultati di un provvedimento attuato a seguito dei danni arrecati dal fiume Ofanto: la costruzione di palizzate di sbarramento. Ma tale opera, quasi un tentativo sperimentale, non risultò efficace in quanto le acque in piena scavalcarono nuovamente gli argini. Di fronte al complesso problema propone due soluzioni alternative, senza indicare la più affidabile, svincolandosi dall'incarico e lasciando il campo agli ingegneri militari.

Maggiore interesse ed attenzione progettuale vengono dedicati al ponte di Benevento molto danneggiato da una piena del fiume Calore, sempre rapportando il disegno "dello stato come ritrovasi" con quello "che occorrerà per risarcirlo". L'analisi della sua consisten-



Fig. 2 – Particolare del modello in legno della cupola della basilica vaticana con le modifiche del Vanvitelli, da R. DI STEFANO, La cupola di S. Pietro, *cit.*

za e degli elementi costruttivi induce Vanvitelli a mettere in relazione le cospicue irregolarità alla costruzione di un manufatto risalente ai "secoli oscuri e poco colti per sostenere uno che presentemente più non esiste". Compie, quindi, una diagnosi dei dissesti connessi a preoccupanti lesioni delle strutture, attribuendo la causa ad "un moto strano e generale" dell'intera costruzione. Propone, alla fine, interventi sulla platea di fondazione ed altre opere dettate dalla sua esperienza. Per il ponte di Eboli, poi, formula le sue proposte operative, indicando diverse ipotesi per le nuove fondazioni a seconda delle natura dei terreni che si sarebbero trovati[28].

La grande esperienza e l'intuizione tecnica di Vanvitelli in alcuni casi complessi hanno mostrato seri limiti: un esempio emblematico è quello del restauro della cupola di San Pietro. Sono ben note le vicende, che sono state ampiamente indagate in un magistrale saggio di R. Di Stefano[29]. In tale occasione, la relazione di G. Poleni fisico e matematico di chiara fama, incaricato dal papa Benedetto XIV di risolvere i problemi dei dissesti della cupola vaticana, non solo consente di acquisire lo stato delle conoscenze scientifiche nel XVIII secolo, ma affronta il complesso tema con una metodologia tuttora attuale per un progetto di restauro. Nello "Stato dei difetti" allega il rilievo minuzioso della struttura con la rappresentazione grafica dettagliata di tutte le lesioni e le deformazioni riscontrate: indagine affidata a L. Vanvitelli.

Questi dimostra la sua grande capacità tecnica nella fase di analisi, ma incorre in gravi errori nel momento in cui formula, in modo anonimo, la sua proposta progettuale. Proposta che come tutte le altre non viene ritenuta corretta da Poleni. Vanvitelli, pur convinto delle proprie idee, mette in atto i provvedimenti previsti da Poleni, risolvendo anche il problema della posa in opera delle grandi cerchiature metalliche con un dispositivo di fissaggio innovativo ed efficace. Successivamente, di fronte a nuovi dissesti della cupola, persevera nell'errore di valutazione commesso contestando "le ciarle" del Poleni.

La fiducia nell'esperienza più che nella scienza è evidente in una nota po-

lemica a Napoli con V. Lamberti in relazione alla perizia di questi, nel 1772, sui dissesti della cupola del Gesù Nuovo. Egli si dichiara convinto che la tesi del giovane ingegnere fosse fondata su approcci troppo teorici sia del de La Hire che di Belidor, ma risultasse poco attenta alla pratica dell'arte edificatoria e della scienza dell'Architettura. E' critico anche nei confronti del Belidor, sostenendo che questi "*non può dare regole certe della grossezza delle volte e piedi dritti, perché gli edifici sono soggetti ad una infinità di circostanze ò sia per la figura ò sia per parte della solidità più o meno delli materiali*". In sostanza, per Vanvitelli ai fini del dimensionamento di archi e piedritti "*la soluzione più dipende dall'intelligenza di coloro che dirigono le opere che dalla geometria; per la qual cosa pare miglior avviso l'attenersi all'esperienza, cioè esaminare i monumenti antichi di tal natura*"; dunque, è utile ricavare le dimensioni da confronti e analogie ed anche tenendo in considerazione la qualità delle pietre adoperate.

Qualche ulteriore considerazione meritano alcuni interventi di restauro. Qui si evidenziano particolari capacità di Vanvitelli di inventare soluzioni architettoniche in cui trasforma e consolida al tempo stesso i manufatti dissestati: è il caso, ad esempio, di Villa Campolieto ad Ercolano, in cui opera nel decennio 1963-1973[30]; si segnalano, ancora, diagnosi repentine dei dissesti, come nel caso del crollo di alcune volte murarie durante la costruzione del palazzo di Persano; dello sprofondamento di via Toledo all'incrocio con vico Tofa, in Napoli; della frana di Monte Longano; dell'annoso problema della "lava dei Vergini", le copiose acque che invadevano via Foria nei pressi di Porta S. Gennaro. Le sue grandi doti tecniche si esaltano anche nelle prescrizioni attuative che egli affianca alle soluzioni progettuali. È anche evidente che di fronte a problemi complessi ed al ristretto tempo a disposizione per motivi contingenti non sempre tali diagnosi risultano corrette. È da citare, in tal senso, il consolidamento della facciata del palazzo Reale in Napoli: la sua straordinaria soluzione architettonica consistente nel murare alternativamente le arcate è dettata dall'interpretazione di un quadro fessurativo dei pilastri che egli, per l'intervento proposto, ha considerato essere soggetti a schiacciamento. Ma, avviate le operazioni, si rende conto che l'edificio "*era fondato sopra terreno molle, onde converrà rifondarlo*". Probabilmente, quindi, il dissesto era stato originato da cedimenti fondali.

In conclusione, Vanvitelli sembra ben identificare, nella sua attività prevalente, quel tecnico "l'architetto-restauratore" che sarà nel secolo successivo delineato con grande lucidità negli scritti di E.E. Viollet le Duc[31].

Un'ultima notazione: non sono pochi i punti in comune tra Vanvitelli e Viollet le Duc. Anche per l'architetto francese non è ben chiara la fase della sua formazione e, soprattutto, con quali conoscenze sia riuscito ad affrontare temi complessi come la Madeleine de Vézelay a soli 26 anni.

[1] Si tratta del Convegno internazionale "Luigi Vanvitelli e il '700 europeo" (5-10 novembre 1973), i cui Atti sono stati pubblicati a Napoli nel 1979 (volume I e II); nonché del volume "*Luigi Vanvitelli*", con saggi di R. De Fusco, R. Pane, A. Venditti, R. Di Stefano, F. Strazzullo, C. de Seta (Napoli, 1973).

[2] B.F. DE BELIDOR, *La scienza degli Ingegneri nella direzione delle opere di fortificazione e di architettura civile*. Pubblicato nel 1729, è stato ristampato più volte, anche con la celebre edizione critica con aggiunte e commenti di Navier del 1813.

[3] Anche in merito all'equilibrio dell'arco, Belidor sceglie il metodo più semplice, quello del de La Hire, più comprensibile rispetto ad altri. Secondo Di Pasquale tra le due linee di ricerca sull'equilibrio dell'arco sorte alla fine del secolo precedente, Belidor non ha molta scelta tra le semplici equazioni algebriche che traducono l'equilibrio delle leve che il procedimento del de La Hire porta a considerare all'atto del raggiungimento della situazione di crisi e l'equazione differenziale dell'equilibrio della fune che deve simulare, secondo la formulazione del Bernouilli, il comportamento di tale struttura. S. DI PASQUALE, *L'arte di costruire tra conoscenza e scienza*, Vicenza, 1996, pp. 271-272.

[4] E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze, 1981, p. 275.

[5] R. DI STEFANO, *Luigi Vanvitelli ingegnere e restauratore*, in Luigi Vanvitelli, cit., pp. 171-246.

[6] C. DE SETA, *Disegni di Luigi Vanvitelli architetto e scenografo*, in AA.VV., *Luigi Vanvitelli*, cit.

[7] F. Strazzullo evidenzia l'acquisto di volumi anche dall'estero: "*Avendo io commesso alcuni libri in Parigi per mezzo di un libraro, egli prenderebbe in cambio il Vitruvio di Perrault*". F. STRAZZULLO, *Introduzione all'epistolario vanvitelliano della Biblioteca Palatina di Caserta*, in AA.VV., *Luigi Vanvitelli*, cit., p. 253.

[8] A. Venditti cita il pensiero di M. Ruggiero, critico fertile e profondo studioso, architetto ed archeologo, che nel "Discorso intorno alle presenti condizioni dell'architettura in Italia", Napoli, 1832, riferendosi a L. Vanvitelli come padre spirituale degli architetti classicisti, sottolinea: "*niuno potrà negare che il suo stile quantunque falso sia il più delle volte maschio, robusto e pieno di molta magnificienza; nel che gli valse certamente l'aver avuto più che tutti gli altri de' suoi giorni alcuna cognizione delle cose degli antichi*". A. VENDITTI, *Architettura neoclassica a Napoli*, ivi, 1964, p. 25.

[9] R. De Fusco sottolinea anche un altro aspetto: il contesto della produzione architettonica napoletana, in alcuni casi, raggiunse un livello di interesse europeo; emergono artisti formatisi altrove quali Fuga, Canevari, Medrano e, in particolare, lo stesso Vanvitelli. Ciò corrisponde alla tendenza della corte borbonica di servirsi di uomini venuti da fuori, facendo torto ad una cultura locale certamente matura. Tale fenomeno coincide con un mutamento del gusto, ovvero il passaggio dal tardo barocco locale al "nuovo stile", che sembrò più adatto ai programmi edilizi e urbanistici di Carlo di Borbone. Quando questi salì al trono nel 1734 i principali protagonisti locali erano D.A. Vaccaro e F. Sanfelice. Il re ignorò le loro capacità e potenzialità dei due maestri napoletani e affidò le prime opere ad architetti mediocri, più disponibili ad assecondare passivamente i suoi disegni per un nuovo corso polito basato sul rinnovato gusto architettonico. Insoddisfatto dei risultati raggiunti nelle Regge di Capodimonte e di Portici (Medrano e Canevari) si rivolse ai massimi esponenti della Scuola romana, il Fuga ed il Vanvitelli, che esautorarono l'ambiente architettonico locale, privo ormai dei suoi principali protagonisti. R. DE FUSCO, *L'architettura della seconda metà del Settecento*, in «Storia di Napoli», vol. VIII, Cava dei Tirreni, 1971.

[10] A. VENDITTI, *Architettura neoclassica.…*, cit.

[11] Basti ricordare i risultati di Robert Boyle, John Mayor, Steven Hales, e quelli di Antoine-Laurent Lavoisier per la scoperta del gas (1774), la scoperta dell'ossigeno di C.W. Scheele (1777), dalla teoria degli acidi e dalla composizione dell'acqua, con le ricerche di Cavendish (1781-84), ai progressi della meccanica fisica con Newton, alle proprietà fisiche dei corpi, attraverso lo studio delle loro proprietà

calorifiche, elettriche e ottiche. Analoghi sviluppi riguardano la fotometria e la spettrometria, la teoria della luce a partire dagli studi di Thomas Young, gli approfondimenti nel campo del magnetismo e dell'elettricità, l'invenzione della pila elettrica con Galvani e Volta, lo studio delle affinità chimiche e, quindi, le basi della teoria atomica; ed, ancora, gli sviluppi nel campo della mineralogia e delle geologia, che trovano anche primi riferimenti nelle voci dell'Encyclopédie ou Dictionaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers (1754).

[12] E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze 1981, p. 271.

[13] De La Hire introduce nella trattazione il principio del *"cuneo"*, superando le concezioni medioevali basate su quelli della leva e del piano inclinato: inaugura, dunque, un approccio innovativo per la determinazione della stabilità di tali strutture, pur ignorando l'incidenza dell'attrito che sarà presa in considerazione dal Coulomb alla fine del secolo. Sugli sviluppi teorici tra XVI e XX secolo si veda A. Aveta, *L'approccio multidisciplinare per la diagnosi dei dissesti strutturali di volte e cupole*, in AA.VV., *Le cupole in Campania. Indagini conoscitive e problematiche di conservazione*, a cura di S. Casiello, Napoli, 2005.

[14] Un ulteriore contributo, da considerare intermedio tra quelli di de La Hire e di Coulomb, è quello legato alla ricerca *De la Poussée des voûtes* (1731) di C.A. Couplet, che individua, ai fini della direzione e della valutazione della spinta delle volte, la composizione grafica di tre forze: l'entità della forza peso dei singoli conci, lasciata incognita, consente di ottenere un profilo rastremato in prossimità della chiave. E. Benvenuto *La statica delle costruzioni in muratura nel suo sviluppo storico*, in Atti del Convegno *Metodologie d'intervento nei centri storici*, Palermo, 1997, p. 27.

[15] Sul tema specifico delle arcate dei ponti - oggetto di famosi interventi vanvitelliani - va citato il contributo di H. Gautier "Traité des ponts (Paris, 1728); di carattere generale è, invece, il saggio di M.A. Laugier "Essai sur l'architecture" (Paris, 1753). Tra le altre ricerche risalenti al XVIII secolo, E. Benvenuto ha segnalato il *Trattato della Cognizione Pratica delle Resistenze* (1748) di G.B. Borra, in cui si ritrova un criterio di dimensionamento dei piedritti legato a nozioni di stereometria, desunta dalla trattatistica francese, ed alle capacità costruttive delle maestranze. E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni…*, cit.; ed, ancora, E. Benvenuto, *La statica delle costruzioni in muratura nel suo sviluppo storico*, cit..

[16] La relazione sui dissesti della cupola vaticana risulta particolarmente interessante in quanto egli applica una metodologia ancora oggi valida: il progetto è, infatti, preceduto da un dettagliato rilievo della cupola e dei suoi sostegni, non limitato alle parti superficiali ed alle lesioni visibili, ma anche alle parti interne. R. Di Stefano, *La cupola di S. Pietro*, Napoli, 1963, ed ancora, la rinnovata edizione con introduzione di R. Pane, *La cupola di S. Pietro. Storia della costruzione e dei restauri*, Napoli, 1980, pp. 88-91. Vanvitelli delinea le zone murarie realizzate da Bramante, da Sangallo e da Michelangelo, nonché rileva minuziosamente il quadro fessurativo della cupola tra il 1742 ed il 1743. Sulla base di analisi dettagliate e precise, Poleni formulò i criteri del restauro; pubblicò nel 1748 una specifica relazione, che è insieme indagine storica e controllo del comportamento strutturale.

[17] È il caso delle "*Istruzioni Elementari per l'indirizzo dei giovani allo studio dell'architettura*" (1760) di B.A. Vittone. Va citato, ancora, il saggio "Ragionamento sopra la maniera di voltare le cupole" (1753) di G.B. Nelli, che si era già interessato della cupola di S. Maria del Fiore. Si ispirano alle sue osservazioni sul tema in questione Rondelet, Breymann, Choisy; ed ancora va citato il trattato di J.B. de La Rue "Traitè de la coupe de pierre: ou méthode facile et abrégée pour se perfectionner en science" (Paris, 1764).

[18] Viene introdotto il concetto di attrito come elemento determinante nell'equilibrio delle strutture voltate, che apre nuovi orizzonti per la soluzione del problema, modificando profondamente il modello meccanico settecentesco. Molto importanti sono, poi, le ricerche in Francia dell'abate C.

Bossut, *Recherches sur l'équilibre des voûtes* (1778), ed in Italia un merito particolare va a L. Mascheroni, con *Nuove ricerche sull'equilibrio delle volte* (1785) ed a L. Salimbeni, con *Degli archi e delle volte* (1787). Nel trattato di Mascheroni, in particolare, venivano stabilite norme straordinariamente perfette sulla verifica, sul collaudo e sul calcolo delle strutture in muratura.

[19] G. RUSSO, *La scuola di Ingegneria a Napoli, 1811-1967*,Napoli 1967.

[20] In tema di competenze è utile ricordare che nel XVII e fino alla seconda metà del XVIII secolo le attività nel campo dell'ingegneria idraulica e militare ed anche in quello della cartografia erano affidate ai Tavolari, mentre ai regi ingegneri ed agli architetti di Casa reale venivano affidate le opere civili e militari a carico della stessa Casa. Solo con l'avvento di Carlo di Borbone fu istituito il "Corpo degli ingegneri militari", riordinato una prima volta nel 1742, poi nel 1752. Questo fu sciolto nel 1788 confluendo solo nel 1796 nel nuovo "Corpo del Genio", organizzato secondo il modello francese e riordinato nel 1806. Il "Corpo degli Ingegneri idraulici", fondato nel 1785, fu anch'esso abolito e confluì nel Corpo del Genio. L'influenza francese su tali eventi era evidente: a Parigi, per l'iniziativa dell'ingegnere Perronet nel 1747 era stata fondata l'Ecole des ponts et chaussées, organismo di grande efficienza burocratica e scientifica.

[21] Si tratta del primo trattato di diagnostica delle strutture, che avanza alcune teorie innovative. V. LAMBERTI, *La statica degli edifici…..in cui si espongono i precetti teorici pratici che si debbono osservare nella costruzione degli edifici per la durata di essi*, Napoli, 1781. Sugli aspetti evolutivi del consolidamento strutturale si veda L. M. MONACO, *Il consolidamento strutturale dei monumenti architettonici nel XIX e XX secolo*, in «RESTAURO», nn. 155-156, 2001.

[22] V. LAMBERTI, *Voltimetria retta ovvero misura delle volte*, Napoli, 1773.

[23] A. BUCCARO, *Da «architetto vulgo ingeniero» a «scienziato artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, in *Scienziati-Artisti*, a cura di A. BUCCARO E F. DE MATTIA, Napoli 2003.

[24] Gli studi sulla dinamica dei fluidi registrarono nuovi importanti contributi, prima con Daniel Bernouilli,poi con il padre di questi Jean, tra il 1738 ed il 1742, e nel 1743 fu pubblicato il celebre libro di D'Alembert nella dinamica dei fluidi, che nel 1770 ne formulò le equazioni fondamentali.

[25] Si tratta di un acquedotto della lunghezza di circa 2 chilometri, tra le sorgenti di Ciampino, fino al fontanile tra la via della Cavona e la via Tuscolana, a tre migli da Frascati. Cfr. A. AVETA, *Interventi di Vanvitelli per acquedotti romani*, in Atti del Convegno Luigi Vanvitelli, cit.

[26] Su tali tematiche si deve ricordare il contributo di B. Castelli, allievo di Galileo a Padova, che scrisse "Della misura delle acque correnti" (Roma, 1628): il saggio era basato su una combinazione di osservazioni teoriche e pratiche sui rimedi per inondazioni ed altri problemi idraulici. Ed ancora va citato V. Viviani, uno dei più significati allievi di Galileo con un ruolo importante nella fondazione nel 1657 di una delle prime grandi società scientifiche, L'Accademia del Cimento. Al libro del Castelli seguirono altre importanti pubblicazioni: quella di D. Guglielmini "Della natura de' fiumi" (Bologna, 1697); ed ancora quello di G.B. Barattieri "Architettura d'Acque" (Piacenza, 1699): ingegnere al servizio del duca di Parma scrisse interessanti osservazioni ed esperimenti pratici sui problemi della regolazione dei fiumi.

[27] R. DI STEFANO, cit., p. 196.

[28] R. DI STEFANO, cit., p. 207.

[29] R. DI STEFANO, *La cupola…*, cit.

[30] G. FIENGO, *Vanvitelli e Gioffredo nella Villa Campolieto di Ercolano*, Napoli, 1974.

[31] A.M. DI STEFANO, *Viollet le Duc un architetto nuovo per conservare l'antico*, Napoli, 1994.

Riccardo Serraglio

L'Acquedotto Carolino: il sistema produttivo dei mulini

Incaricato da Carlo di Borbone nel 1750 della progettazione di un nuovo palazzo reale e di una città in simbiosi con esso in località Torre di Caserta, Luigi Vanvitelli doveva garantire al nuovo sistema insediativo un adeguato approvvigionamento idrico. Dopo aver riattivato l'acquedotto costruito nei primi anni del Seicento dagli Acquaviva d'Aragona, potenziandolo mediante l'immissione di alcune sorgenti, denominate Acque Piccole e dislocate sui monti circostanti la piana casertana, per garantire l'acqua necessaria ai lavori di costruzione della reggia, e perché la portata del condotto risultava ancora insufficiente per alimentare le scenografiche fontane del parco, si decise di realizzare una nuova struttura, denominata Acquedotto Carolino in onore del sovrano, il cui tracciato, dalle sorgenti del Fizzo presso Airola fino al Belvedere di San Leucio, avrebbe ripercorso l'andamento dell'Acqua Giulia, ovvero di un condotto romano del quale era possibile riconoscere alcuni frammenti lungo le pendici del Monte Longano[1].

Dell'acquedotto casertano, massima espressione della nuova cultura tecnica promossa dai Borbone di Napoli durante il Settecento, si sono occupati numerosi studiosi sia ripercorrendone dettagliatamente le fasi di costruzione sia collocandolo tra le opere di maggiore interesse nell'ambito della produzione architettonica e tecnica del XVIII secolo[2]. Il significato anche di propaganda politica riconosciuto all'opera è confermato dai costosi festeggiamenti organizzati al momento della fuoriuscita delle acque dal Monte Briano[3] e soprattutto dal programma editoriale, purtroppo incompiuto, per la pubblicazione di un testo celebrativo dedicato all'Acquedotto, sulla falsariga della nota *Dichiarazione dei disegni del Real Palazzo di Caserta*[4].

La possibilità di utilizzare la forza motrice dell'Acqua Carolina innescò nell'area casertana una serie di iniziative imprenditoriali promosse in prima istanza da Ferdinando IV e dal duca di Calabria Francesco di Borbone ma intraprese anche da privati.

Sicuramente il complesso di San Leucio, del quale si sono occupati diversi studiosi, resta l'attività produttiva di maggiore significato tra quelle avviate impiegando l'acquedotto vanvitelliano, tuttavia numerosi altri opifici istituiti nel periodo borbonico, adibiti in prevalenza alla trasformazione di prodotti agricoli o alla lavorazione di manufatti tessili, vennero riforniti dall'Acqua Carolina[5].

Di particolare interesse sono i mulini impiantati lungo l'articolato percorso dell'Acquedotto, dalle sorgenti di Airola al casale di San Benedetto tra Caserta e Maddaloni, descritti con accuratezza

da Antonio Sancio, amministratore del Real Sito di Caserta, nel 1826[6]. Questi edifici erano costituiti da ambienti nei quali si svolgeva la molitura, dotati di macine azionate da deviazioni dell'Acquedotto Carolino, da sorgenti o dalle acque del fiume Isclero, affiancati da locali di servizio adibiti a depositi per le derrate, scuderie, fienili e stanze per i molinari.

Il ciclo produttivo era completato da canali di scarico che reimmettevano le acque nell'acquedotto borbonico. Partendo dalle sorgenti del Taburno, presso la città di Airola, il primo molino complementare all'Acquedotto Carolino è quello del Fizzo, già di proprietà della Mensa Arcivescovile della città di Benevento, acquistato dalla Real Casa nel 1753. Questo impianto, tuttavia, aveva una efficienza limitata e richiedeva continui interventi di manutenzione perché

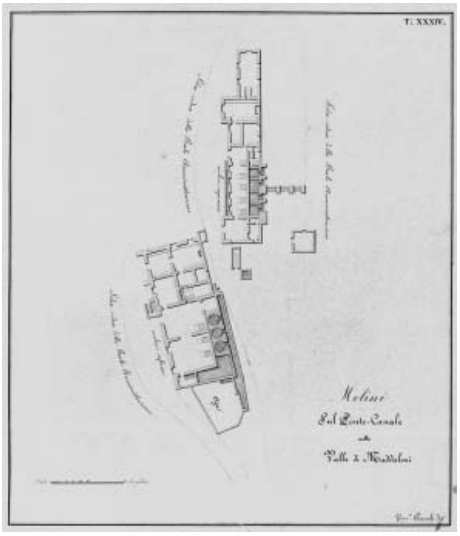


Fig. 1 – Molini sul Ponte Canale nella Valle di Maddaloni (ASRC, dis. 24/D)

"messo così vicino alle vasche, aveva pochissima carica". Per questo motivo nel 1785 si costruì un nuovo fabbricato adibito alla molitura, situato più in basso, mentre quello preesistente venne utilizzato come scuderia e deposito[7].

Segue una serie di mulini dislocati nell'area compresa tra Airola e Maddaloni in precedenza di proprietà della Giunta degli Allodiali ma assegnati alla Reale Amministrazione di Caserta il 26 febbraio del 1807: il Molino Nuovo, presso Bucciano, dotato di tre macine e poco distante da quello del Fizzo; il Molino Faenza, in tenimento di Paolisi, alimentato da una deviazione del fiume Faenza, o Isclero, dotato di due macine; il Molino Sadutto in Airola, anch'esso con due macine e azionato dalle acque dell'Isclero; il Molino detto Ciesco, tra Mojano e Sant'Agata de' Goti, costituito da una sola macina; il Molino detto Mastromarco, nel tenimento del Comune di Mojano, anch'esso a una macina[8]. Più articolati erano gli impianti produttivi collocati presso i Ponti di Valle in un'area boscosa alle falde del Monte Longano, poiché una discesa di circa sessanta palmi "disposta probabilmente dal savio Architetto per animare molini, ovvero altre machine per manifatture" poteva generare energia idrica in quantità opportuna ad azionare, oltre a un tradizionale impianto per la macinazione delle granaglie, anche alcuni opifici per la lavorazione di metalli. Dal 1791 al 1795 venne costruito un primo mulino, detto Superiore, e dal 1795 al 1799 una "raffineria di ferro". Nel 1798, poi, Ferdinando IV decise di fon-

dare una Ramiera, tuttavia le condizioni di instabilità politica del tempo ne impedirono la realizzazione. La produzione di prodotti metallici, affidata in concessione alla famiglia Mastellone, durò fino al 1822 e successivamente lo stabilimento venne impiegato come mulino. L'attività di lavorazione del ferro non venne, tuttavia, interrotta ma proseguì in un opificio presso Sant'Agata de' Goti. Secondo la testimonianza del Sancio i due edifici, dotati rispettivamente di quattro e di tre mole, di adeguati accessori e di un oratorio, nel 1826 erano funzionanti e in buono stato[9].

Oltre che all'Acquedotto Carolino, i Molini di San Benedetto risultano direttamente correlati alla costruzione del Real Palazzo Nuovo. Infatti, i dislivelli causati dalle profonde cave scavate per l'estrazione del tufo in quella località, che modificarono l'assetto pianeggiante del sito, e la vicinanza del condotto idrico indussero alla costruzione di due mulini, dapprima di proprietà privata del Re, pertanto costruiti e gestiti dalla Giunta degli Allodiali, e dal 1776 concessi alla Reale Amministrazione di Caserta. Proprio perché destinati in origineal patrimonio personale di Ferdinando IV, i Molini di San Benedetto si distinguevano dagli altri per una maggiore accuratezza costruttiva e per le lussuose dotazioni: "Il fabbricato accennato comprende due ordini di Molini, ciascuno di quattro macine, l'uno sottoposto all'altro. Sono ambi a due piani, e preceduti da spiazzi per comodo delle carrette, hanno scuderie, aia, Oratorio, osteria, granile, e tutt'altro necessario a tali stabilimenti. Evvè di più un giardinello di delizie con peschiera in fondo"[10]. Infine, un altro molino azionato dall'Acqua Carolina venne costruito tra il 1781 e il 1782 in località Briano, in un'area adiacente al Giardino Inglese della Reggia di Caserta e poco distante dal Belvedere di San Leucio, utilizzato dapprima per il funzionamento di un frantoio oleario e successivamente per azionare le macchine di un'officina per la lavorazione di filati di cotone[11].

Fin qui le notizie desunte dalle platee dei Reali Siti di Caserta e di San Leucio, compilate da Antonio Sancio rispettivamente nel 1826 e intorno al 1830. Inedite planimetrie documentano, poi, la costruzione di nuovi mulini alimentati dal condotto casertano negli ultimi decenni del regno borbonico, assegnati alla Direzione Demaniale dopo l'Unità d'Italia.

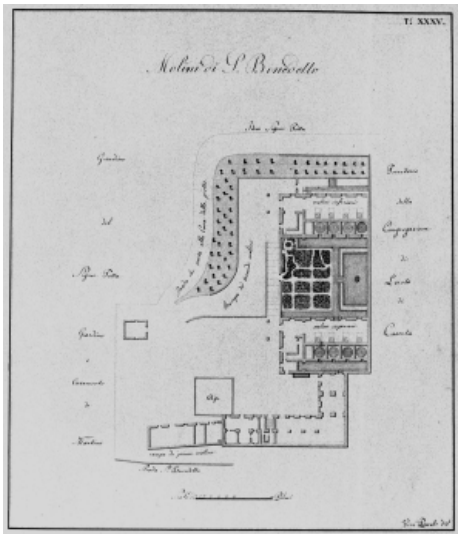


Fig. 2 – Molini di S. Benedetto (ASRC, dis. 25/D)

In località Aldifreda, in adiacenza alle scenografiche fontane del Giardino Reale, fu costruito nel 1831 un moderno mulino disposto in fabbricato a tre piani, azionato da sei turbine collocate nei sotterranei alimentate da altrettante vasche di carico al primo piano. Lo stabilimento, dotato di accessori per la conservazione e per il lavaggio del grano, dormitori per gli operai, un alloggio per il Contabile, stalle e fienile, venne dato in affitto al barone Farina, che lo gestì fino al 27 dicembre del 1867. Assegnato al Genio Militare Con Dispaccio del Ministero della Guerra del 7 settembre del 1868, lo stabilimento venne destinato per qualche tempo al medesimo esercizio, poi venne utilizzato per altre funzioni[12]. Poco distante dal casale di Ercole, in adiacenza alle fontane della reggia e accanto al ponte realizzato durante la costruzione del Giardino Reale sopra la strada per Casanova, fu impiantato nel 1851 un altro mulino, dotato di cinque macine e simile al precedente sia per la tipologia degli impianti tecnologici sia per la distribuzione dei vari ambienti per le funzioni produttive. Anche il Mulino di Ercole venne dato in fitto al barone Farina che lo gestì fino al 1867; successivamente venne assegnato al Genio Militare in ottemperanza al provvedimento amministrativo già menzionato a proposito del Mulino di Aldifreda[13]. Oltre all'istituzione dei citati impianti, altre interessanti iniziative sperimentali e produttive nei settori dell'agricoltura e della zootecnia furono messe in atto nel periodo borbonico poiché l'Acquedotto Carolino garantiva un abbondante approvvigionamento idrico. Un programma di notevole significato scientifico venne condotto dalla metà degli anni Ottanta del Settecento alla fine del secolo successivo nel Giardino Inglese internoal parco della reggia di Caserta e realizzato a partire dal 1786, nel quale si testava la coltivazione di piante esotiche e rare. Autore di questo straordinario giardino, ispirato ai principi compositivi del movimento culturale del paesaggismo inglese, fu il giardiniere e botanico John Andrew Graefer, inviato a Napoli su richiesta di sir William Hamilton, ministro plenipotenziario di Sua Maestà Britannica presso il Regno delle Due Sicilie, dal presidente della Royal Society sir Joseph Banks. Graefer, in collaborazione con l'architetto Carlo Vanvitelli, organizzò l'innovativo giardino in un'area esterna del parco reale, lungo pressappoco un chilometro e largo circa trecento metri, delimitato sul lato orientale dall'abitato di Puccianiello, disponendo una coreografica sequenza di collinette e avvallamenti artificiali attraversati da un sinuoso ruscello sgorgato da un bacino di raccolta dell'Acqua Carolina, collocato ad uso della reggia e del parco alle pendici del Monte Briano, e concluso da un lago artificiale di forma irregolare che alimentava un efficiente sistema d'irrigazione[14].

Di qualche anno successiva alla realizzazione del Giardino Inglese, e complementare a questa esperienza, è la costituzione di un'ampia tenuta di proprietà del principe ereditario Francesco di Borbone, accorpata sul finire degli

anni Novanta del Settecento mediante l'acquisto di fabbricati e terreni agricoli nel territorio della Starza Grande, razionalizzata da una funzionale rete viaria, definita da ampi viali fiancheggiati da olmi e viti maritate, e da un sistema d'irrigazione rifornito da formali e da fontane derivati dall'Acquedotto Carolino[15]. Al Giardino Inglese e alle masserie del principe ereditario, nei quali si testavano nuove colture, si affiancò l'Orto Agrario Sperimentale di Terra di Lavoro, inaugurato il 12 gennaio del 1857 dopo un macchinoso *iter* burocratico avviato nel 1839, destinato all'introduzione e alla verifica di innovativi metodi di coltivazione, di moderni strumenti agrari, di nuove e più redditizie colture da diffondere poi tra gli agricoltori della provincia. Anche il podere dell'Orto Agrario, ampio circa sedici moggia e situtato lungo la strada per Santa Maria Capua Vetere tra il parco della reggia e il nuovo Ospedale Militare, allora in costruzione, era dotato di un efficiente sistema d'irrigazione approvvigionato dall'acqua della cascata della reggia vanvitelliana[16].

Comuni denominatori degli opifici costruiti a partire dalla metà del XVIII secolo nell'area casertana e riforniti dall'energia prodotta dal Carolino sono una razionalità distributiva e una semplificazione linguistica appropriate alle esigenze delle attività produttive. Le direttive seguite nella progettazione di questi fabbricati rientrano a pieno titolo nei principi della cultura architettonica razionalista del secondo Settecento per la ricerca di soluzioni proporzionate e funzionali, chiaramente consapevoli della lezione vanvitelliana nell'equilibrata articolazione dei corpi di fabbrica e nelle finiture dei prospetti, animati da misurati elementi decorativi (in genere paramenti a bugnato e geometriche riquadrature). Di notevole significato è pure la consapevole ricerca di un bilanciato rapporto tra i corpi di fabbrica e l'ambiente circostante, ottenuto median-

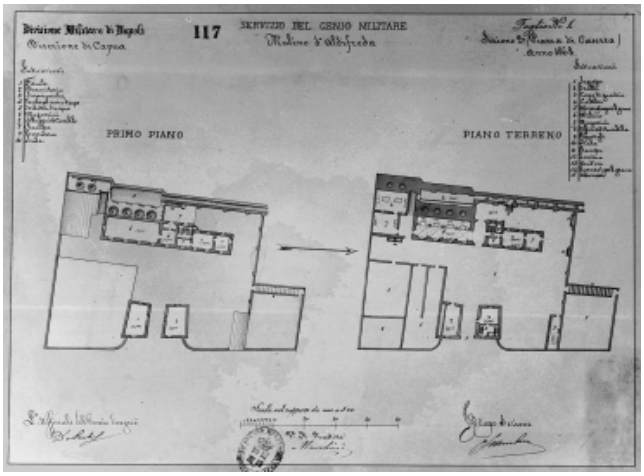


Fig. 3 – Mulino d'Aldifreda (ISCAG, EM 19/A 1338.02)

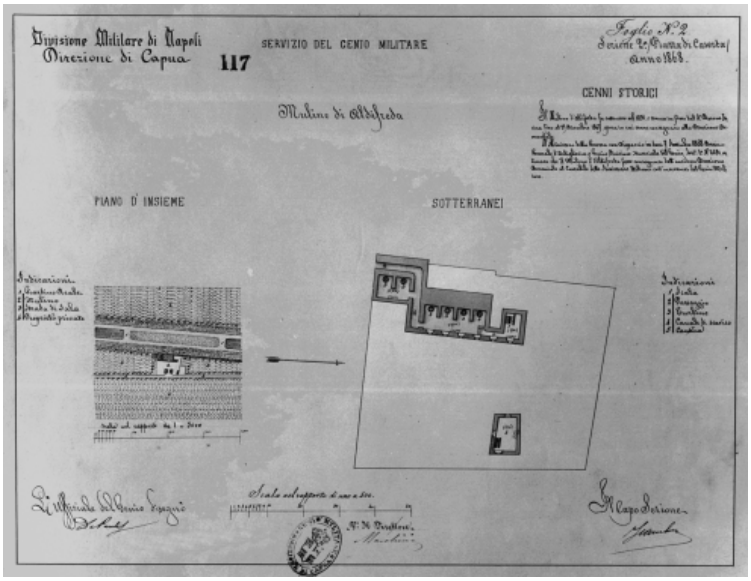


Fig. 4 – Mulino di Aldifreda (ISCAG, EM 19/A 1338.01)

te razionali soluzioni di collegamento tra gli edifici e le aree a verde complementari, costituite da geometrici viali diretti verso giardini e fondi agricoli e opportunamente innestati alla viabilità esterna.

Si segnalano, in conclusione, le meritevoli iniziative promosse di recente dalla Soprintendenza per i Beni Ambientali Architettonici Artistici e Storici di Caserta e Benvento finalizzate al restauro dell'Acquedotto Carolino e dell'ambiente a esso circostante. Nell'ambito di un contesto paesaggistico vincolato ai sensi del D.M. 28/3/85 e in applicazione del Piano Territoriale Paesistico redatto dal Ministero per le Attività e i Beni Culturali approvato in data 30/9/96, è stato proposto un programma di restauro legato all'acquedotto come asse portante di una strategia di salvaguardia dei beni architettonici e ambientali e di valorizzazione delle risorse culturali delle province di Caserta e di Benevento. Sono state distinte, pertanto, due tipologie di degrado relativamente all'Acquedotto Carolino, l'una relativa al condotto e ai danni evidenti nella struttura dell'opera e delle sue pertinenze, l'altra riguardante l'alterazione delle aree adiacenti, soggette a trasformazioni colturali ed edilizie o a modofiche della morfologia dei suoli per sbancamenti e coltivazioni di cave. Il progetto-programma di recente elaborato dalla Soprintendenza prevede, dunque, una fase di rilievo accurato dell'intero condotto e delle sue pertinenze con indagini mirate alla conoscenza delle tecniche costruttive adoperate e al monitoraggio dello stato di dissesto dei ponti, dei torrini e delle opere di sostruzione; parallelamente il rilievo delle aree adiacenti individua le caratteristiche ambien-

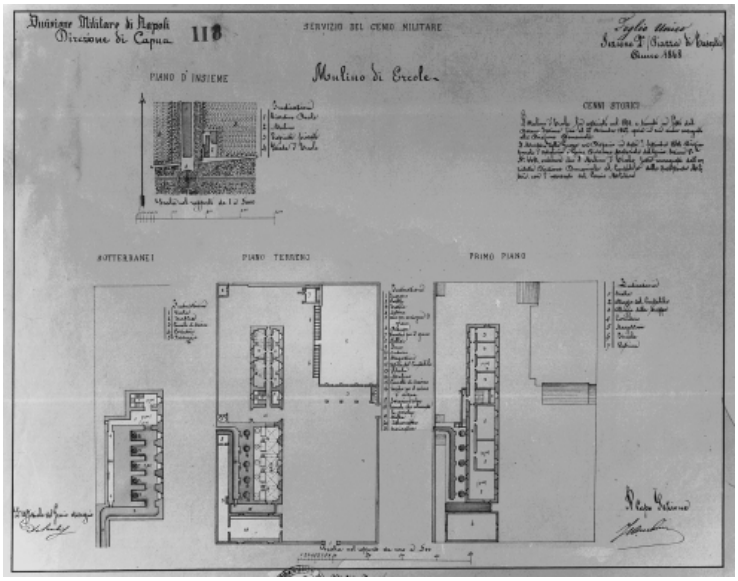


Fig. 5 – Mulino di Ercole (ISCAG, EM 19/A 1337)

tali, geologiche e morfologiche di ogni zona indicando gli elementi di alterazione del contesto paesaggistico. Operando secondo questa metodologia sono stati già individuati i primi fattori di degrado ambientale, a partire dalle sorgenti del Fizzo, poco tutelate rispetto all'attività di urbanizzazione delle aree circostanti; di deterioramento edilizio dei torrini di areazione disposti lungo l'Acquedotto e dei mulini borbonici; di dissesto geologico provocato delle numerose cave ancora in funzione; di impoverimento delle aree boschive a causa di frequenti incendi dolosi e di realizzazioni edilizie. Di contro, si prevede l'istituzione di un parco storico-artistico-ambientale mediante il restauro dell'Acquedotto Carolino e del mulino Faenza, da adibire a sede museale; la chiusura definitiva delle attività estrattive e il contestuale recupero delle aree di cava; la realizzazione di sentieri praticabili nelle aree boschive disposte intorno all'Acquedotto e di percorsi turistici nei centri storici degli abitati circostanti[17].

[1] Cfr. S. FARINA, *La rete idrica minore* , in *L'Acquedotto Carolino*, a cura di F. Canestrini e M.R. Iacono, Società Editrice L'Aperia, Caserta 2007, pp. 49-53.

[2] Sull'argomento esiste una vasta bibliografia. Si segnalano, in questa sede, alcuni studi perché ritenuti di specifico interesse, ai quali si rimanda per i riferimenti alle fonti documentarie: R. DI STEFANO, *Luigi Vanvitelli ingegnere e restauratore*, in *Luigi Vanvitelli*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1973, pp. 187-198; A. GIANFROTTA, *La via d'acqua*, in *Caserta e la sua reggia. Il Museo dell'Opera e del territorio*, Electa Napoli, ivi 1995, pp. 50-55; R. SERRAGLIO, *L'Acqua Carolina per l'approvvigionamento idrico di insediamenti produttivi e centri urbani*, in *Napoli Spagna. Architettura e città nel XVIII secolo*, a cura di A. Gambardella, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2003, pp.

347-359; *L'Acquedotto Carolino*, a cura di F. CANESTRINI E M.R. IACONO, Società Editrice L'Aperia, Caserta 2007.

[3] Per i riferimenti archivistici cfr. *Manoscritti di Luigi Vanvitelli nell'archivio della Reggia di Caserta 1752-1773*, a cura di A. GIANFROTTA, Ministero per i Beni e le Attività Culturali Ufficio Centrale per i Beni Archivistici, Roma 2000, pp. 181-183.

[4] Cfr. R. SERRAGLIO, *L'Acqua Carolina* … cit., pp. 348-350.

[5] Come per l'Acquedotto Carolino anche per il Real Sito di San Leucio si dispone di una consistente bibliografia. Per gli opportuni riferimenti si rimanda a R. SERRAGLIO, *Architettura e Ambiente nel Reale Sito di San Leucio*, in *Luigi Vanvitelli 1700-2000*, a cura di A. GAMBARDELLA, Edizioni Saccone, San Nicola la Strada 2005, pp. 565-576.

[6] Cfr. Archivio Storico della Reggia di Caserta (ASRC), vol. 3558, *Platea de' fondi, beni, e endite, che costituiscono l'Amministrazione del Real Sito di Caserta formata per ordine di S.M. Francesco I^mo Re del Regno delle Due Sicilie P.F.A. dall'Amministratore Commendatore Sancio*, 1826, sez. IV, parte II, pp. 235-256.

[7] *Ivi*, art. I, pp. 237-238.

[8] *Ivi*, artt. II-VI, pp. 239-248.

[9] *Ivi*, art. VII, pp. 249-251. Ovviamente il "savio Architetto" cui fa riferimento l'amministratore del Real Sito Antonio Sancio è Luigi Vanvitelli.

[10] *Ivi*, art. VIII, pp. 253-256.

[11] Cfr. ASRC, *Platea dei fondi, beni, e rendite, che costituiscono l'Amministrazione del Real Sito di S. Leucio formata per ordine di S.M. Francesco I° Re del Regno delle Due Sicilie P.F.A. dallo Amministratore Commendatore Sancio*, s.d. ma fine degli anni Venti dell'Ottocento, vol. 3570, sez. IV, parte II, pp. 235-256.

[12] Cfr. Istituto Storico e di Cultura dell'Arma e del Genio (ISCAG) di Roma, EM 19/A 1338.01 ed EM 19/A 1338.02, *Divisione Militare di Napoli, Direzione di Capua, Piazza di Caserta, Mulino di Aldifreda*, anno 1868.

[13] Cfr. ISCAG, EM 19/A 1337, *Divisione Militare di Napoli, Direzione di Capua, Piazza di Caserta, Mulino di Ercole*, anno 1868.

[14] Cfr. C. KNIGHT, *Il Giardino Inglese di Caserta. Un'avventura settecentesca*, Sergio Civita Editore, Napoli 1986; *Il Giardino Inglese nella Reggia di Caserta. La storia e i documenti, le piante le fabbriche*, a cura della Soprintendenza per i BB.AA.AA.AA.SS. di Caserta e Benevento, Sergio Civita Editore, Napoli 1987; F. STARACE, *L'ambiente europeo e il giardino inglese della Reggia di Caserta*, in *Il disegno di architettura. L'antico, i giardini, il paesaggio*, a cura di C. Robotti e F. Starace, Capone Editore, Cavallino di Lecce 1993, pp. 121-147.

[15] Cfr. D. JACAZZI, *Le "delizie" rurali del territorio casertano nell'album di Pietro Bernasconi*, in

Luigi Vanvitelli 1700-2000, cit., pp. 507-518.

[16] Cfr. R. SERRAGLIO, *Architetture e territori per sperimentazioni agrarie, botaniche e zootecniche dal Settecento all'Ottocento*, in *Ricerche sull'architettura rurale in Terra di Lavoro*, a cura di R. Serraglio, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 2007, pp. 66-71.

[17] Cfr. F. CANESTRINI, *Il "risarcimento" del Carolino: un esempio di restauro paesaggistico*, in *Luigi Vanvitelli 1700-2000*, cit., pp. 353-360.

MARIA GABRIELLA PEZONE

Sulle orme di Luigi Vanvitelli. Cultura tecnica e architettura in Terra di Lavoro

Premessa

La densa attività di Luigi Vanvitelli e degli allievi che ereditarono i cantieri dell'area casertana ha segnato in maniera incisiva la storia dell'architettura e dell'ingegneria di quest'area. La presenza della reggia e il forte impatto paesaggistico dei Ponti della Valle, materializzazione visiva della complessa macchina ingegneristica dell'acquedotto, hanno caratterizzato così fortemente la Terra di Lavoro da indurre la storiografia locale a "mitizzare" la figura del progettista e a individuarlo quindi erroneamente come l'autore di altre opere del territorio che con lui invece non hanno alcuna relazione.

Gli studi degli ultimi decenni hanno contribuito in parte a far chiarezza sull'architettura casertana, riconducendo molti interventi all'attività di altri artefici, alcuni già noti, esponenti proprio della "scuola" vanvitelliana, altri meno noti. Tra questi ultimi va considerato anche un ingegnere militare, Francesco Gasperi, che esercitò nel territorio casertano un'attività densa e costante nella seconda metà del Settecento[1]. Per restituire la complessità del quadro degli artefici che operarono nel regno di Napoli nel secondo Settecento è indispensabile, a mio parere, ricostruire anche l'attività di artefici "minori", che sebbene non raggiunsero punte altissime nella loro produzione, comunque contribuirono in maniera determinante a mutare il volto delle città dove operarono. La famosa distinzione tra "poesia" e "letteratura artistica" coniata da Roberto Pane sulla scia crociana per sottolineare quanto anche quest'ultima fosse meritevole di conservazione, può essere agevolmente trasposta agli artefici, distinguendo tra i grandi architetti che toccarono nelle loro opere punte di squisita "poesia" e gli altri che raggiunsero il solo livello della "letteratura artistica", ma non per questo, a mio parere, si rivelano meno meritevoli di interesse e di attenzione.

Oltre agli epigoni "ufficiali" della grande tradizione vanvitelliana, il figlio Carlo e l'allievo Francesco Collecini[2], il linguaggio vanvitelliano maturo attestato, come è stato osservato con efficacia, "su un crocevia dove convergono l'eredità del tardobarocco e l'avvio del Neoclassicismo"[3], trova espressione anche nella produzione di molti altri artefici "anonimi" ai quali la storiografia degli ultimi anni sta contribuendo a dare un'identità. Sulla scia di tali contributi, quest'intervento si pone l'obiettivo di delineare sinteticamente l'attività di Francesco Gasperi, cercando di fare emergere le linee di continuità del suo linguaggio con quello della cerchia vanvitelliana.

Cultura tecnica in Terra di Lavoro nell'attività idraulica di Gasperi

Francesco Gasperi fu un ingegnere militare attivo soprattutto a Capua con la mansione di *soprastante maggiore* della piazzaforte militare. Di Resta lo ricorda in questa carica fino al 1772, anno in cui sarebbe stato sostituito da Santi De Ferdinandi[4]. Dalla consultazione dell'Archivio militare risulta, invece, in servizio ancora nel 1778[5] mentre la sua presenza a Capua è registrata in altre opere anche in anni successivi.

L'attività tecnica, legata proprio alla carica di ingegnere militare, fu in larga misura rivolta a mantenere in efficienza la rete stradale urbana e quella di accesso ai territori demaniali delle reali cacce che amministrativamente rientravano sotto la giurisdizione della piazza capuana[6]. Tra gli anni '60 e gli anni '80 Gasperi rimise in efficienza le strade di accesso a Capua da nord e da sud, importanti arterie di passaggio anche per il trasporto dei materiali per la "regia fabrica" di Caserta[7]. Diresse i lavori per la manutenzione dei canali dei regi Lagni che attraversavano i territori delle cacce reali. Tra il '58 e il '59 si occupò del "cavamento dei fossi" nel Demanio di Calvi, nella piana di Carinola, nel 1764 regolò lo spurgo del rivo Savone[8], tra il '71 e il '74 diresse i lavori di spurgo della regia Agnena, che attraversava il Demanio di Calvi, come si ricava dalla documentazione[9]. Molti lavori stradali furono compiuti in ausilio alla *Giunta dei Tre Ingegneri*, preposta, come noto, alla manutenzione e al miglioramento delle vie di comunicazione del regno[10].

Uno dei primi lavori documentati è il restauro del ponte di Torcino effettuato negli anni Cinquanta[11]. Il ponte, visibile nella *Pianta delle Reali cacce*, era stato costruito nei primi anni del regno di Carlo da Giovan Antonio Medrano con Gennaro Porpora sul fiume Volturno all'altezza di Venafro, per facilitare l'accesso del sovrano alle tenute riservate alla caccia del cinghiale[12]. Il "maestoso ponte, che è uno de' più superbi del regno"[13], sorgeva tuttavia in una piana, soggetta a continue inondazioni che danneggiavano la strada per Venafro, tanto da richiedere molto spesso interventi ingegneristici[14].

Altri lavori tecnici lo videro protagonista nel territorio casertano. Dal 1787 eseguì una serie di rilievi, livellazioni, sondaggi lungo il fiume Garigliano per la *Giunta dei Tre Ingegneri*, all'epoca composta da Antonio Winspeare, Giuseppe Capri e da Lorenzo Iaccarino, incaricati del progetto di un nuovo ponte in muratura sul Garigliano, poi non eseguito per la difficile situazione politica che portò a deviare gl'investimenti pubblici unicamente verso opere militari[15]. L'ingegnere elaborò una dettagliata carta topografica di "un lungo tratto del fiume Garigliano con le campagne adiacenti" ed eseguì una serie di saggi "per indagare la natura del fondo del detto fiume e de' terreni contigui"[16]. Nel 1795 Gasperi si occupò a Capua dei lavori di prosciugamento per rimettere a coltura i territori allagati dopo l'ingrossamento del Volturno del 1750, occasione nella quale elaborò il rilievo topografico del "fiume morto"[17].

L'esondazione del Volturno aveva, infatti, tagliato fuori dal suo corso un'ansa del fiume, da allora detta il "fiume morto". Quest'evento causò allagamenti e di conseguenza il ristagno pestifero delle acque che crearono un'area invivibile per la quale si rese necessaria, dunque, la bonifica.

L'impegno tecnico-idraulico più importante del Nostro riguarda la progettazione a Capua di un piano organico per il ripristino dell'acquedotto di origini aragonesi[18], iniziato alla fine degli anni Settanta ed eseguito in collaborazione e con la supervisione di Giovanni Bompiede, coinvolto dal 1780[19]. Il piano idrico non iniziò, dunque, nell'Ottocento come sinora si è ritenuto[20], poiché i lavori di Luigi Antonio Iannotta furono solo la parte conclusiva di un *iter* iniziato oltre vent'anni prima.

L'acquedotto aragonese che conduceva l'acqua in città da Sant'Angelo in Formis, il cui tracciato è visibile con chiarezza anche nella *Pianta delle reali cacce*, si trovava in pessimo stato di conservazione. Le ricognizioni effettuate negli anni Settanta avevano posto in luce, in diversi tratti, difetti così gravi da richiedere un intervento di recupero immediato[21].

Il maggior esperto idraulico del regno, Giovanni Bompiede, nella relazione datata 5 maggio 1781[22], confermò l'analisi e il progetto del Gasperi, al quale riconosceva l'"abilità ed espertezza"[23] necessari ad affrontare quanto non espressamente da lui previsto nel dettaglio. In quest'occasione, fu redatta probabilmente la *Mappa del corso degli acquedotti*[24], sinora considarata anonima ma da attribuire al Gasperi, nella quale sono individuabili tutti i tratti dell'acquedotto investiti dal progetto di ripistino. L'esecuzione fu lunga e articolata anche a causa di una vertenza



Fig. 1 – F. Gasperi, Mappa del territorio denominato Fiume morto distante da Capua circa un miglio tirando verso mezzogiorno, il quale è stato letto del fiume Volturno sino all'anno 1750 (ASNa)

giudiziaria col partitario, che rallentò i lavori conclusi solamente nell'Ottocento.

Architettura di Francesco Gasperi

Insieme all'attività tecnica legata al ruolo militare, Gasperi operò anche nell'ambito dell'architettura civile, mostrando linguaggio e modi vicini a quelli degli epigoni di Vanvitelli, che avevano condotto gli insegnamenti del maestro verso esiti marcatamente neoclassici, come la critica più avvertita ha ripetutamente rimarcato[25]. Il suo linguaggio è l'evoluzione di quello espresso da Luigi Vanvitelli nelle opere mature, cioè conciliazione antinomica di modi classicisti e di modi barocchi. Questa compresenza di opposti è a sua volta riflesso della temperie culturale che caratterizzò l'architettura del primo Settecento romano dove, come noto, non si riscontrano sostanziali contrasti tra classicismo e barocco[26]. Una stagione vissuta dal Vanvitelli e respirata da allievi come Collecini negli anni romani della formazione all'Accademia di S. Luca.

Ricollegabile a quest'eredità romana del "buon gusto" e dell'eleganza non risonante di marca fontaniana è il complesso agostiniano di Sessa Aurunca, per la cui ultimazione Francesco Gasperi fu coinvolto alla fine degli anni '80[27].

Di origini tardo-trecentesche, il complesso fu dal Quattrocento annesso amministrativamente al monastero napoletano di S. Giovanni a Carbonara[28]. Per questo motivo, nel corso degli anni, troviamo coinvolti nelle trasformazioni architettoniche della chiesa gli stessi artefici che avevano già lavorato per altre comunità agostiniane napoletane, Ferdinando Sanfelice[29] e, come suo successore, Giuseppe Astarita[30].

La trasformazione e l'ampliamento del convento risale alla fine del Settecento come attestano i documenti di pagamento emessi tra il 1789 e il '92, che hanno consentito di identificare in Gasperi il progettista[31]. I due nuovi corpi di fabbrica, che si innestano perpendicolarmente sul nodo angolare del cor-

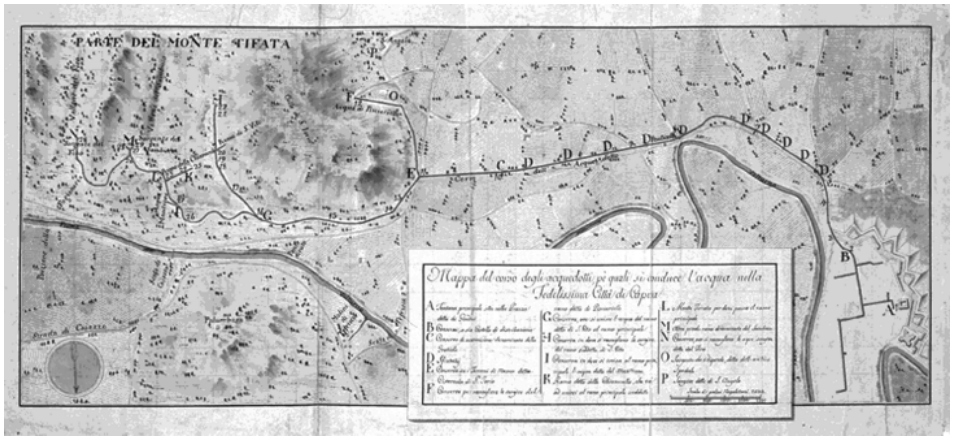


Fig. 2 – F. Gasperi, Mappa del corso degli acquedotti pe' quali si conduce l'acqua nella fedelissima città di Capua (BNN)

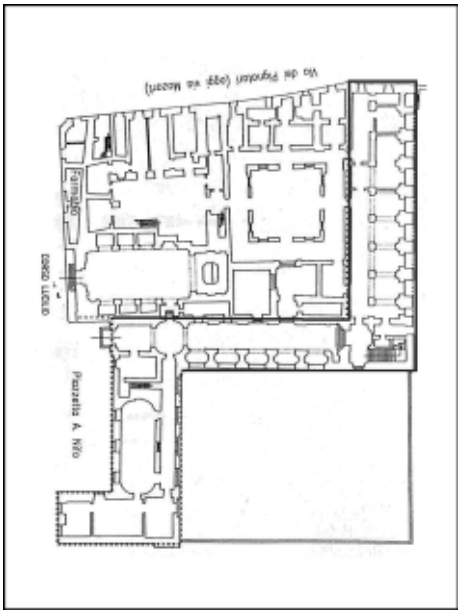


Fig. 3 – Sessa Aurunca, convento degli Agostiniani, pianta



Fig. 4 – Sessa Aurunca, convento degli Agostiniani, corpo scala

po scala, ingabbiarono da sud e da est il vecchio monastero in un monumentale blocco, visibile anche in lontananza a chi acceda alla città da sud, non privo di una certa solidità spaziale e volumetrica che riflette proprio il gusto classicista di scuola vanvitelliana.

Nella nuova costruzione trovarono posto ai piani superiori i dormitori e al pian terreno una piccola cappella e il refettorio. Le facciate, rimaste incompiute e prive di rivestimento, presentano tre ordini sovrapposti. Quella meridionale ha il livello terraneo basamentale in muratura listata, aperto da cinque arcate a tutto sesto schermate da originali "reggi-vaso" a doppia voluta rovesciata, che rappresentano l'unica indulgenza decorativa di matrice barocca ravvisabile nella contenuta sobrietà del complesso. I due livelli superiori sono scanditi da un ordine gigante di nude paraste che insieme alle fasce orizzontali, divengono semplici riquadrature a doppio risalto che contornano due ordini minori di arcate a tutto sesto balaustrate. La corsia del portico inferiore inquadra prospetticamente, dal vestibolo d'accesso, la scala sul lato opposto attraverso la ritmica successione delle campate. Le corsie superiori si trasformano in una sequenza di volte in penombra, illuminate solo dalle finestre sulle testate dei bracci.

La volta a botte a lacunari dell'atrio, il dinamico intreccio delle fasce in stucco a segnare le coperture, le corsie superiori ritmate da doppie arcate a sesto ribassato in corrispondenza delle paraste binate sulle pareti: tutto sembra ri-



Fig. 5 - Sessa Aurunca, convento degli Agostiniani, facciata sul cortile

mandare al linguaggio vanvitelliano espresso in quelle opere tese a una maggiore semplificazione degli elementi. Mi riferisco al convento degli Olivetani di Perugia, a quello costruito successivamente per gli Agostiniani a Roma e alle sobrie architetture della casa dei padri della Missione a Napoli, dove Vanvitelli riduce all'essenziale il disegno architettonico nulla concedendo alla decorazione[32].

La stessa nuda semplicità strutturale e il medesimo rigore si riscontrano anche nella bella scala di accesso ai piani superiori che presenta caratteri formali e disegno compositivo simili alle rampe dello scalone del palazzo arcivescovile di Capua, dove sarebbe documentato un intervento di Gasperi tra il 1792 e il '99[33]. Tuttavia, allo stato, ancora poco chiaro risulta il suo ruolo e la consistenza dell'intervento. Il Granata - che per essere contemporaneo a questi avvenimenti va considerato una fonte attendibile - nella *Storia sacra della chiesa metropolitana di Capua* - ricorda il palazzo arcivescovile "ridotto" "in quella magnificenza che ora vedesi" "dall'ultimo defonto Arcivescovo Gaeta; il quale veramente non ha risparmiato alcuna spesa per renderlo maestoso, e corrispondente a un insigne metropolitana, quale è quella di Capua"[34].

Il progetto risalirebbe, dunque, agli anni del vescovado di Muzio Gaeta tra il 1754 e il '64, quando in città era presente Mario Gioffredo, come documentano studi recenti[35]. Si potrebbe ipotizzare allora in questo cantiere il coinvolgimento dell'architetto napoletano in considerazione anche del fatto che alcuni elementi architettonici non sono estranei al suo repertorio figurativo.



Fig. 6 - Sessa Aurunca, convento degli Agostiniani, corsia del portico

L'ordine ionico di paraste giganti che cadenza le facciate, ad esempio, presenta capitelli con festoni e mascheroni che riproducono con esattezza la tav. XIV del suo Trattato[36]. Certamente si può intravedere nel disegno esterno del corpo scala un'interessante reinterpretazione del modello della scala aperta della tradizione napoletana, attraverso la trasposizione degli elementi in termini classicisti, con il piano basamentale listato, l'uso della serliana nei tre livelli e un'originale scansione dei successivi due piani attraverso l'ordine gigante di paraste ioniche terminanti anch'esse col motivo della serliana. Non è la sede per sciogliere i nodi critici di quest'interessante cantiere che rimase in attività per un arco temporale piuttosto ampio, circostanza che giustificherebbe anche il successivo coinvolgimento di Gasperi.

Tra gli anni Settanta e Novanta, Gasperi intraprese a Capua molti altri interventi architettonici, tra i quali vanno menzionati i lavori di ampliamento delle carceri regie, allogate al piano inferiore del palazzo dei Governatori[37] e la trasformazione del "palazzo dell'Udienza", dove costruì la nuova scala nel 1774[38]. Tra i primi impegni capuani si può ricordare nel 1770 il progetto di adeguamento alla nuova funzione del Collegio gesuitico, che rientrava nel programma finanziato dalla *Giunta degli Abusi* per trasformare tali complessi soppressi nel 1767[39]. Gasperi disegnò la pianta "del Braccio del Primo piano" e delineò il progetto per "per ridurre a due camerate, o siano dormitori, sei delle stanze del primo piano […] per potervi abitare gli otto convittori Nobili in una, e li sette civili nell'altra coi loro rispetti-



Fig. 7 - Sessa Aurunca, convento degli Agostiniani, corsia del portico, particolare

vi capocamera"[40]. Il complesso gesuitico capuano, come accadde in altre città del regno, fu affidato all'amministrazione comunale per accogliere le scuole pubbliche, funzione che mantenne per oltre quarant'anni finché non fu adibito a ospedale militare nel secondo decennio dell'Ottocento[41].

A Capua Gasperi fu coinvolto anche nel cantiere dell'Annunziata[42], dove però sembra aver svolto un ruolo del tutto marginale, coinvolto dal 1780 nella supervisione degli "scandagli" dei lavori per la scarsa fiducia riposta dal governo dell'Annunziata nei partitari, poi citati in giudizio[43]. Sono gli stessi anni in cui l'ingegnere lavorò anche nel cantiere dell'Annunziata a Marcianise, dove oltre ad effettuare le misure dei lavori, eseguiti dagli stessi partitari di Capua, progettò tra il 1778 e il 1780 anche i disegni per gli arredi, gli ornati e gli altari per i cappelloni[44]. Sempre a Capua Gasperi ebbe nel 1781 l'incarico trasformare in una struttura stabile l'"Apparato", come veniva chiamato il magazzino della regia fortificazione, dove fino ad allora si erano tenute le rappre-



Fig.8 – Capua, palazzo arcivescovile, scala

sentazioni teatrali. Proprio il vincolo della preesistenza, probabilmente, impose la ripresa di un modello ormai superato nell'architettura teatrale di fine secolo, quello dell'auditorio con pianta ad U a tre piani di palchetti, come un recente studio ha messo in luce dalla lettura dei documenti[45]. L'architetto tenne certamente conto dei modelli napoletani che aggiornò ai nuovi indirizzi propugnati dal dibattito europeo delle sale teatrali, come mostra ad esempio la realizzazione dei palchetti in muratura e non in legno[46]. Le due facciate concepite da Gasperi, cancellate nella seconda metà dell'Ottocento (a partire dal 1868), erano ancora in costruzione, insieme al tetto, nel 1792, come si ricava da nuovi documenti. I caratteri descritti rispecchiano la stessa semplice eleganza di ascendenza vanvitelliana espressa nelle opere già analizzate: basamento listato, al secon-

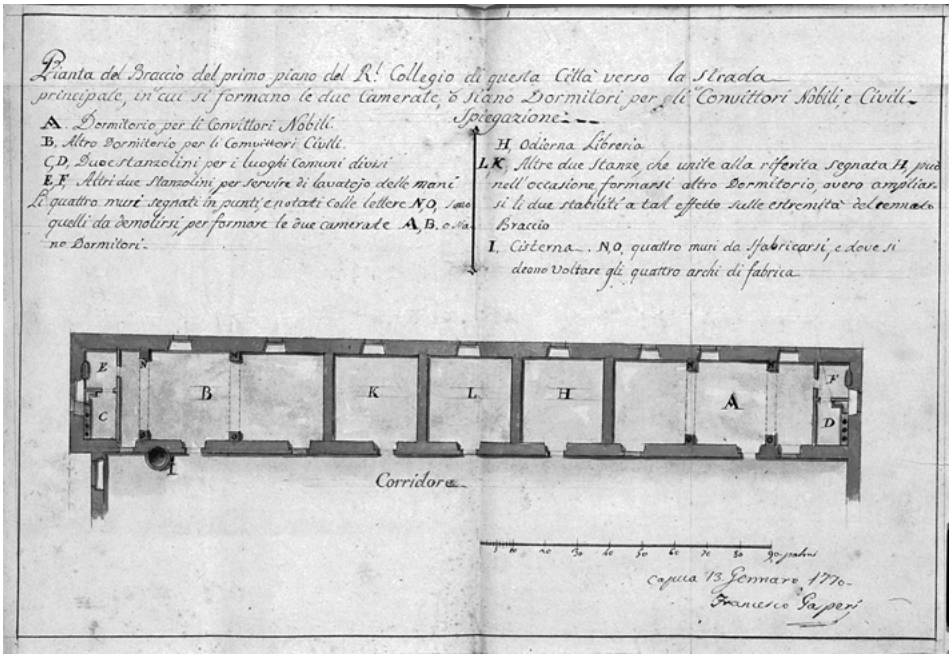


Fig.9 – F. Gasperi, Pianta del Braccio del Primo piano del regio Collegio (…) in cui si formano le due camerate (ASNa)

do livello ordine ionico, la presenza della loggetta al piano superiore, unico elemento recuperato poi nel successivo disegno ottocentesco[47]. Il suo teatro riscosse un così grande successo che, pochi anni dopo, gli fu affidato l'allestimento per i festeggiamenti in onore dei reali. Nel 1791 anche Capua, come Napoli, preparò due giorni di sontuose feste per accogliere il passaggio dei sovrani in città di ritorno da Vienna dove si erano recati nel 1790 per celebrare le nozze delle figlie con gli arciduchi austriaci. Gasperi concepì una struttura "seria e conveniente" che è testimonianza dell'evoluzione del gusto anche nel campo dell'effimero: l'apparato tende alla magnificenza attraverso la semplicità, con "un'infinità di cose in piccolo, ed in uno spazio non grande a proporzione delle cose medesime"[48]. Purtroppo, non si conservano disegni della macchina allestita nella piazza de' Giudici, un ampio anfiteatro di fronte alla chiesa di S. Eligio "per nascondere le irregolarità della piazza", al centro del quale si ergeva un tempio con quattro colonne e un attico decorato da due statue, concluso in alto da un frontone sormontato dalle armi reali[49]. Ai lati si aprivano le ali con pilastri dipinti a simulare il marmo, mentre sulla strada verso il duomo e su quella opposta erano situate due porte arcuate sormontate da frontoni mentre due "superbi" archi di trionfo segnavano l'ingresso da Roma e da Napoli[50]. In conclusione, l'unica opera effimera di quest'ingegnere con-

ferma la derivazione del suo linguaggio dalla cerchia vanvitelliana. Anche qui si ravvisa, infatti, la stessa volontà di esprimere un'estrema sobrietà, ricercata attraverso il ricorso ad elementi plastici semplici che sembrano nascere dalla riduzione all'essenziale dei partiti decorativi tradizionali.

[1] Le notizie su quest'ingegnere militare sono scarse e frammentarie. Una prima sintesi sull'attività è in P.L. CIAPPARELLI, *Due secoli di teatri in Campania (1694-1896) Teorie progetti realizzazioni*, Electa Napoli, Napoli 2000, p. 46, n. 159; M. G. PEZONE, *Cultura tecnica in Terra di Lavoro: attività topografica e idraulica nei disegni di Luigi Bardet di Villanova, Francesco Gasperi e Giuseppe Giordano*, in *Casa di re La reggia di Caserta fra storia e tutela*, a cura di R. Cioffi e G. Petrenga, Skirà, Milano 2005, pp. 130-132, 161-162.

[2] Sui due eredi della tradizione vanvitelliana si cfr. O. CIRILLO, *Carlo Vanvitelli*, Napoli 2005; R. SERRAGLIO, *Francesco Collecini. Architettura del secondo Settecento nell'area casertana*, Napoli 2001.

[3] G. CANTONE, *Juvarra e Vanvitelli: l'architettura dal tardo Barocco al Neoclassicismo*, in *Luigi Vanvitelli e la sua cerchia*, catalogo della mostra (Caserta, palazzo reale, 16 dicembre/16 marzo 2000), a cura di C. de Seta, Electa Napoli, Napoli 2000, pp. 46-52, p. 46.

[4] I. DI RESTA, *L'architettura militare a Capua dal XVIII al XIX secolo*, in "Storia dell'arte", XLV, 1982, pp. 167-176, p. 175

[5] Archivio di Stato di Napoli, (d'ora in poi ASNa), *Sezione Militare*, Aggiusti, 161, f. 61.

[6] Questo dato emerge dalla lettura dei documenti. In part. si cfr. Archivio Storico del Comune di Capua (d'ora in poi ACC), F. 1359, *Libro Cedole delle cariche pubbliche*.

[7] ACC, F. 1323, *Volume di Cedole documentanti l'esito extraordinario... 1782-1785*, c. 134, 136; F. 886, sotto l'anno 1762 vi sono gli atti "per il partito della costruzione della nuova strada di Basole che deve farsi fuori la porta di Roma a tenore degli ordini di S. M.".

[8] ACC, F. 886, *Lavori per ponti e strade*.

[9] ACC, *ibidem*; FF. 892, 902, *Espurgo della "Regia Agnena"*. In questi lavori fu coinvolto dagli anni Ottanta Costantino Portanova. Cfr. ACC, F. 920, dove sono conservati le misure dei lavori risalenti al 1785 firmati da Costantino Portanova.

[10] Nel 1784 la "Giunta e Deputazione delle Strade e Ponti" era stata smembrata in due, una giunta tecnica costituita da tre ingegneri dei quali due militari e uno civile (da cui il nome di Giunta dei tre Ingegneri) e l'altra "dei siti reali", preposta alla risoluzione dei problemi economico-amministrativi. Le due giunte furono abolite nel 1798 e sostituite dalla Soprintendenza delle strade. Cfr. G. BRANCACCIO, *Trasporti e strade*, in *Storia del Mezzogiorno*, vol. VIII, Roma Napoli 1991, pp. 351-385, p. 373; F. DI MATTIA, F. DE NEGRI, *Ingegneri e istituzioni alla fine del XVIII secolo*, in *Storia dell'Ingegneria*, Atti del I Convegno Nazionale (Napoli, 8-9 marzo 2006), a cura di A. Buccaro, G. Fabbricatore, L. M. Papa, t. I, Cuzzolin, Napoli 2006, pp. 207-212.

[11] Cfr. F. STRAZZULLO, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica nel Regno di Napoli dal '500 al 700*, Arte Tipografica, Napoli 1993, p. 94, doc. 95.

[12] G. FIENGO, *Organizzazione e produzione edilizia a Napoli all'avvento di Carlo di Borbone*, ESI, Napoli 1983, p. 80.

[13] *Notizie del bello, dell'antico e del curioso che contengono le Reali ville di Portici, Resina, lo scavamento pompejano, Capodimonte, Cardito, Caserta e S. Leucio che servono di continuazione all'opera del canonico Carlo Celano*, a spese di Salvatore Palermo, Napoli 1792, pp. 218-129: "In questa città [Venafro] fermavasi il re quando portavasi a Capriati. E poicchè per andar da Venafro al Bosco, passar dovea il rapidissimo Volturno, qui sopra costruì un maestoso ponte, che è uno dei più maestosi del Regno".

[14] Si può supporre che anche l'intervento diretto da Bompiede nel 1769 con le stesse finalità vide il coinvolgimento del Gasperi. La *pianta delle adiacenze del Ponte di Torcino* redatta in quest'occasione presenta, infatti, analogie formali con altri disegni "idraulici" firmati da Gasperi. Cfr. M.R. Simeone, Scheda n.37 in *Scienziati-artisti*, a cura di A. Buccaro, F. De Mattia, Electa Napoli, Napoli 2003, pp. 156-157. Il disegno è pubblicato a p. 198.

[15] Cfr. A. Di Biasio, *Il passo del Garigliano nella storia d'Italia. Il ponte di Luigi Giura*, Caramanica, Marina di Minturno (Latina) 1994, pp. 147-149.

[16] Le citazioni tratte dalla *Spiegazione* allegata alla pianta sono riportate Ivi, p. 149, n. 2. La pianta pubblicata in questo testo è conservata alla Biblioteca Nazionale di Napoli (d'ora in poi BNN). Una versione precedente datata 1788 è conservata invece alla Società napoletana di Storia Patria (d'ora in poi SNSP), *Andamento e profilo lungo la sponda del fiume Garigliano* (6/7/1788), n. inv. 12721.

[17] ASNa, Piante della Segreteria d'Azienda, cartella 3, F. Gasperi, *Mappa del Territorio denominato Fiume morto distante da Capua circa un miglio tirando verso mezzogiorno, il quale è stato letto del fiume Volturno sino all'anno 1750* (12/11/1795).

[18] Sulle altre vicende dell'acquedotto si cfr. il contributo di Ciro Robotti in *L'acqua e l'architettura. Acquedotti e fontane nel regno di Napoli*, a cura di F. Starace, edizioni del Grifo, Lecce 2002.

[19] ACC, F. 1323, *Volume di Cedole documentanti l'esito extraordinario... 1782-1785*, cc. 129-166; F. 151, *Diversorum (1779-1781)*, c. 80 e sgg; F. 920, c. 10t e sgg.

[20] I. Di Resta, *Capua*, Laterza, Roma-Bari 1985, p. 87.

[21] ACC, F. 151, *Diversorum (1779-1781)*, cc. 80 e sgg : "Per la ricomposizione, e manutenzione de' pubblici acquedotti della medesima, siamo in obbligo di rappresentare, come riconosciutosi, che nella parte più superiore degli acquedotti, e propriamente dal principio del Bosco di S. Vito sino alle principali sorgive, vi fossero degli impedimenti, o lesioni, per le quali buona porzione delle acqua delle dette sorgive va a perdersi non pervenendo nella parte inferiore, volle questo Illustrissimo Cons Govre che si fosse ciò riconosciuto dal Signor D. Francesco Gaspari Direttore assistente dell'opera di riattazione, lo chè eseguitosi anche coll'assistenza di alcuni di Noi, si è dal detto signo Francesco fatta la seguente relazione che è di tal tenore cioè: / Alli Sig.ri Dep.ti delle fontane di questa città di Capoa= Nel sospetto, che una porzione di acqua disperdasi nel corso del formale della città, furono da me in unione delle signorie loro praticati gli assaggi proposti dal Colonnello Sig D. Giovanni Bompiede Direttor dell'opera mercè li quali misurata l'acqua in varie sezioni dal medesimo corso, si è verificata una tale perdita nel tratto dal Cisternone sistente nel principio del bosco di S. Vito sino alle vicinanze della sorgiva, che dicesi del Mandrone che forma l'estensione di circa canne 340".

[22] Ivi, cc. 83-87t.

[23] Ivi, c. 87t.

[24] La *Mappa del corso degli acquedotti pe' quali si conduce l'acqua nella fedelissima città di Capua*, scala grafica di palmi napoletani 2500, misure cm 22,5x49, è conservata alla BNN, Fondo Carte Geografiche, b. 24(8

[25] A. VENDITTI, *Architettura neoclassica a Napoli*, ESI, Napoli 1961, p. 90.

[26] R. ASSUNTO, *Ambivalenze dell'estetica settecentesca: classicismo e barocco*, in *Bernardo Vittone e la disputa fra classicismo e barocco nel Settecento*, 2 voll., Atti del Convegno Internazionale dell'Accademia delle scienze (Torino 1970), Accademia delle Scienze, Torino 1972, pp. 40 e sgg.; H. HAGER, *Gian Lorenzo Bernini e la ripresa dell'alto barocco nell'Architettura del Settecento romano*, in *Gian Lorenzo Bernini architetto e l'architettura europea del sei-settecento*, 2 voll., I.E.T., Roma 1983-1984, pp. 469-488, p. 479.

[27] G. DI MARCO, G. PAROLINO, *I conventi maschili di Sessa. Storia e architettura*, Caramanica, Marina di Minturno (Latina) 2000, pp. 117, 126.

[28] Ivi, pp. 77-88.Al centro della controsoffittatura è ancora conservata la tela raffigurante la Santissima Trinità con Sant'Agostino.

[30] Probabilmente Sanfelice fornì agli Agostiniani di Sessa il primo progetto della fabbrica, portata poi a termine in anni successivi, forse da Giuseppe Astarita che lo sostituì in altre cariche ricoperte presso i monasteri agostiniani. I lavori di fabbrica si protrassero, infatti, in anni successivi quando Astarita è documentato a Sessa per la realizzazione di altre opere (la porta di accesso alla città e i lavori di completamento dell'Annunziata nel 1754). Si cfr. G. AMATUCCI, *Sessa neoclassica: l'Annunziata*, in "Mensile suessano", 125, 1994, 1814-1816; C. DE FALCO, *Giuseppe Astarita architetto napoletano 1707-1775*, ESI, Napoli 1999, pp. 139-142 e sulla produzione per gli agostiniani a Napoli, pp. 75 e sgg.

[31] Si cfr. G. DI MARCO, G. PAROLINO, *op. cit.*, pp. 117, 126.

[32] Su queste opere si vedano i diversi contributi in *Luigi Vanvitelli*, ESI, Napoli 1973, *passim*; C. DE SETA, *Luigi Vanvitelli*, Electa Napoli, Napoli 1998, *passim*; *Luigi Vanvitelli e la sua cerchia*, catalogo della mostra (Caserta 16 dicembre 2000 - 16 marzo 2001) a cura di C. De Seta, Electa Napoli, Napoli 2000.

[33] L. GIORGI, *Architettura religiosa a Capua. I complessi della SS. Annunziata, S. Maria e S. Giovanni delle dame monache*, Tip. Soc. Interstampa, Roma 1990, pp. 43-45. L'autrice parla genericamente del suo coinvolgimento nel cantiere in questi anni citando come fonte documenti di pagamento intestati all'architetto a suo dire conservati presso l'Archivio della Curia Arcivescovile di Capua, dove però non risultano reperibili.

[34] F. GRANATA, *Storia sacra della chiesa metropolitana di Capua*, Stamperia Simoniana, Napoli 1766 (ed anastatica, Sala Bolognese 1988), I, pp. 181-182.

[35] R. SERRAGLIO, *Interventi settecenteschi per la Santa Casa dell'Annunziata di Capua*, in *Ferdinando Fuga. 1699-1999. Roma, Napoli e Palermo*, Atti del Convegno (Napoli, Palazzo Reale, 25-26 ottobre 1999), a cura di A. Gambardella, ESI, Napoli 2001, pp. 353 e sgg.

[36] M. GIOFFREDO, *Dell'Architettura ... parte prima*, Napoli 1768, p. 20 e tav. XIV.

[37] ACC, F. 1323, *Volume di Cedole documentanti l'esito extraordinario... 1782-1785*, c. 134.

[38] ACC, F. 1314, *Volume di Cedole documentanti l'esito extraordinario... 1773-74*, dove sono conservate tutte le misure dei lavori di "rifattione" nel palazzo dell'Udienza. Per i lavori in stucco della scala viene pagato Vincenzo Farinaro.

[39] ASNa, *Giunta degli Abusi*, B.75, ff. 107-113: "Relazione dei lavori (che) conviene eseguirsi nel Real Collegio di questa città per ridurre a due camerate, o siano dormitori, sei delle stanze del primo piano del Braccio verso la strada principale, per potervi abitare gli otto convittori Nobili in una, e lio sette civili nell'altra coi loro rispettivi capocamera, apponendosi in quella relazione un conto

prudenziale della spesa" Capua 14 gennaio 1770, Francesco Gasperi. Allegata "Pianta del Braccio del Primo piano del regio Collegio di questa città verso la strada principale, in cui si formano le due camerate, o siano Dormitori, per li Convittori nobili e civili". Firmata, Capua 13 gennaio 1770. Scala di 90 palmi napoletani.

[40] *Ibidem.*

[41] Sulle altre vicende del complesso gesuitico si cfr. A. ROBOTTI, *Il collegio dei Gesuiti a Capua. Analisi rilievi e documenti*, in "Disegnare", XIII, 24, 2002, pp. 62 e sgg.

[42] Di recente è stata documentata dagli anni '60 la presenza di alcuni tra i maggiori architetti della seconda metà del Settecento, Mario Gioffredo (1759-62), Ferdinando Fuga (1759-60), Francesco Gasperi (1780-), Giovanni Bompiede (1780-89) e, infine, dopo la morte di quest'ultimo, proprio Collecini, subentratogli nel 1790, al quale toccò il compito di ricomporre unitariamente i frammentari interventi progettuali precedenti. Cfr. R. SERRAGLIO, *Interventi settecenteschi per la Santa Casa dell'Annunziata di Capua*... cit., pp. 353 e sgg.

[43] *Ibidem.*

[44] D. JACAZZI, *Gaetano Barba. Architetto neapolitano*, collana "Luoghi e Palazzi" diretta da A. Gambardella, ESI, Napoli 1995, pp. 70-72.

[45] P.L. CIAPPARELLI, *op. cit.*, pp. 137-142.

[46] *Ibidem.*

[47] ACC, f. 591, Misura e valuta di lavori di fabbrrica, tetto, ed altro eseguito dagli appaltatori Domenico Aulicino e Giuseppe d'Eboli per la covertura del teatro di questa città (...) stipulato sotto il 31 maggio dello scorso anno 1792.

[48] L. CASSITTO, *Breve relazione delle Feste fatte nella fedelissima città di Capua per lo ritorno delli Sovrani nel dì 26 Aprile*, [s.n.], Napoli 1791.

[49] *Ibidem.*

[50] *Ibidem.*

GIUSEPPINA D'ERRICO

Il regio ingegnere Giuseppe Giordano nella cultura borbonica tra '700 e '800

A partire dalla seconda metà del secolo dei lumi, nel Mezzogiorno d'Italia, sulla scia di quanto stava accadendo nel resto d'Europa, la figura professionale dell'ingegnere iniziò ad acquisire maggiore importanza come espressione della cultura tecnico-scientifica[1].

Inoltre l'opera di internazionalismo voluta dai Borbone, intrapresa prima da Carlo e perseguita poi da Ferdinando, permise di stringere stretti rapporti con gli artefici d'oltralpe, in particolare con gli esperti tecnici del *Corp des Ponts et Chaussés*, alcuni decenni prima della nascita dell'italiano Corpo di Ponti e Strade. Questo andrebbe ad avvalorare la tesi di Giuseppe Ceva Grimaldi, secondo cui l'attenta politica rivolta alla formazione di tecnici esperti, avviata ai tempi di Ferdinando IV, si sarebbe concretizzata nei "frutti" raccolti dai Napoleonidi[2].

Non è un caso quindi che molti ingegneri al servizio dei Borbone alla fine del Settecento siano diventati personaggi chiave del Corpo di Ponti e Strade nel decennio francese[3].

A nutrire la folta schiera degli artefici borbonici della fine del Settecento, che vede spiccare tra le proprie fila i più famosi Ignazio Stile, Francesco Carpi, Francesco Piscicelli e Francesco Costanzo, c'è un altro personaggio a lungo trascurato, nonostante le alte cariche ricoperte, di cui sono molto scarse e confuse le notizie desumibili dalla pubblicistica contemporanea, e di cui mai prima d'ora era stata tentata una puntuale ricostruzione biografica. Si tratta dell'architetto-ingegnere, vissuto a cavallo tra il XVIII e il XIX secolo, Giuseppe Giordano.

Nel ricostruire il suo profilo, partendo da un analisi bibliografica accompagnata da una più dettagliata indagine archivistica, sono emersi i caratteri di importanza e di prestigio che doveva godere nell'ambiente in cui operava.

Da interessanti incartamenti conservati presso l'Archivio di Stato di Napoli è stato possibile risalire ad alcuni rilevanti limiti cronologici: la data di nascita, 15 agosto 1764[4], e il giorno in cui l'ormai ottuagenario Giordano presenta la richiesta di pensionamento, 12 luglio 1852[5], importante per documentare la sua lunga attività di ingegnere-architetto; nonché per aggiungere utili informazioni circa la sua biografia, come, a esempio, il fatto che avesse sette figli; mentre invece risulta ancora sconosciuta la data di morte.

Tra i suoi numerosi figli figura il nome di Luigi, personaggio di spicco della cultura tecnica napoletana, il cui unico collegamento col padre compare nel suo elogio funebre[6], del 20 aprile 1886, dove Luigi viene presentato come figlio di

Giuseppe Giordano valente ingegnere Ispettore generale del corpo dei Ponti e Strade[7] in Napoli, mentre di lui viene detto che "succhiò in famiglia direi quasi il latte di quella professione, della quale addivenne vanto ed onore"[8].

La biografia di Giuseppe Giordano, ma soprattutto la sua attività, si interseca con i profondi mutamenti che si registrano nel regno napoletano; sia dal punto di vista politico, con le tre restaurazioni; che da quello architettonico, con il passaggio dal neoclassicismo all'eclettismo[9], nonché con la definizione della figura dell'architetto-ingegnere poi detto scienziato-artista[10].

La peculiarità di questo personaggio risiede nella sua versatilità; infatti la sua eclettica produzione spazia dall'attività di topografo, alla progettazione di infrastrutture, architetture palaziali, manifatture e lo vede inoltre impegnato nelle "riattazioni" di edifici e nel ramo delle bonifiche. La sua qualifica non è univocamente stabilita, infatti viene indistintamente definito Regio Ingegnere e Architetto; di fatto si ritrova ad operare in un particolare periodo in cui queste due figure professionali risultano essere «*encore assez proches*»[11]. Giova ricordare che la qualifica di "regio ingegnere" veniva utilizzata quale sinonimo di "ingegnere camerale"[12] per distinguere gli ingegneri civili abilitati da una patente a svolgere gli incarichi per conto dello Stato. Dalle indagini di archivio non è però emerso il nome di Giordano tra gli ingegneri camerali, infatti non compare nel Registro degli Assienti della Tesoreria, tuttavia, trattandosi di un registro di pagamenti, ciò non esclude la sua presenza come ingegnere camerale senza soldo.

Ricostruendo la sua attività, sono emersi almeno tre consistenti ambiti progettuali relativi alle diverse fasi che ne hanno scandito la produzione. Le prime notizie, desunte dalla bibliografia contemporanea, sono rivolte alla sua prima formazione e apprendistato, che, come vuole la prassi del tempo, lo vede a fianco di un accreditato professionista dell'epoca, dell'ingegnere militare Emanuele Ascione[13]. Anche se ancora poco documentato, è possibile inquadrare Emanuele Ascione in quella nuova tipologia di Ingegneri militari del tutto estranea a quella denigrata da Vanvitelli che di loro diceva "sanno di architettura come io so di astronomia o di calcoli differenziali"[14]. Questa nuova classe, che annovera tra gli altri personaggi del calibro di Francesco La Vega (1735-1804), Antonio Winspeare (1739-1820), Francesco Sicuro (1746-1827) e Nicolò Carletti è sicuramente dotata di una maggiore erudizione e raffinatezza e istruita allo studio dell'antico e alla pratica del disegno[15].

In tutti i tentativi di ricostruzione biografica di Ascione, Giordano viene sempre indicato come suo allievo; infatti è proprio dal colto ingegnere che dovette apprendere la passione per le belle arti e l'antico, nonché l'interesse per il disegno e l'idraulica[16]. Collabora col suo "maestro" in almeno due grandi progetti documentati, il primo riguarda la risistemazione architettonica della facciata della chiesa di S. Luigi di Palazzo,

volto a renderla degna della sua collocazione[17]. Il secondo ambizioso programma in cui Giordano viene coinvolto insieme a Carlo Andrelini, nel periodo in cui Ascione era segretario della Reale Accademia di belle Arti[18], consiste nel rilievo dei più bei monumenti di Napoli[19]. Tale impresa non vedrà però il completamento nella pubblicazione, ma sull'onda della rivalutazione del Rinascimento, o come lo definiva allora Pietro Valente "Risorgimento"[20], un'operazione analoga sarà poi condotta da Francesco de Cesare, che illustrerà i più celebri monumenti rinascimentali di Napoli corredati da brevi descrizioni e cenni storici[21].

Il secondo ambito progettuale, in cui può essere scandita la sua attività, sia in termini cronologici che professionali, riguarda in pieno la sua attività di architetto-ingegnere, che si è potuta ricostruire mediante l'ausilio di un importante inedito documento d'archivio che prende il nome di "scrutinio di polizia"[22]. Si tratta di una sorta di curriculum vitae sotto forma di questionario, in cui i compilatori erano tenuti a rispondere circa la loro condotta e i loro impieghi nella fase napoleonica. In quello redatto di proprio pugno da Giuseppe Giordano nel 1821, si legge che iniziò a servire il re nel 1787, e che dal 1790 fu al servizio della Real Segreteria di Stato ricoprendo mansioni da architetto[23].

Sempre in questo resoconto della carriera si riporta quella che forse viene ricordata come la sua più grande impresa, cioè la vasta operazione di industrializzazione che lo vede protagonista a Isola Liri. Infatti nel 1792, per volere del re, gli viene conferito l'incarico di dirigere i lavori per stabilire nell'isola di Sora una fabbrica di fili di ferro per supplire ai bisogni del Regno.

Nell'ambito di questo progetto gli viene concessa l'opportunità di mostrare la sua perizia grafica e il suo valore di cartografo nella redazione di una *Pianta Topografica dell'Isola di Sora* delineata dal valente ingegnere nel 1793 per volere del Commissario di Campagna D. Tommaso Oliva che fece "staccare la pianta dall'Ingegnere D. Giuseppe Giordano, giovine di grande aspettativa nella sua professione, il quale disegnolla, e miniolla a vista d'uccello con la mano maestra; e con molta soddisfazione del Sovrano"[24].

Su commissione dell'imprenditore dello Stato Pontificio Giovanni Antonio Sampieri, riceve, insieme all'architetto Vincenzo Ferraresi, l'incarico della progettazione di una fabbrica di ferro filato presso Isola Liri (Sora); disegno che egli inserisce in un più ampio progetto riguardante la costruzione di una fonderia, di una trafila, di una fabbrica per trarre la seta, di una cartiera e di una segheria idraulica[25].

Il vasto programma restò però incompiuto a causa delle vicende politiche della Repubblica Partenopea e dell'invasione francese nel Regno; ma la sua analisi è comunque molto interessante perché permette di comprendere lo stile dell'autore inserito nel suo tempo. Inoltre questo progetto è molto importante anche perché ha consentito di ricostruire la pratica dell'architetto, il

quale, prima di procedere alla stesura dei disegni, si documenta fuori dei confini del regno, rilevando alcuni edifici produttivi esistenti nello Stato Pontificio che avrebbero dovuto servire da modello per le nuove fabbriche borboniche.

L'industrializzazione di Sora-Isola Liri rientra nel più ampio progetto voluto dai primi Borbone, che costruirono dei veri e propri "primati" industriali nel Regno delle due Sicilie.

Infatti mentre in Inghilterra cominciavano ad imporsi le prime città industriali di Manchester, Birmingam, Liverpool, Glasgow e Leeds, nel Mezzogiorno si costruivano: la fabbrica d'armi di Torre Annunziata, la ferriera di Mongiana, la prima linea ferroviaria a Pietrarsa, i ponti sospesi del Garigliano e del Cadore, ecc.

Secondo quanto riferito nel curriculum, dal 1794 inizia per lui la grande avventura all'interno delle profonde trasformazioni del sistema viario, infatti è proprio in quest'anno che viene nominato direttore dei lavori della strada detta "da Sora a Ceprano"[26], della lunghezza di 43 miglia, in diramazione da quella degli Abruzzi, che segue fino alle vicende del 1799[27]. Se da un lato la rivoluzione del 1799 non gli permise di portare a termine il suo lavoro, paradossalmente fu proprio tale vicenda a permettergli di ricoprire la carica istituzionale di Ingegnere Direttore delle opere per l'Amministrazione dei beni dei rei di Stato del Regno di Napoli. Questa fase rappresenta la vera nota originale del profilo, infatti tale istituzione è stata poco indagata dalla storiografia ufficiale, e con essa tutti i

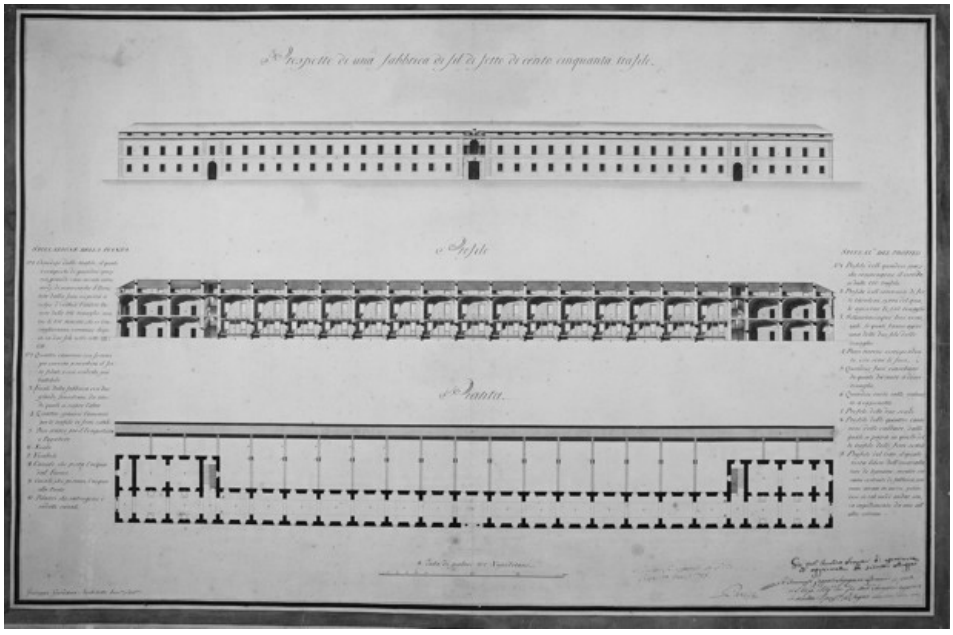


Fig. 1 - Pianta, profilo e prospetto di una fabbrica di fili di ferro di cinquanta trafile

membri che ne hanno fatto parte. L'Amministrazione dei beni dei rei di Stato del Regno di Napoli nasce dalla necessità di gestire i beni di coloro che, a seguito della restaurazione borbonica del giugno 1799, furono ritenuti responsabili della rivoluzione repubblicana[28]. Già nel febbraio dello stesso anno il re aveva disposto che si sequestrassero i beni di "quanti appartenevano a uno Stato in guerra con lui"[29].

La sua direzione fu affidata prima al cav. Gaetano Ferrante e poi nel 1801 passò nelle mani del marchese di Montagano[30]. Nonostante la sostituzione al vertice a Giordano viene confermata la sua qualifica di Ingegnere Direttore, le cui mansioni spaziavano dal "fare le necessarie riparazione dei Corpi", al "fare le configurazioni dei territori" al "formare le piante da conservarsi nell'Officina" e soprattutto "per la conservazione delle macchine idrauliche, che sono, e possono montarsi ne' rispettivi feudi per animare l'Industrie, e le manifatture, per servire al bisogno delle popolazioni"[31].

Molteplici furono le opere da lui avviate nell'ambito di tale ufficio, a partire dai lavori necessari per adeguare le carceri ad accogliere i rei di Stato, come nel caso delle carceri di S. Maria Apparente a Napoli[32], e ancora le carceri e l'ospedale dei Regi Granili al Ponte della Maddalena[33] e quelle di S. Francesco di Paola fuori Porta Capuana[34]. Per tutto l'anno 1800 stilò numerose perizie di beni, tra quelle documentate si trovano la stima del casino con giardino del principe Torella sito sopra l'Infrascata[35]; quella dei beni del reo di Stato Sebastiano de Filippis presso Marigliano[36] e la relazione sui possedimenti di Lelio Rossi siti dietro Palazzo Gravina[37].

Sempre negli stessi anni diresse i lavori di "riattazione" di importanti edifici appartenuti a illustri personaggi, tra i quali la difesa detta di Torre Bonito del Principe di Strongoli[38], la casa baronale del fondo d'Angri[39], e il Palazzo sito nel largo di S. Marcellino appartenente al Duca d'Andria[40]. Quest'ultimo, in particolare il pressoché totale rifacimento, attribuibile a Giordano, avvenuto nel primo Ottocento, viene citato da Arnaldo Venditti quale importante esempio del neoclassicismo napoletano[41].

Dopo l'esperienza in seno all'Amministrazione dei beni dei rei di Stato, il colto ingegnere viene investito della carica di Ispettor Generale delle Strade del Regno in sostituzione del Soprintendente di allora Marchese della Valva, destinato "dal M. Visitatore di alcune province, e dopo il suo ritorno continuai ad essere Ingegnere in Capo della Soprintendenza delle Strade sino all'occupazione militare"[42].

È in tale frangente che lo ritroviamo impegnato col grado di ispettore dei lavori per le regie strade della Sicilia Citeriore[43] e ingegnere della Strada di Puglia[44], la quale "incomincia dalla provincia di Napoli e si estende ai confini di quella di Bari"[45]. Ad arricchire la versatile produzione di Giuseppe Giordano, c'è il suo lavoro nel ramo delle bonifiche, scarsamente riportato dalla storiografia. Infatti sulla scia dei più celebri Luigi e Carlo Vanvitelli, Giovanni

Carafa, Giovanni Antonio Rizzi-Zannoni, Niccolò Carletti, Giordano si inserisce nell'ambito di una complessiva definizione del ruolo dell'intellettuale cosmopolita del Settecento, ora specificatamente teso a una riorganizzazione anzitutto "culturale" del territorio. In tal senso l'architettura, l'idraulica e la cartografia si propongono come significativi momenti programmatici di una complessiva rigenerazione civile dell'organizzazione infrastrutturale del territorio[46].

In particolare, uno degli episodi che vede l'ingegnere incaricato di lavori di risanamento, riguarda la bonifica del basso Volturno, territorio soggetto a impaludamento e fortemente malarico, il cui recupero sarebbe rientrato in un più ampio programma di bonifica idraulica, promosso dai Borbone tra la fine del Settecento e l'inizio dell'Ottocento. L'intervento di prosciugamento dell'area sarebbe stato affidato a Giuseppe Giordano, il quale predispone una *Pianta del territorio di Castellammare del Volturno in Campagna Felice*, pregevole disegno acquerellato, pubblicato per la prima volta da Giuseppe Fiengo[47], oggi conservato alla Biblioteca Nazionale di Napoli, la cui datazione è stata documentata solo in seguito da Maria Gabriella Pezone[48]. Infatti Pezone parla di una relazione allegata al rilievo, recante "misura e livellazione del territorio"[49] da cui è stato possibile dedurne la data di realizzazione, 1803[50]. Il progetto purtroppo non fu portato a termine a causa dei noti capovolgimenti politici; ma resta comunque una rara e importante testimonianza del programma di bonifica precedente a quello iniziato dai napoleonidi.



Fig. 2 - Pianta del territorio di Castellammare del Volturno in Campagna Felice

Giordano impegna la parte più consistente della sua attività, nonché della sua vita, al servizio del Corpo di Ponti e Strade[51], dove attraversa da protagonista l'intera vicenda del sistema viario già iniziata ai tempi dei provvedimenti presi da Ferdinando IV[52]. Contemporaneamente al suo impegno all'interno del Corpo, all'esperto ingegnere non mancano le occasioni per fare sfoggio della sua "anima neo-classica" maturata ai tempi della sua formazione; infatti manifesta il legame con la cultura del suo tempo, agendo come architetto "puro" in almeno due circostanze. Il primo caso è fornito dal progetto presentato al concorso per la costruzione della chiesa di S. Francesco di Paola del 1817, dove si ritrova espressa sotto forma di disegno la sua concezione dell'architettura secondo cui "Ogni edifizio, sia pubblico, sia privato, meriterà la pubblica approvazione, quando vi concorrono i tre oggetti, cioè la solidità, il comodo e l'ornato, e quando il sito in cui si va a costruire, conserva i dovuti rapporti colla parte della città che lo circonda"[53].

Ancora il suo spirito neoclassico traspare nel progetto per la Villa Pignatelli alla Riviera di Chiaia (1825), al quale verrà poi preferito quello del giovane Pietro Valente forse a causa dell'eccessivo palladianesimo ostentato dall'architetto[54]. La ricostruzione del suo profilo biografico non fa altro che avvalorare la tesi del prestigio che dovette godere tra i suoi contemporanei. A tal proposito, analizzando la sua attività per il Corpo, è interessante notare il fatto che egli ne faccia parte fin dalla sua istituzione (1809)[55], infatti, mentre con la creazione della scuola di Applicazione, l'accesso al Corpo viene vincolato ad un concorso, il nucleo originario viene scelto per "chiamata diretta"[56]. Giordano non solo non fa nessun concorso, ma dopo pochi anni il suo nominativo si ritrova tra gli esaminatori dei giovani candidati che volevano accedere all'interno del Corpo di Ponti e Strade[57], e, scalando tutte le cariche, arriva a ricoprire il ruolo di Ispettore Generale.

All'interno di tale istituzione uno dei primi incarichi conferiti al regio ingegnere è la collaborazione con Romualdo de Tommaso per la realizzazione dell'importante strada di Posillipo[58], opera grandiosa che, a causa dei forti dislivelli esistenti fra le varie località da collegare, presentava alcuni ostacoli poi "brillantemente superati"[59].

Inoltre si ritrova ad operare al fianco di personalità del calibro di Luigi Malesci, Giuliano de Fazio, Bartolomeo Grasso, Luigi Giura, Luigi Oberty; quasi sempre impegnato in lavori stradali con incarichi di direzione, come ad esempio nel 1812 per la strada da Arienzo a Maddaloni in Terra di Lavoro[60]; per quella di Penne in Abruzzo[61] e a partire dal 1824 per quella detta "di Potenza" da Vietri di Potenza ed Atella considerata una delle "più importanti fra le strade di nuova costruzione"[62]. Sul finire della sua carriera ricopre anche la carica di architetto per il Decurionato della città di Napoli[63], organo fondato nel 1806 da Giuseppe Napoleone "protagonista del dibattito architettonico e urbanistico fino all'Unità d'Italia"[64].

[1] Si veda in proposito: A. BUCCARO, *Da «architetto vulgo ingegnero» a «scienziato artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento,* in *Scienziati-Artisti: formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di ingegneria di Napoli*, a cura di F. De Mattia, A. Buccaro, Napoli, Electa, 2003, pp. 17-43; R. DE LORENZO, *Gli ingegneri borbonici: funzionari, militari, memorialisti*, in. *Scienziati artisti, cit,* pp. 45-63; A. DI BIASIO, *Ingegneri e territorio nel Regno di Napoli dal Decennio francese all'Unità: l'attività del Corpo di ponti e strade*, in *Scienziati artisti, cit,* pp. 91-131; R. PARISI, *Luigi Giura (1795-1864): ingegnere e architetto dell'Ottocento*, Napoli, Electa, 2003, pp. 15 sgg; M. G. PEZONE, *Architetti dei Borbone nel settecento: formazione e cultura professionale tra arte e scienza*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 2005. (Estratto da: *L'architettura dei Borbone di Napoli e delle due Sicilie* a cura di Alfonso Gambardella), pp. 9 sgg.

[2] G. CEVA GRIMALDI, *Considerazioni sulle pubbliche opere della Sicilia di qua dal faro: dai normanni sino ai nostri tempi*, Napoli, Tipografia Flautina, 1839, pp. 148-149.

[3] M. G. PEZONE, *Architetti dei Borbone, cit.*, p. 33.

[4] Cfr. A. DI BIASIO, *Carlo Afan De Rivera e il Corpo dei Ponti e Strade: ingegneri e territorio nel Regno di Napoli 1800-1860*, Latina, Amministrazione Provinciale, 1993, p. 156.

[5] Archivio di Stato di Napoli (d'ora in poi ASN), *Ministero delle Finanze*, f. 12157.

[6] *In morte dell'ing. Luigi Giordano, gia ispettore del Genio Civile, membro del Consiglio superiore dei lavori pubblici: 20 aprile 1886,* Napoli: Stab. tip. Ferrante, (1886), 1886, p. 3.

[7] Riguardo al Corpo di Ponti e Strade cfr. L. BIANCHINI, *Storia delle finanze delle Due Sicilie*, Napoli, Stamp. Reale, 1859, pp. 598-599; G. RUSSO, *La scuola d'ingegneria in Napoli: 1811-1967*, Napoli, Istituto Editoriale del Mezzogiorno, 1967; F. DE MATTIA-F. DE NEGRI, *Il corpo di Ponti e Strade dal decennio francese alla riforma del 1826,* in *Il Mezzogiorno preunitario. Economia, società e istruzione,* a cura di A. Massafra, Bari, Edizioni Dedalo, 1988, pp. 449-468; A. GIANNETTI, *L'ingegnere moderno nell'amministrazione borbonica: la polemica sul corpo di ponti e strade Civiltà dell'Ottocento,* in *Il Mezzogiorno, op cit.,* pp. 935-944; A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento,* Napoli, Edizioni scientifiche italiane, 1985; A. BUCCARO, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario,* Napoli, Electa, 1992; A. DI BIASIO, *Carlo Afan De Rivera e il Corpo dei Ponti e Strade: ingegneri e territorio nel Regno di Napoli 1800-1860*, Latina, Amministrazione Provinciale, 1993*; Architettura e urbanistica*, a cura di G. Alisio, Napoli, Edizioni scientifiche italiane, 1997, pp. 22-25.

[8] *In morte dell'ing. Luigi Giordano, cit.,* p. 3.

[9] C. LENZA, *Monumento e tipo nell'architettura neoclassica: l'opera di Pietro Valente nella cultura napoletana dell'800*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1995, p. 1.

[10] Cfr. C. A. DE RIVERA, *Considerazioni su i mezzi da restituire il valore proprio a' doni che ha la natura largamente conceduto al Regno delle Due Sicilie*, Napoli 1832, II, pp. 463-464; A. BUCCARO, *Da «architetto vulgo ingegnero» , cit,* pp. 17-43; A. CERNIGLIARO, *Un'"Area Metropolitana" nel Settecento?*, in *Ager campanus*, a cura di G. Franciosi. Napoli, Jovene, 2002, p.241.

[11] A. PICON, *L'invention de l'ingénieur moderne: l'Ecole des ponts et chaussés 1747-1851,* Paris Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussés, 1992, p. 54, cit in A. DI BIASIO, *Ingegneri e territorio, cit*, p. 92.

[12] *Scienziati-Artisti, cit,* p. 148.

[13] Per Emanuele Ascione si confrontino G. GROSSI, *Le belle arti: opuscoli storici su le arti e professori dipendenti dal disegno ne' luoghi che oggi formano il regno di Napoli*, Napoli, Tipografia del Giornale Enciclopedico, 1820, pp.173-174; N. MORELLI, *Biografia dei Contemporanei del Regno di Napoli*, Napoli, Tramater, 1826, p.133; A. BORZELLI, *L'Accademia del disegno nel decennio 1805-1815*, in «Napoli Nobilissima», X, 1901, p. 56; U. THIEME, F. BECKER, *Allgemeines lexicon der bildenden Kunstler etc*, *Leipzig*, 1915, vol I, p. 121; P.NAPOLI SIGNORELLI, *Gli artisti napoletani della seconda metà del secolo XVIII*, (con note di G. Ceci) in «Napoli Nobilissima», n.s. II (1921), p.16; R. PANE, *Architettura del Rinascimento in Napoli*, Napoli, Editrice politecnica, 1937, p. 128; A. VENDITTI, *Architettura neoclassica a Napoli*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1961, p. 78, 121,162-164, 219; F. STRAZZULLO, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica nel Regno di Napoli dal '500 al '700*, Napoli, Arte tipografica, 1993, p. 91; F.MANCINI, *Feste ed apparati civili e religiosi in Napoli dal Viceregno alla capitale*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1997; M. G. PEZONE, *Francesco La Vega e la cultura architettonica neoclassica. La formazione e l'attività dell'ingegnere militare*, in *Napoli-Spagna: architettura e città nel 18. secolo*, a cura di A. Gambardella, Napoli, Edizioni scientifiche italiane, 2003, p. 74, 88.

[14] F. STRAZZULLO, *Le lettere di Luigi Vanvitelli dalla Biblioteca Palatina di Caserta*, vol. III, Galatina, 1977, pp. 651-652.

[15] M. G. PEZONE, *Architetti, cit*, p. 25.

[16] N. MORELLI, *Biografia cit*, p.133, "divisò dapprima di applicarsi all'esercizio delle leggi, ma cangiò poscia proponimento, forse pel diletto che prendeva dell'architettura militare idraulica e civile".

[17] A VENDITTI, *Architettura neoclassica, cit*, p. 161, ASN, Monasteri soppressi, fascio 4223 in F. Strazzullo, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica nel Regno di Napoli dal '500 al '700*, Napoli, Arte tipografica, 1993, p. 91.

[18] A. BORZELLI, *L'Accademia del disegno, cit*, p. 56; U. Thieme, F. Becker, *Allgemeines lexicon, cit*, vol I.

[19] G. GROSSI, *op. cit*, p.174.

[20] Cit. in A. Venditti, *cit*, p. 30.

[21] F. DE CESARE, *I monumenti di architettura greci, romani e del sec. XV esistenti nel Regno di Napoli o Sicilia di qua del Faro*, Napoli, da' Tipi della Vedova di Reale e figli, 1834.

[22] ASN, *Scrutini di Polizia*, f. 10.

[23] *Ibidem*.

[24] F. PISTILLI, *Descrizione storico-filologica delle antiche e moderne città, e castelli, esistenti accosto i fiumi Liri e Fibreno*, Napoli, Amato Cons., 1798, pp. 7-8.

[25] G.E. RUBINO, *Archeologia industriale e Mezzogiorno*, Roma, 1978, pp. 126 sgg.

[26] ASN, *Scrutini, cit*

[27] *Scienziati artisti, cit*, p. 165.

[28] A CARRO, *Amministrazione generale dei beni dei rei di Stato*, in *Fonti cartografiche nell'Archivio di Stato di Napoli*, a cura di M. A. Martullo Arpago, Napoli, Arte tipografica, 1987, p. 123.

[29] M. MENDELLA, La prima restaurazione borbonica (1799-1806), in « Storia di Napoli», vol. IX, Napoli, 1972, p. 11.

[30] A CARRO, *Amministrazione generale, cit,* p. 124.

[31] ASN, *Carte dei rei di Stato,* f. 269 bis.

[32] *ivi,* f. 304 «Richiesta di compenso per le fatiche erogate. 25 Novembre 1799».

[33] *Ibidem,* «Spese per lavori. 4 Gennaio 1800».

[34] *Ibidem,* «Giuseppe Giordano R.º Ing.re della G.le Amministrazione con ogni rispetto le rappresenta, come fu da V. S. Ill.ma incaricato di tutti i lavori necessari per la situazione dell'Ospedale dei rei di Stato S. Francesco di Paola fuori Porta Capuana. Ha egli assistito e diretti i lavori sud.ti, come tuttavia seguita a dirigerli con indefessa fatica di più mesi».

[35] ASN, *Carte dei rei di Stato,* f. 356.

[36] *ivi,* f. 290.

[37] *ivi,* f. 355.

[38] ASN, *Processi antichi,* Pandetta Corrente 5813 f. 1027.

[39] ASN, *Carte dei rei di Stato,* f. 319.

[40] *ivi,* f. 352.

[41] A. VENDITTI, *cit.*, p. 386.

[42] ASN, *Scrutini,cit.*

[43] G. CEVA GRIMALDI, *Considerazioni sulle pubbliche opere, cit,* p. LXIII.

[44] ASN, *Scrutini,cit.*

[45] ASN, *Direzione generale di ponti e strade,* Appendice, f. 47.

[46]Cfr. A. CERNIGLIARO, *Un'"Area Metropolitana" nel Settecento?,* in *Ager campanus,* a cura di G. Franciosi. Napoli, Jovene, 2002, p. 241.

[47] G. FIENGO, *L'acquedotto di Carmignano e lo sviluppo di Napoli in età barocca,* Firenze, L. S. Olschki, 1990, ill. 13.

[48] M.G. PEZONE, *Schede delle opere. VII. 4. Giuseppe Giordano,* in *Casa di re: un secolo di storia alla Reggia di Caserta,* 1752-1860, Milano, Skira, 2004, p. 162.

[49] Società Napoletana di Storia Patria, ms. XXI a2, ff. 119-12.

[50] M.G. PEZONE, *Architetti dei Borbone nel settecento, cit.*, pp. 96-97.

[51] ASN, *Ministero delle Finanze,* f. 12157.

[52] *Scienziati artisti, cit,* p. 165.

[53] ASN, *Ministero Finanze,* f. 1098.

[54] A. VENDITTI, *Architettura neoclassica a Napoli*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1961, p. 185; C. LENZA, *Monumento e tipo nell'architettura neoclassica: l'opera di Pietro Valente nella cultura napoletana dell'800,* Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1995, p. 422.

[55] A. DI BIASIO, *Carlo Afan De Rivera, cit.* p. 20.

[56] Cfr. F. DE MATTIA, F. DE NEGRI, *Il corpo di Ponti e Strade, cit.*, p. 450; A. GIANNETTI, *L'ingegnere moderno, cit.*, p. 935; *Architettura e urbanistica*, a cura di G. Alisio, Napoli, Edizioni scientifiche italiane, 1997.

[57] ASN, *Direzione generale di ponti e strade*, Appendice, f. 154.

[58] *ivi*, f. 297.

[59] A. BULGARELLI LUKACS, *Rete stradale ed opere pubbliche durante il decennio francese in un inedito rapporto di Pietro Colletta*, in «Archivio Storico per le Province Napoletane», s. III, XVIII, 1979, p. 338.

[60] ASN, *Direzione generale di ponti e strade*, Appendice, f. 298.

[61] ASN, *Direzione generale di ponti e strade*, Appendice, f. 509.

[62] BULGARELLI LUKACS, *Rete stradale, cit*, p.339.

[63] A. CUTOLO, *Il Decurionato di Napoli, 1807-1861*, Napoli: a cura del Comune, 1932, p. 66, 84.

[64] A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni, cit*, p. 100, 178.

MASSIMO PERSICO, CARLO REMINO

Le fucine della Valle Trompia alla base della metallurgia bresciana

Introduzione

Questa memoria ripercorre i momenti storici più significativi dell'evoluzione della tecnica metallurgica in Valtrompia e descrive gli strumenti e i processi usati. Evidenzia fra l' altro le ragioni sia del fiorire sia del decadere di un' attività metallurgica durata circa settecento anni.

La produzione del ferro

La documentazione attestante le origini dell'estrazione, della lavorazione e della fusione del ferro in Valtrompia è assai carente, ma si ritiene che i primi lavori nelle miniere della zona si siano avuti all' inizio del regno longobardo. Il primo documento che attesta la presenza di un opificio che lavorava il ferro è solo del 1314, ed è una pergamena nella quale si segnala l'acquisto di una fucina da ferro da parte del comune di Bovegno. Tuttavia si hanno anche conferme indirette della presenza di un forno fusorio agli inizi del Trecento.

Il significativo sviluppo della metallurgia bresciana ebbe inizio grazie ai provvedimenti delle due autorità che si succedettero nel governo della valle all'inizio del Quattrocento: dapprima il "Privilegio Malatestiano" del 1406, che concesse una maggiore libertà ai traffici commerciali, poi gli "Statuti generali di Valle" della Repubblica di Venezia, che nel 1436 garantirono ulteriori esenzioni fiscali. Per quello stesso periodo gli annali di Pezzaze parlano di spese per il "forno nuovo", che sarà identificato in una successiva nota del 1454 nell'impianto produttivo di Tavernole sul Mella. Questo è un forno fusorio che



Fig. 1 – La Valtrompia nella Transpadana Venetorum Ditio, *realizzata da Egnazio Danti fra il 1580 e il 1581 sulle pareti della Galleria del Belvedere in Vaticano (Legenda: 1 Collio; 2 Bovegno; 3 Pezzaze; 4 Tavernole; 5 Inzino; 6 Gardone; 7 Sarezzo)*



Fig. 2 – Il Forno di Tavernole alla fine dell'Ottocento

nel Quattrocento e nel Cinquecento produceva ghisa della migliore qualità e che era ancora attivo nei primi anni del Novecento, tanto da giungere ai nostri tempi quasi integro. Un altro forno citato in un estimo nel 1479 è quello d'Inzino, di cui però non si possiede documentazione sufficiente per una sua ricostruzione strutturale e funzionale.

Tuttavia è dal Cinquecento che la storia della siderurgia valtriumplina incomincia a essere ricca di testimonianze, grazie soprattutto al suo notevole

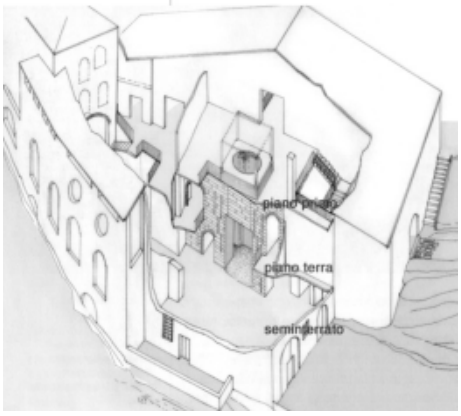


Fig. 3 – Spaccato del Forno di Tavernole che evidenzia come il cannecchio, la torre in cui avveniva la fusione, attraversava i tre piani che costituiscono l' edificio

sviluppo. Infatti, nella prima metà del Cinquecento è confermata la presenza di ben nove forni attivi in tutta la Valtrompia. Non solo, ma l'alto livello tecnico raggiunto dai *fornaderi* delle valli bresciane (e bergamasche) fu noto in tutta la penisola italiana, al punto che tra il Quattrocento e il Seicento acquisirono l'esclusivo controllo della costruzione e del funzionamento dei forni fusori dislocati in tutta l'Italia. E infatti il "forno alla bressana" era tecnologicamente tra i più evoluti dell'epoca.

Il forno alla bresciana, detto anche forno a tino poiché più stretto alla base e alla sommità e più largo nella parte centrale, possedeva due grossi mantici collegati a un albero di trasmissione azionato da una ruota idraulica. Una significativa evoluzione fu la sostituzione avvenuta alla fine del Cinquecento dei mantici in cuoio con più resistenti mantici in legno, i quali portarono a una riduzione delle spese di manutenzione. Il forno era composto dalla bocca, apertura situata sulla sommità della torre attraverso la quale erano caricati il minerale e il carbone, e dalla torre, di sezione quadrata realizzata in muratura con pietre e materiali ordinari. La torre era realizzata all'interno con blocchi squadrati d'arenaria rossa (pietra locale), resistente al calore e rivestita con del materiale refrattario che doveva essere rinnovato periodicamente. Nella parte bassa c'era il crogiuolo che consentiva di convogliare il metallo fuso (ghisa) verso un'apertura accessibile agli operai. Ai lati del crogiuolo vi erano delle aperture che consentivano l'immissio-

ne d'aria forzata. Il modo di caricamento del minerale e del combustibile, a strati o a colonne (combustibile al centro e minerale alla periferia) e la variazione della portata d'aria insufflata potevano influire notevolmente sulla qualità e sui tempi di fusione.

Ma con l'inizio del Seicento la Valtrompia entrò in un periodo di grave crisi economica che ebbe effetti negativi anche sul settore siderurgico. Il culmine fu raggiunto con l'epidemia di peste del 1630, durante la quale morirono molti operai dei forni e maestri nell'arte della fonderia, i quali dovettero essere sostituiti con artigiani forestieri. In questo periodo e per tutta la durata della dominazione veneta rimasero sei forni funzionanti e scomparve qualsiasi attività di fonderia nella media e bassa Valle.

Nella seconda metà del Seicento le cause della decadenza delle attività

Ubicazione dei forni	***Minerale consumato***	***Carbone consumato***	***Ghisa prodotta***	***Ferro lavorato***
Bovegno	907	1.054	505	429
Collio	577	1.139	289	244
Pezzate	1.219	898	492	413
Ribecco	658	498	241	202
Tavernole	1.035	950	492	418
Totale Valle Trompia	***4.396***	***4.539***	***2.018***	***1.706***
Valle Sabbia	3.344	3.452	1.675	1.393
Totale dipartimento del Mella	***7.741***	***7.991***	***3.694***	***3.099***

Tab. 1 – Capacità media annua dei forni fusori del Mella nel biennio 1806-07 secondo Armandi, direttore dell'Arsenale di Brescia (valori in tonnellate)

Descrizione	***Lire milanesi***	***[%]***
35 [Cavalli] di minerale di ferro (1 cavallo = 10 ÷ 14 pesi bresciani)	80,50	21
26 sacchi di carbone (15 pesi circa l'uno)	219,44	56
Fondente	13,82	4
Affitto di un forno comprese le riparazioni	38,38	10
Maestro fonditore e subalterni	10,75	3
Direttore per la scelta delle materie prime, tenuta dei conti e sorveglianza	3,84	1
Trasporto fino a Gardone del ferro ricavato	19,19	5
Totale	***385,92***	***100***

Tab. 2 – Costo giornaliero stimato dal direttore dell'Arsenale di Brescia per la produzione nel 1807 presso un forno valtrumplino di 168 pesi bresciana di ghisa (circa 1300 kg)

fusorie vanno invece ricercate nelle periodiche alluvioni e nella progressiva diminuzione della disponibilità di legname, provocata dall'eccessiva deforestazione. Eppure l'attività dei forni fu mantenuta a livelli accettabili, grazie anche all'opera svolta dagli esperti maestri fonditori.

A partire dal 1745 i mantici furono sostituiti dalla tromba idroeolica, già sperimentata in altre parti d'Italia, in grado di erogare una portata d'aria maggiore e costante. Ma nonostante questo il Settecento si chiuse con la siderurgia della Valle in piena crisi, e anche ai primi dell'Ottocento non si ebbero sostanziali miglioramenti. Infatti gli operatori continuavano a seguire le vie battute da secoli, rimanendo ancorati al tradizionale procedimento indiretto dell'impianto di fusione a sezione quadrata, meno efficiente di quello a sezione circolare.

Un rapporto del 1807 redatto dal direttore dell'arsenale di Brescia Pier Damiano Armandi fornisce un'utile testimonianza dello stato della siderurgia valtriumplina nel biennio 1806-1807. Nel rapporto Armandi segnalava che erano attive solo 28 miniere di ferro delle 140 presenti nell'area (Tab.1), e che la ghisa prodotta era di qualità scadente non solo a causa del forte aumento della domanda dovuto allo stato di guerra permanente del periodo napoleonico, ma anche perché veniva trascurata la fase di preparazione e vaglio del minerale e del carbone vegetale da introdurre nei forni fusori. Armandi inoltre stimò il costo giornaliero della produzione di ghisa (Tab. 2).

Verso la metà dell'Ottocento arrivarono anche in Valtrompia alcune innovazioni che erano già state introdotte altrove nel comprensorio bresciano (Valcamonica), quali il passaggio dalla sezione quadrata dei forni a quella rotonda e l'immissione di aria riscaldata dal calore dei fumi della combustione. Ma i fattori di crisi della siderurgia si erano ulteriormente aggravati. Infatti, il carbone di legna scarseggiava e il minerale estratto dalle miniere locali non era più di buona qualità, al punto che la maggiore industria gardonese, la Beretta, già da tempo faceva uso di ferro proveniente dall' estero.

Le fucine della Valtrompia

Le valli bresciane, compresa quindi la Valtrompia, vissero nel medioevo un periodo significativo per le attività metallurgiche. In un contesto sociale caratterizzato dalla preminenza dell'attività agricola e da frequenti guerre, la trasformazione di minerale ferroso in attrezzi agricoli, armi e armature si consolidò e raggiunse la sua massima espansione nel primo periodo della dominazione veneziana.

Nel Quattrocento e Cinquecento la Valle Trompia ebbe un ruolo preminente nella produzione delle armi da fuoco e le officine di Gardone Valtrompia, specializzate nella produzione di canne per fucili e pistole, erano in grado di produrne fino a trecento giornaliere. Il territorio poteva produrre, in tre mesi, trentamila armi suddivise tra fucili, moschetti e archibugi, ed era quindi in grado di equipaggiare un esercito di dimensioni

medie (Morin). Nella seconda metà del '600, la repubblica di Venezia decise di ammodernare la sua flotta, costruendo navi di alto bordo. Queste dovevano essere equipaggiate con artiglierie di medio calibro e poiché i cannoni in lega di ferro costavano circa un terzo di quelli in bronzo, fu incaricato lo studioso d'armi Sigismondo Alberghetti di acquisire la tecnica costruttiva affermatasi nel nord Europa e introdurla nel contesto produttivo della Val Trompia. Tornato in patria nel 1682 fu inviato a Gardone V.T., più precisamente presso il forno della famiglia di Lorenzo Chinelli, già produttore di bombe, fallendo però la sua missione. Il ferro della Valle Trompia era infatti troppo duro per realizzare una colata di 210 pesi bresciani, corrispondenti a circa 1600 chilogrammi, necessari per produrre un cannone di 14 libbre.

Dopo alcuni tentativi l'obiettivo fu raggiunto presso la fucina di Tiburzio Bailo a Sarezzo, probabilmente parente di Ottavio Bailo, che nella metà del 1700 annoverava tra le sue proprietà la fucina Valgobbia, in grado di affinare la ghisa proveniente dai forni fusori, predisponendola alla lavorazione con i magli. Questa fucina, che nel 1879 fu acquistata dai fratelli Sanzogni, merita un'attenzione particolare, essendo giunta ai nostri giorni quasi intatta. Costituisce pertanto un capitale storico cui attingere, per ricostruire una parte significativa della storia della metallurgia valligiana, la struttura delle fucine e la loro organizzazione del lavoro. Prima di addentrarci nella sua trattazione è opportuno premettere alcune nozioni di carattere generale, relativamente agli opifici dell'epoca.

Marco Morin, già citato, affermò che: "Con il termine fucina si deve intendere un complesso formato da un fuoco grosso, diversi fegatelli ed alcune annesse officine per le operazioni di rifinitura e si deve tener conto del fatto che le fucine sono situate dove è possibile sfruttare la forza motrice capace di far funzionare i mantici, i magli, mole e trapani; dunque esse si trovano o lungo il corso del Mella o presso i canali deviati dal fiume".

Il professore di storia naturale Giambattista Brocchi (Fig. 4) descrisse il ciclo produttivo delle fucine chiamate: fuochi grossi. Queste avevano l'importante funzione di trasformare il materiale spugnoso proveniente dai forni fusori, detto *loppa*, in una ghisa malleabile, lavorabile con i magli. A tal proposito il materiale era sottoposto a nuova fusione, ottenendo una massa di ghisa allo stato pastoso, più malleabile chiamata *cottizzo*. Quest'ultimo, fuso ancora, si trasformava in *massello*, che veniva lavorato dapprima con un grosso maglio, quindi con uno più piccolo, a volte ubicato in una fucina minore. Si ottenevano così verghe d'acciaio o ghisa, utilizzate nelle officine adibite alla produzione del prodotto finito. Il metallo reso malleabile nei fuochi grossi era poi avviato ai fuochi piccoli, disseminati nella media e bassa valle, dove avveniva la trasformazione definitiva in attrezzi dai molteplici usi e, soprattutto, in armi da guerra. Esistono, infatti, documenti attestanti che già nel



Fig. 4 - Giambattista Brocchi (1772-1826)



Fig. 5 - Disegni di officina dove si vedono: il maglio, la fornace e la tromba idroeolica

Settecento si era affermato il procedimento indiretto di fusione, il quale consentiva la lavorazione della materia prima, non più all'interno degli stessi forni fusori, ma in opifici meglio strutturati e ubicati in posizioni più strategiche dal punto di vista produttivo e commerciale.

Le fucine erano locali quadrangolari, molto alti e bui, parzialmente interrati per attutire le vibrazioni prodotte dal maglio. Solitamente non possedevano finestre, ma aperture ricavate sul tetto, che permettevano alla luce di penetrare e di fare uscire il fumo in eccesso.

Le fucine erano ubicate in prossimità dei corsi d'acqua e vicino alle vie di comunicazione (strade, sentieri), per le già citate ragioni tecniche e per ovvie motivazioni di carattere logistico.

L'acqua, tramite canali di derivazione, veniva deviata dalla corrente principale del fiume e condotta presso la fucina dove era fatta cadere sulle pale, detti anche coppi concavi, delle ruote idrauliche che, ruotando, azionavano i magli, le molatrici e i trapani, mediante l'albero di trasmissione e cinghie di cuoio.

All'interno della fucina era presente almeno un forno, detto forgia, alimentato con carbone di legna e avente la funzione di arroventare il blocco di acciaio o ghisa, che doveva essere lavorato. La fornace utilizzava mantici sostituiti in epoca più recente dalla tromba idroeolica, che garantiva una portata quasi costante d'aria, così da incrementare e mantenere elevata la temperatura di combustione (Fig. 5).

L'officina della famiglia Sanzogni

Apéna pasàt chèl purtù de lègn
te someàa dé na en den óter mond,
come chèi de le stórie che i te
cüntàa per fat póra
endóe ghia el föm le fiame e le
strése scotéte che ula.
Ma quando i leàa la pèrtega
Che i mai i tacàa a picà
Töta la tèra entüren la 'ncuminciàa
a tremà.

Appena passato quel portone di legno
ti sembrava di andare in un altro mondo,
come quelli delle storie che ti
contavano per farti paura
dove c'erano il fumo le fiamme e le
scintille incandescenti che volavano.
Ma quando alzavano la pèrtega
che i magli attaccavano a picchiare
tutta la terra intorno cominciava
a tremare.
(La füsìna dei Sonzògn [La fucina dei Sonzogni], Ruggero Picceni, 2000)

La fucina era specializzata nella produzione di attrezzi agricoli, in particolare di coltri, versoi e vomeri per gli aratri (Fig. 6), e la sua attività terminò nel 1984.

La materia prima non proveniva dai forni fusori della Val Trompia, ormai non più produttivi od orientati alla fornitura delle grandi acciaierie, bensì ricavata da ruote di treni, parti di rotaie e billette. La struttura dell'edificio è quella già descritta: un unico grande locale con pianta rettangolare e tetto spiovente, finestre nelle pareti ed abbaini nel tetto, la cui funzione prevalente era quella di

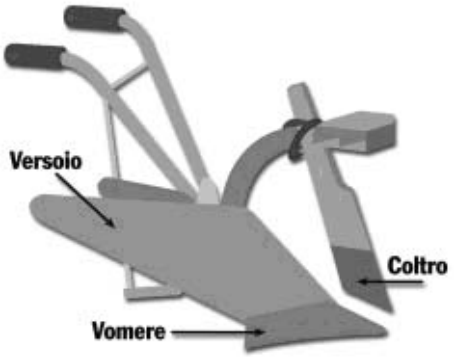


Fig. 6 - Disegno dell'aratro completo

smaltire i fumi ed i gas nocivi prodotti dai forni. Quest'ultimi, due in tutto, erano utilizzati per arroventare i pezzi da lavorare e funzionarono per diversi anni con carbone, in tempi più recenti con nafta (Fig. 7).

Erano utilizzati tre magli: due per forgiare i pezzi piani, l'altro, attrezzato con appositi stampi, per produrre i vomeri conferendogli l'adeguata curvatura. Uno dei due magli sopra citati era in grado di raggiungere 180 colpi al minuto, velocità sorprendente se si pensa che l'operatore utilizzava le mani per stringere la tenaglia che teneva il pezzo. La frequen-



Fig. 7 - Forno



Fig. 8 – Condotta dell'acqua con ruota



Fig. 9 – Foto di antico maglio idraulico

za dei colpi poteva essere regolata tramite una leva agente su una piastra, in grado di variare la sezione d'efflusso dell'acqua che alimentava la ruota (Fig. 8).

Ogni ruota azionava un maglio, tramite un albero alla cui estremità era posto un anello di ferro con camme. In prossimità della porta d'ingresso era posta una pressa, attrezzata con stampi appositamente sagomati, utilizzata per piegare i versoi. Lì vicino, alle spalle del terzo maglio, era posizionata una trancia usata per rifilare i pezzi lavorati allo stampo.



Fig. 10 – Lavorazione al maglio

L'organizzazione dell'officina prevedeva la presenza di circa undici persone: l'addetto al magazzino, l'addetto alle molatrici e tre lavoranti per ogni maglio. Il lavoratore più anziano ed esperto, preposto al lavoro di battitura era chiamato *màihter*. L'addetto al controllo del fuoco, solitamente di età molto giovane, era chiamato *brahchì* e facendo uso di apposite tenaglie, era incaricato di porgere i pezzi di ferro incandescente al maestro. Il *brahchì* aveva anche il còmpito di regolare la velocità dei colpi del maglio, mentre l'altro lavorante si occupava del forno.

Il *brahchì* non allontanava mai lo sguardo dal forgiatore, che stava seduto davanti al maglio e con un cenno degli occhi o del capo gli comunicava quando doveva alzare o abbassare la *pértega*, la lunga asta attraverso la quale si dosava la quantità di acqua che cadeva sulla ruota idraulica.

Il lavoratore preposto al lavoro di battitura doveva conoscere la temperatura ideale, il modo con cui battere i pezzi

da modellare, la gradazione termica del metallo incandescente, che non doveva essere troppo freddo, per non essere troppo duro, né troppo caldo per evitare la perdita di consistenza e duttilità.

Ogni forgiatore era stato, da ragazzo, un *brahchì*. L'esperienza quotidiana, l'osservazione dei lavoranti già esperti, qualche consiglio da parte del più anziano, il *màihter*, gli permettevano di imparare ogni accorgimento.

Conclusioni

Nel tentativo di arrestare il declino, alla fine dell' Ottocento alcuni esperti sostennero la necessità di una profonda ristrutturazione dell'industria siderurgica per far fronte alla concorrenza non solo della Stiria e della Carinzia, ma soprattutto del Belgio e dell'Inghilterra, dove si era passati all'uso dei carboni fossili e dove l'impiego della macchina a vapore aveva favorito l'ubicazione degli impianti in aree vicine ai luoghi d'estrazione del minerale e alle strade principali di comunicazione. Ma non se ne fece nulla, e fu così che all'inizio del Novecento chiuse il forno di Tavernole e successivamente, nel 1920, anche l'ultimo forno, quello di Bovegno. Fu il declino definitivo dell'attività siderurgica della Valtrompia.

In seguito a questo declino e con l'avvento delle nuove tecnologie, le antiche fucine dovettero cedere il passo alle industrie moderne e ad attività artigianali orientate alla produzione di beni di altro genere.

Bibliografia

La via del ferro e delle miniere in Valtrompia, a cura di C. Simoni, Comunità Montana di Valle Trompia, Brescia, 2002.

M. CAPRA, *Conoscenze, materiali e mestieri nella lavorazione del ferro in Valle Trompia*, "Rivista trimestrale della fondazione civiltà bresciana", 4, 2001, pp. 95-117.

G. MARCHESI, *Armandi e la metallurgia bresciana dell'età napoleonica*, "Rivista trimestrale della fondazione civiltà bresciana", 4, 2001, pp. 73-93.

M. MORIN, *La produzione delle armi da fuoco a Gardone V.T.*, "Armi e cultura nel Bresciano, 1420-1870", Brescia, 1981.

Claudio Mazzanti

I progetti del Borgo Murattiano della città di Bari: confronto fra ingegneri e architetti

Nell'ultimo ventennio del Settecento, quasi tutti i nuclei urbani costieri della Terra di Bari ottengono dal re Ferdinando IV di Borbone la concessione di fondare nuovi borghi *extramoenia*[1]. Nello stesso periodo, l'ingegner Daino progetta la trasformazione in rotabile delle strade Regia e Consolare Adriatica, che attraversano la Puglia da Foggia a Lecce, attuando il collegamento di tutte le cittadine litoranee da Barletta a Monopoli, con grande vantaggio per la commercializzazione dei prodotti agricoli delle zone della Capitanata e della Terra d'Otranto.

Alla fine del XVIII secolo, in tutta la regione si registra un notevole aumento della popolazione, con fondamentali trasformazioni delle strutture produttive e commerciali.

Gli stravolgimenti che caratterizzano i primi anni del XIX secolo, con il decennio francese dal 1806 al 1815, accentuano lo sviluppo; in particolare aumenta l'importanza della città di Bari, per la quale si rende sempre più impellente l'ampliamento del centro cittadino.

Alla partenza dei francesi, ritornano al potere i Borboni, i quali, in Puglia, continuano ad amministrare secondo i dettami dei loro predecessori ed impostano un vasto programma di infrastrutture, con la costruzione di nuove strade e la ristrutturazione dei porti. Oltre che a Bari, in molti centri si avviano iniziative volte a migliorare la forma urbana, promosse sia dall'amministrazione borbonica, che dai dirigenti locali[2].

I nuovi progetti, redatti con schemi di stampo illuministico e neoclassico, per le città promuovono interventi di risanamento igienico e sanitario, come la realizzazione della rete fognaria, l'allontanamento del cimitero dal centro abitato, l'edificazione di mercati coperti e il trasferimento di alcune attività manifatturiere particolarmente inquinanti, quali officine, frantoi o cantine. Questi strumenti prevedono anche prescrizioni e canoni estetici ed urbanistici da rispettare nella costruzione dei più importanti edifici pubblici e privati, oppure di opere destinate a soddisfare nuovi bisogni. Sorgono, così, numerosi teatri, piazze e ville comunali, nuovi luoghi di incontro, di passeggio e di festeggiamenti religiosi e profani.

L'espansione di Bari, nel corso della prima metà dell'Ottocento, si realizza a ridosso delle antiche mura, con strade ampie e rettilinee; il nuovo borgo inizia ad assumere quel volto di decorosa città borghese che si sarebbe compiutamente delineato negli ultimi anni del secolo e nei primi del Novecento[3].

Le molteplici vicende relative allo sviluppo dell'impianto urbanistico di Bari

nel corso del XIX secolo, costituiscono una pagina molto importante di storia urbana e sono largamente analizzate; negli archivi si conservano quasi tutti i documenti autentici, mentre quelli perduti ci sono noti grazie alle copie, realizzate solo pochi anni dopo gli originali.

Un aspetto interessante e ancora poco indagato, è il confronto tra l'operato degli ingegneri, degli architetti e dei tecnici comunali nella programmazione del nuovo assetto della città.

Nel 1790, ci sono le prime indicazioni progettuali degli ingegneri Giovanni Palezia e Francesco Viti; tra il 1812 e il 1818, Giuseppe Gimma, Architetto Comunale, traccia il piano di fondazione del Borgo Murattiano, trasformando la strada Consolare Adriatica nella via principale della città. I successivi progetti, nel periodo fra il 1815 e il 1866, sono elaborati dall'ingegnere Giacomo Prade, dagli architetti Vincenzo Capirri e Vincenzo Fallacara, poi dall'ingegnere Luigi Giordano, dall'architetto Camillo Rosalba e dall'ingegnere Pietro Trotti. I progetti urbani realizzati nella fase finale del XIX secolo, vengono presentati dagli ingegneri Carlo Calì, Carlo Marena e Angelo Cicciomessere.

Bari, verso la fine del Settecento, occupa una piccola penisola ed è fortificata lungo tutto il suo perimetro; difesa da un ampio e ininterrotto fossato, risulta separata dal resto del territorio mediante due fronti murarie, che si congiungono nel Torrione di S. Domenico e formano tra loro un angolo di circa 120°; sul lato occidentale della città, il meno esteso, c'è il castello che ha affaccio diretto sul mare; il fianco meridionale delle mura cittadine, quasi rettilineo, è di dimensioni maggiori e nei suoi vertici estremi si aprono le due porte urbiche, ad ovest la Porta Castello, ad est la Porta della Marina. Esistono anche alcune importanti costruzioni extramurali, tra le principali: il lazzaretto, i conventi dei Paolotti, dei Cappuccini, dei Padri Riformati e dei Padri della Missione.

Un importante cambiamento, alla fine del XVIII secolo, riguarda il sistema viario territoriale, con il potenziamento della Strada Regia per Napoli, la quale, col suo percorso rettilineo, si dirige verso la Porta Castello secondo una direttrice obliqua rispetto all'orientamento prevalente delle mura baresi; in prossimità dell'abitato lambisce il fossato, adattandosi al suo andamento irregolare, per continuare il suo tragitto, come Consolare Adriatica, in direzione di Monopoli e delle località più meridionali.

All'interno delle antiche mura di Bari, vivono in questo periodo circa 18.000 abitanti, dentro un tessuto urbano compatto e in condizioni di grave degrado; l'aumento della popolazione preoccupa le autorità cittadine ed il governo centrale. Inizialmente si permette la sopraelevazione, oltre al completamento dei residui spazi inedificati, creando cortine edilizie continue. Con il Decreto Regio del 26 febbraio 1790, alla città è concessa la costruzione di nuovi edifici residenziali anche al di fuori della cinta muraria; con il successivo decreto del 30 aprile 1790 viene anche

ordinato agli Ingegneri Regi G. Palezia e F. Viti di stabilire il "sito" per il nuovo borgo.

I progettisti, nel disegnare il piano, in realtà si attengono strettamente alla richiesta di Ferdinando IV di Borbone e danno solo alcune indicazioni di massima riguardo allo schema degli isolati del borgo e all'architettura delle case; essi sostengono l'inadeguatezza degli altri siti precedentemente proposti per il futuro sviluppo urbano, e cioè la zona ad ovest della città, prossima al castello, per la necessità di lasciare sgombera la relativa spianata, e quella sul lato opposto, verso il mare, poiché battuta dai venti ed insalubre a causa del vicino lido; per questi motivi preferiscono la parte intermedia, prospiciente le mura.

Il piano contiene molti riferimenti sullo stato dei luoghi, relativamente al castello, alle mura con le porte e il fossato, e alle numerose costruzioni extra murali, come gli edifici religiosi, i casini rurali, le fabbriche e le locande; sono rappresentati, inoltre, i tracciati delle strade Regia e Consolare in prossimità dell'abitato, nonché la fitta rete di strade comunali e vicinali che collega la città con il territorio circostante. Lo schema dell'espansione è riportato con un leggero tratteggio: vengono proposti tredici grandi isolati disposti su due linee fronteggianti le mura, in posizione leggermente decentrata rispetto alle due porte della città, di fronte al Torrione di S. Domenico[4].

La relazione allegata, datata 30 giugno 1790, contiene alcune proposte di massima per la costruzione del borgo: la larghezza delle strade è di 30 palmi, pari a circa 8 metri, mentre l'altezza massima degli edifici è fissata in 40 palmi, circa 10,50 metri corrispondenti ad un piano terra ed un primo piano. La dimensione degli isolati è di 200 palmi, quasi 52 metri, sul fronte delle vie principali, mentre verso le strade secondarie è di 300 palmi, pari a 78 metri. In questo piano prevale l'impostazione razionalista dei due ingegneri, che prevedono dieci isolati tutti uguali, e pongono particolare attenzione all'orientamento del futuro edificato, privilegiando gli affacci migliori verso est e verso ovest. Meno risolti, invece, nella zona prossima al convento dei Padri della Missione, appaiono gli ultimi tre isolati, per le loro dimensioni disuguali e la forma non regolare: in particolare, si presentano non relazionati con il tracciato obliquo della Strada Regia. L'aspetto più rilevante dell'impianto è l'assenza di uno spazio pubblico o una piazza.

Il piano degli ing. Palenzia e Viti, sebbene prontamente approvato dal sovrano con decreto del 28 dicembre 1790, non trova un'applicazione altrettanto immediata, sia per i dissidi interni fra le classi sociali baresi, sia per gli avvenimenti politici che interessano l'Europa e l'Italia in quegli anni; della costruzione del nuovo borgo di Bari si tornerà a discutere solo dopo sedici anni, nel 1812, durante il decennio francese.

L'incarico di redigere il nuovo piano è affidato all'Architetto Comunale G. Gimma[5]; lo schema viene presentato il 5 settembre 1812 all'Intendente e approvato il 25 aprile 1813; durante lo stes-

so anno, Gioacchino Murat giunge a Bari per inaugurare, con la posa della prima pietra, i lavori di costruzione del borgo[6]. Gli Statuti Edilizi vengono approvati nel dicembre dell'anno seguente.

I primi disegni eseguiti sono andati persi, ma fortunatamente si conserva la lettera d'accompagnamento allegata, unico documento che contiene riferimenti diretti riguardo all'originale stesura del piano di fondazione del nuovo Borgo. Le indicazioni progettuali vengono precedute da una proposta di carattere generale, relativa all'iniziale realizzazione di sedici isolati, disposti sulle prime due fila, soluzione paragonabile al precedente schema degli ingegneri Palenzia e Viti. Si prevede la costruzione di circa 2.500 abitazioni unicamente al piano terra, ciascuna composta da due locali, dei quali il primo con l'affaccio sulla strada e il secondo verso l'interno del lotto, dove i suoli sarebbero stati coltivati a giardino[7].

Negli elaborati pervenutici del progetto dell'architetto Gimma[8], il vecchio abitato è rappresentato con i soli confini della cinta muraria e parte del fossato; il collegamento fra la città vecchia e la nuova espansione, si realizza mediante tre nuovi passaggi aperti nelle mura; i due nuclei risultano separati dalla strada Consolare Adriatica, attuale corso Vittorio Emanuele, che viene inglobata nel perimetro urbano: questa via, una volta rettificata e allargata fino a 100 palmi, diventa l'asse primario della città e viene proseguita fino a congiungersi con il tracciato obliquo della Strada Regia.

Per quanto concerne la dimensione del nuovo borgo, verso l'interno gli isolati possono moltiplicarsi senza limite con lo schema ortogonale, mentre lateralmente esistono dei confini netti, tra il sito della Porta della Marina e la zona dove il prolungamento della strada Consolare si collega con la Strada Regia, che entra così a far parte della progettazione, prevedendo alcuni lotti paralleli ad essa.

Rispetto al precedente progetto degli ingegneri Palenzia e Viti, la differenza maggiore consiste nel disegno di una grande piazza con al centro la piramide celebrativa dei privilegi murattiani concessi alla città. Questo spazio pubblico viene previsto in posizione mediana rispetto allo schema iniziale composto da soli sedici isolati. Nessuno dei percorsi di collegamento fra la città vecchia ed il nuovo borgo, costituisce un elemento particolarmente significativo nel progetto dell'architetto: il varco aperto nelle mura, prossimo al torrione di San Domenico, non risulta essere in asse rispetto alla grande piazza, così come non coincide con nessuno dei lati di questa. Considerando che lo stesso G. Gimma preannuncia la futura demolizione della cinta muraria, che metterà in diretta relazione l'abitato esistente con quello nuovo[9], si percepisce il disinteresse del progettista riguardo tale tematica, il che non lo distingue dagli ingegneri suoi predecessori.

Ulteriore elemento di differenziazione nel tessuto del borgo, è rappresentato dalle diseguali dimensioni degli isolati: nella zona prossima alla Strada Regia questi sono rettangolari, con il loro lato maggiore disposto lungo il corso principale.

Tale assetto è l'opposto di quanto previsto dagli ingegneri Palenzia e Viti; in questo modo vengono esposti il maggior numero di alloggi ai venti settentrionali, soluzione non ottimale; viceversa, nella parte centrale dell'impianto ci sono quattro isolati rettangolari, con il lato corto parallelo al corso principale; tali lotti, con edifici porticati su alcuni lati, definiscono la grande piazza.

Nella parte prossima al mare, invece, l'architetto progetta tre isolati quadrati, che, a partire dal corso, si replicano sempre uguali verso l'interno: questa scelta progettuale anticipa l'importanza urbana che, in seguito, caratterizzerà l'attuale via Cavour, cioè la strada, che costituisce il margine orientale del Borgo Murattiano e punto di snodo con la futura espansione urbana verso il litorale: la pianta quadrata degli isolati, infatti, non definisce una priorità fra i due grandi assi viari ortogonali.

La geometria dell'impianto palesa il ruolo primario dell'edilizia residenziale, ma è anche funzionale alla realizzazione di spazi e di edifici pubblici necessari al 'primo avvio' della città moderna. Il progetto dell'architetto Gimma può essere considerato come un piano guida, finalizzato a favorire la crescita della città, sollecitando il capitale privato alla costruzione delle residenze e, nello stesso tempo, rendendo possibile la creazione di una serie di strutture collettive da parte dell'amministrazione pubblica. Le successive vicende storiche non hanno consentito la realizzazione del Borgo come originariamente concepito; tuttavia questo permane, nella città, come segno 'distintivo' della forma originaria[10].

Col ritorno dei Borbone, nella prima metà del XIX secolo lo sviluppo della città non si arresta. Dopo la partenza dei francesi nel 1815, lo stesso Gimma riceve di nuovo l'incarico di realizzare alcune copie del suo piano, l'ultima volta nel 1818, su richiesta della Direzione Generale del Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade.

Nel corso degli anni successivi verrà riempito il fossato e demoliti i bastioni, sostituiti da edifici che definiranno la nuova immagine del corso principale; appare netto il contrasto fra il vecchio nucleo abitato e l'espansione[11].

Nel 1830, l'Ingegnere Provinciale G. Prade è incaricato di eseguire la "Pianta di una parte del recinto di Bari col suo Borgo", come riportato nell'intestazione del disegno, datata 23 ottobre. Tale nuovo elaborato viene eseguito in occasione del dibattito sulla costruzione della sede per l'Archivio provinciale.

Gli isolati vengono disposti solo su tre file parallele al corso principale; lo schema nella parte vicina al mare, è invariato rispetto al piano dell'architetto G. Gimma, con la reiterazione verso l'interno di tre lotti quadrati prospicienti la città vecchia, ai quali però se ne aggiunge un altro, leggermente più stretto; seguono poi altri quattro isolati rettangolari, simili a quelli che nel progetto murattiano già definivano la piazza, la quale risulta ora più spostata verso occidente e corrisponde a due lotti non edificati: così, la dimensione maggiore di questa diventa il lato parallelo al corso principale.

La piazza è posta di fronte ad un grande spazio, dove sorgeva il torrione di San

Domenico, demolito e sostituito dal palazzo della Prefettura.

Alcuni anni dopo, i due Architetti Comunali V. Capirri e V. Fallaraca realizzano la "Pianta del Borgo che si sta costruendo nel Comune di Bari con la parte della Città che si attacca dalla parte di Tramontana di detto Borgo", piano che riporta la data del 11 giugno 1838; in questo elaborato sono rappresentati i sessantaquattro isolati che costituiscono il nuovo borgo.

Attraverso un differente segno grafico si individuano le porzioni già edificate e quelle ancora in costruzione in quel momento; vengono indicati anche i siti per la nuova chiesa e il Teatro Comunale, previsto sullo spazio già destinato dall'ingegner Prade come pubblica piazza, evidentemente considerata di minore interesse collettivo dai due architetti comunali. A parte le prime quattro fasce di isolati quadrati, già definite, i due architetti modificano l'impianto urbanistico, eliminando due strade e aggregando gli isolati rettangolari tracciati nel piano precedente. Nel 1842, iniziano i lavori per la costruzione del nuovo cimitero; alla fine degli anni '40 il castello viene adibito a prigione; nel 1849 la città raggiunge i 30.000 abitanti, con le conseguenti problematiche urbanistiche.Viene redatta, nel 1856, una nuova pianificazione, su disegno dell'Ingegnere Provinciale L. Giordano, caratterizzata dalla previsione di alcuni percorsi viari, in particolare di una nuova strada extramurale.

Nella relazione allegata è riportata anche l'idea dell'ing. Giordano circa la collocazione, all'inizio della Strada Regia, di un monumento celebrativo. Questo piano non ottiene la Regia approvazione.

Tre anni dopo, nel 1859, si incarica della pianificazione di Bari l'architetto C. Rosalba: il suo nuovo progetto, approvato dal re Ferdinando II, oltre che confermare la costruzione della strada extramurale già indicata nel precedente piano del 1856, prevede la realizzazione di due grandi piazze agli estremi del corso principale.

L'idea di un enorme 'foro', già elaborata all'inizio del secolo dall'architetto Gimma per celebrare le lodi murattiane, poi annullata dagli architetti comunali Capirri e Fallacara, i quali al vasto spazio aperto preferiscono l'edificio del teatro, viene ora ripresa da un altro architetto, che determina le linee guida dello sviluppo urbano futuro.

Il suo programma, però, si differenzia decisamente da quello predisposto all'epoca del decennio francese: con il piano di G. Gimma era prevista un'unica piazza e poi la scacchiera si sarebbe sviluppata indifferentemente verso le zone più distanti dal mare; nel progetto di C. Rosalba, invece, ci sono le premesse per indirizzare l'espansione verso la costa, individuando due importanti poli ai vertici estremi del borgo murattiano. Egli, ad ovest integra definitivamente la Strada Regia all'interno del disegno della città, mentre sull'altro lato, verso il mare, disegna una grande piazza rettangolare, prospiciente la serie di isolati quadrati che, mentre nel progetto di G. Gimma costituivano la parte più

marginale del borgo, ora invece, si trovano al centro di un ampio sistema urbano.

Alla vigilia dell'unità d'Italia, con il piano Rosalba si chiude il capitolo dei piani urbanistici preunitari. Le iniziative che dovranno assegnare al Borgo Nuovo il ruolo di città sono molteplici, tra queste ci sono i giardini comunali, il teatro, il tribunale, la chiesa, la piazza e, soprattutto, la ferrovia, nel 1864. Tutto concorre a creare uno stacco netto tra le due parti e ad avviare il declino di quella che oggi è chiamata Bari Vecchia, rispetto alle costruzioni più moderne.

Durante la seconda metà del secolo, il numero di abitanti del nuovo quartiere supera quello dei residenti nella città storica, per la quale è già decadenza[12].

La città di Bari, anche negli anni successivi al compimento dell'unità nazionale, conosce una inarrestabile crescita tanto da indurre la civica Amministrazione alla stesura, inizialmente, di una "Pianta di ingrandimento del borgo" e, poi, di un vero e proprio piano regolatore moderno.

Nel 1864 viene preparato a Torino un "Piano Generale per la Città di Bari", redatto il 31 giugno e presentato, sempre a Torino, dall'amministrazione delle Ferrovie, il 12 luglio 1864; questo strumento è approvato con decreto del Ministro dei Lavori Pubblici in data 23 agosto 1864. L'aspetto più significativo è il progetto della nuova stazione ferroviaria, prevista parallelamente al corso principale, sul lato opposto del borgo. Nello schema viene modificato nuovamente il disegno degli isolati, tornando ad inserire due fasce con lotti più stretti rispetto agli altri; si progetta anche una nuova grande piazza verso la stazione, attraversata da un viale che dovrebbe penetrare addirittura all'interno della città vecchia, con una serie di importanti sventramenti nel tessuto medievale.

Il Consiglio Comunale di Bari nel 1866, commissiona un nuovo Piano Regolatore per l'ingrandimento della città, redatto dall'ingegnere P. Trotti; questi, prendendo atto dell'impossibilità di uno sviluppo urbano verso l'interno, per la presenza della linea ferroviaria inaugurata nel 1865, prevede un'espansione soprattutto verso levante, mentre verso ponente, con la presenza dello stagno chiamato 'Marisabella', eventuali nuovi insediamenti non appaiono opportuni per problematiche igienico-sanitarie.

Nel 1880, con la scadenza del piano Trotti, l'Amministrazione Comunale di Bari adotta un nuovo Piano Regolatore, redatto dall'Ingegnere capo dell'Uffico Tecnico, C. Calì, che però non ottenne la Regia Sanzione.

Nel 1884, un altro Ingegnere Comunale, C. Marena, propone la "Pianta della Città di Bari col progetto di nuovi fabbricati a costruirsi pel suo ampliamento". Il borgo murattiano è pressoché completato, il tecnico progetta, quindi, un sistema di nuovi spazi pubblici: piazze, infrastrutture e verde, per conferire qualità al disegno urbano, rinnegando l'indifferenziato espandersi speculativo che, fino a quel momento, ha caratterizzato lo sviluppo del borgo. Come già previsto dal piano dell'architetto Rosalba, si conferma la creazione,

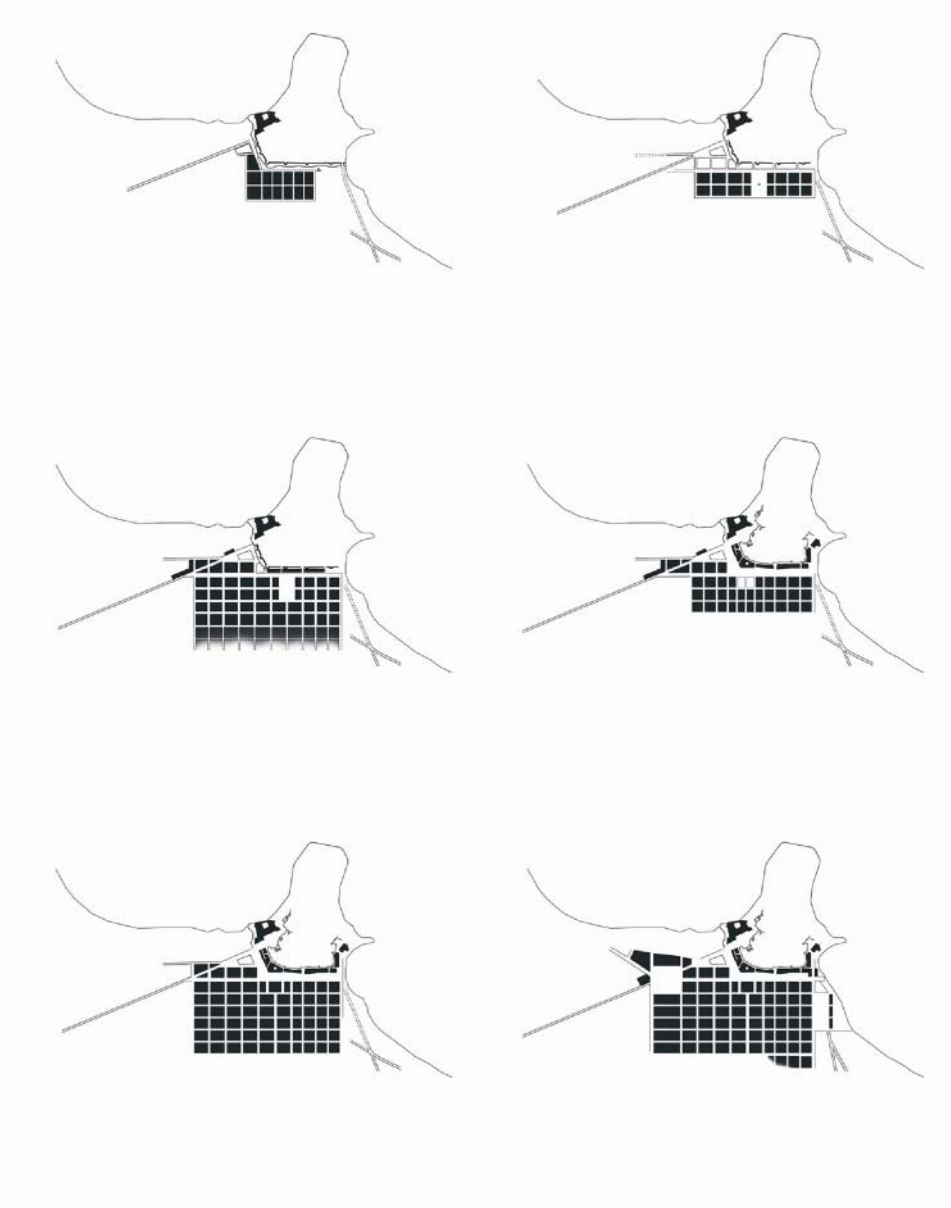


Fig. 1 – Bari, piani pre-unitari.
Da sinistra in alto: Ingegneri Regi G. Palezia e F. Viti, 1790;
Architetto Comunale G. Gimma, prima versione e sviluppo successivo, 1812-1818;
ing. G. Prade; architetti V. Capirri e V. Fallacara; arch. Camillo Rosalba

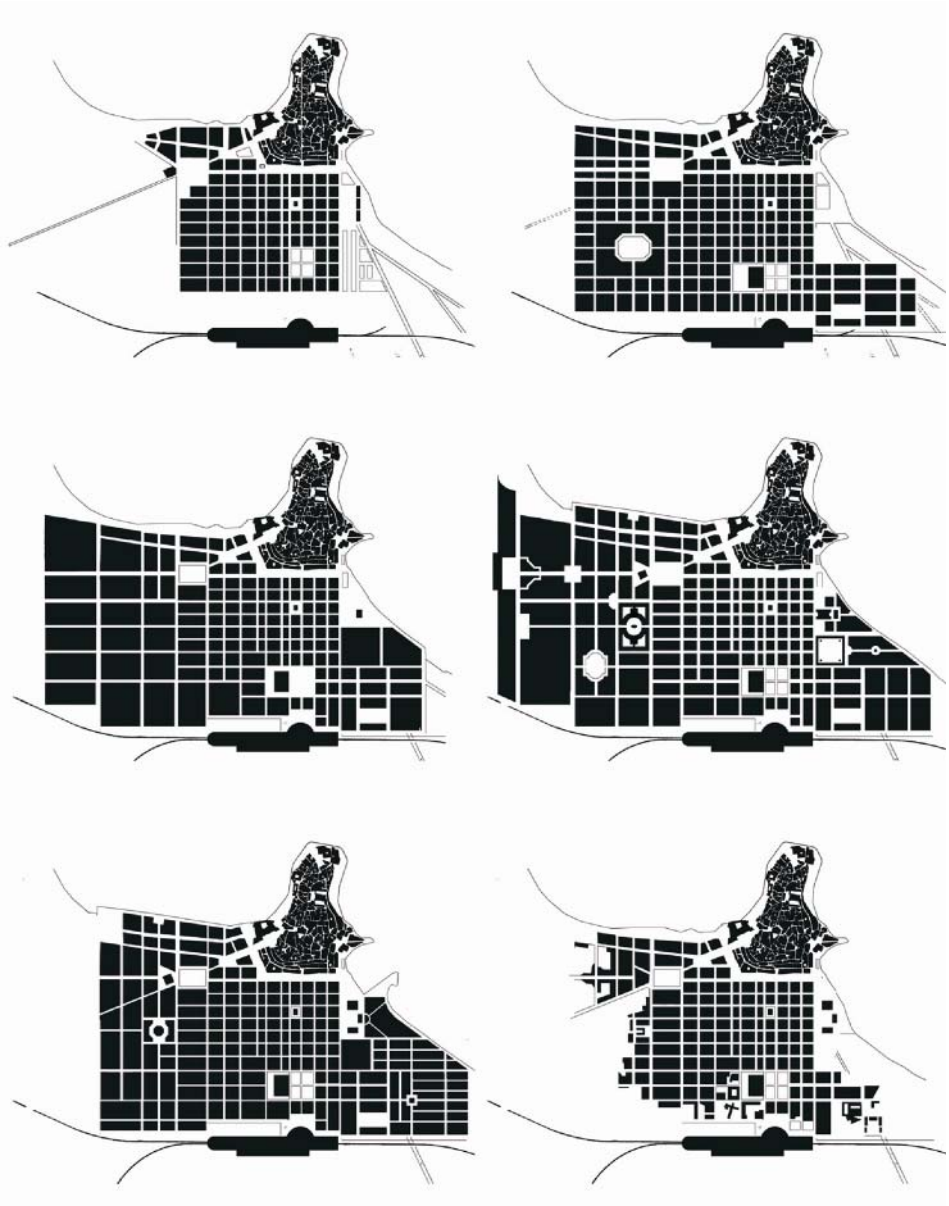


Fig. 2 - Bari, piani post-unitari.
Da sinistra in alto: piano dell'amministrazione delle Ferrovie, 1864;
ing. P. Trotti, 1866; ing. Calì, 1880; ing. C. Marena, 1884;
Ing. A. Cicciomessere, 1897; Ufficio Tecnico, pianta della città nel 1907.

sul versante orientale, della piazza alberata, estesa dal margine del borgo fino al mare.

Il Piano Marena nel 1886 viene ripresentato alla pubblica amministrazione dal Capo dell'Ufficio Tecnico, l'ing. A. Cicciomessere, e pubblicato nel 1887; nel medesimo anno il Comune si dota del primo Regolamento Edilizio[13]. Lo stesso ing. A. Cicciomessere, dieci anni dopo prepara un altro piano, a parziale modifica del precedente: si prevede il restringimento del perimetro urbano futuro, in particolare nella parte occidentale. Il progetto dell'architetto G. Gimma, sebbene più volte modificato, continua ancora a costituire l'aspetto essenziale dello sviluppo urbano barese.

Da una pianta del 1907, elaborata dall'Ufficio Tecnico, si può conoscere lo sviluppo urbano raggiunto in quella data.

La città risulta essere essenzialmente formata dal nucleo antico insieme al Borgo Murattiano; l'unica fascia di quest'ultimo ancora non edificata, è quella in prossimità della stazione ferroviaria.

In generale, gli Architetti Comunali operanti a Bari hanno contribuito in modo apprezzabile alla conformazione urbana, soprattutto tramite la definizione di spazi collettivi, studiando le relazioni fra questi e gli edifici residenziali, nonché attraverso la realizzazione di alcuni notevoli edifici pubblici.

L'attività degli ingegneri che hanno guidato l'Ufficio Tecnico, appare maggiormente mirata allo studio di una corretta rete infrastrutturale e alla definizione di esatti parametri edilizi. Si è cercato di produrre studi in merito ai giardini e agli edifici pubblici, alle fogne, ai quartieri operai, incontrando anche diverse difficoltà nel tentativo di tradurli in un unico provvedimento amministrativo programmatico.

Sia gli ingegneri, che gli architetti attivi nel XIX secolo, hanno però mancato di risolvere il tema cruciale per Bari: il rapporto fra la città storica e la nuova espansione; tale tema diventerà una delle problematiche principali nel secolo successivo.

[1] Come Bari, in questo periodo viene attribuita la stessa concessione anche ad altre città. Cfr. G. CARLONE, *L'immagine ed il progetto*, Monopoli 1981, p. 27.

[2] Cfr. V. A. MELCHIORRE, *Lo sviluppo di Bari: dal Borgo ai piani regolatori*, Bari 2003, pp. 47-48.

[3] L. MONGELLO, *Terra di Bari*, in "G. B. Progetti" VI, 1993, p. 43.

[4] L'espansione è prevista tra il convento dei Padri della Missione, sul fronte della Strada Regia per Napoli e la cappella della Madonna dei Sarti sulla strada per Carbonara e Ceglie. *Ibidem.* p 37.

[5] AA. VV., *Giuseppe Gimma 1747-1829. Un architetto tra due secoli. Città, monumenti e infrastrutture nella Puglia borbonica*, a cura di Clara Gelao, Bari 2004, p. 10.

[6] D. Di Bari, *Bari: la formazione del quartiere "Murat" (1813-1945)*, in "Rassegna Tecnica Pugliese. Continuità", anno IV, n. 1-2, gennaio-giugno 1970, pp. 71-72.

[7] G. Carlone - G. Radicchio, *Bari Moderna 1790-1990,* Milano 1991, p. 13.

[8] Il piano, che reca la data del 4 aprile 1816, fu ricopiato dall'architetto Gimma in applicazione del decreto del 5 dicembre 1815; la versione consultata nell'Archivio Storico di Bari è, infatti, un duplicato dell'originale.

[9] V. A. Melchiorre, *Lo sviluppo di Bari ...., op. cit.*, pp.72-73.

[10] *Ibidem*. p. 13.

[11] La città di Bari, a seguito della demolizione nell'Ottocento dell'antica cinta muraria insieme al suo fossato, appariva divisa in due parti del tutto estranee l'una dall'altra, cioè la città vecchia ed il nuovo Borgo Murattiano. D. Borri, *L'Ottocento*, in *"Storia di Bari"*, IV, Bari 1994, pp. 78-79.

[12] V. A. Melchiorre, *Lo sviluppo di Bari ...., op. cit.* pp. 149-150.

[13] G. Carlone, *Piani urbanistici preunitari*, in "G. B. Progetti" IV, 1993 p. 46.

Francesca Castanò

L'ingegneria idraulica in epoca borbonica: il sistema produttivo del Regio Canale di Sarno

Le radicali trasformazioni attuate nel territorio in seguito all'installazione di impianti produttivi, a partire dalla prima rivoluzione industriale, assumono nel regno borbonico un ruolo significativo, provocando ingenti modificazioni dell'ambiente naturale e alterandone, in più di un caso in modo permanente, le principali caratteristiche fisiche.

In alcuni particolari tipi di insediamenti industriali è lo sfruttamento stesso delle risorse naturali a rappresentare l'elemento descrivente principale, come nei casi dei complessi estrattivi, dell'industria molitoria, degli impianti di salinazione[1]. I caratteri di spontaneità e di sobrietà formali delle miniere, piuttosto che delle tonnare o delle zolfare e dei mulini, recuperano gli stessi modelli di un'architettura rurale, a cui nel contempo si richiamano anche i dibattiti teorici. Nella geografia del regno, tuttavia, una parte rilevante del progetto territoriale è affidato alle grandi operazioni idrauliche per l'alimentazione delle attività produttive.

Contraria all'industrializzazione indifferenziata del regno, ostacolata dall'azione culturale dei primi riformisti e in seguito di Antonio Genovesi, che credeva nel potenziamento indistinto tanto delle politiche agricole, che del settore manifatturiero per le diverse province, la politica borbonica promuove ambiziosi progetti idrografici in grado di alimentare i principali siti industriali e di favorire al contempo l'irrigazione delle campagne[2]. Nella scena territoriale l'attenzione si concentra sui corsi d'acqua più generosi e scorrenti, di cui si piegano i tragitti e si potenzia la forza idraulica, per aumentare le capacità produttive delle fabbriche a essi connesse, prima dell'introduzione del vapore[3]. Già nel corso del Seicento lungo l'ultimo tratto del canale artificiale del fiume Sarno era sorto, infatti, il grande polverificio di Torre Annunziata, interessato all'avvento di Carlo nel 1734, da imponenti lavori di rifacimento con la direzione di Filippo Buonocore, secondo quanto riportato da Mariano D'Ayala[4].

È soltanto a partire dal 1753, quando il canale diventerà di proprietà regia, che nello stesso sito si progetta di realizzare una moderna fabbrica per la produzione di armi su disegno di Francesco Sabatini[5]. Il sistema idrografico connesso al fiume Sarno, realizzato un secolo prima con il prezioso intervento di Domenico Fontana, non solo era in grado di irrigare un'area agricola di terreni e villaggi molto estesa, da Santa Maria della Foce fino alla costa tirrenica, ma, con gli opportuni accorgimenti, avrebbe alimentato le macchine idrauliche degli

impianti torresi[6]. L'ambizioso progetto di sistemazione idraulica viene affidato in un primo momento a Luigi Vanvitelli. Del suo sostanziale impegno, basato sinora esclusivamente su ipotesi, emergono, notizie rilevanti in un ricco incartamento contenente parte dell'annosa questione sulla gestione delle acque del Sarno, intercorsa tra Gerardo Dentice, principe di Frasso, e il Regio Fisco, in seguito alla costruzione della fabbrica d'armi, venutasi a collocare sulla parte del canale idrico diretto a mare, che dopo aver alimentato la polveriera giungeva fino ai mulini del patrimonio reale, prossimi alla foce, nonché alla cartiera del principe, con grave danno di quest'ultimo per la notevole diminuzione del flusso di acqua[7].

La causa, intentata da Dentice già nel 1757, e che segue una disputa quasi secolare relativa alla proprietà del canale di Sarno, si indirizza, nell'immediato, verso una rapida risoluzione tra le parti, prevedendo che a proporre una soluzione conveniente intervenissero i più quotati professionisti in materia idraulica, Luigi Vanvitelli, appunto, e Giuseppe Astarita. I due architetti affrontano la campagna di rilievi nel dicembre dello stesso anno, individuando già a distanza di un mese la soluzione ragionevole a sedare l'intera questione, presentata poi in veste definitiva solo nel giugno del 1763. Sarà infatti lo stesso Vanvitelli, nelle lettere al fratello Urbano, a documentare i momenti significativi dei diversi "accessi" effettuati a Torre Annunziata, sottolineando la fiducia per l'intervento proposto "perché - come ha modo egli stesso di dire - dopo aver fissato ciò che occorre di acqua per l'Edificio delli Schioppi ed Armi del re, che è il necessario, per il resto poi si accomoderanno anche per Giustizia, ma non si verrà a Giudicato, o almeno così io spero di farli contentare la volontà di porre termine alla lite in maniera definitiva"[8].

Nella perizia rimessa agli atti l'8 giugno del 1763 un prezioso grafico mostra attentamente in pianta e in sezione l'andamento del canale e gli espedienti necessari ad alimentare le cartiere del principe e i mulini del patrimonio, senza diminuire la portata dell'acqua necessaria all'azionamento delle macchine della fabbrica. Vanvitelli e Astarita spiegano come il progetto consista essenzialmente "nel situare con ingegnosa arte le macchine di detta Real Fonderia"[9] le quali, spingendo l'acqua con maggiore forza, consentono lo sdoppiamento dei canali, raccordati poi, come è riportato nel documento, in un recipiente d'acqua terminale[10].

Il progetto, tuttavia, non incontra i favori nemmeno dei suoi stessi patrocinanti e con dispaccio reale a distanza di sei anni, ancora nei documenti, si legge che "per non recarsi minimo pregiudizio a quella Reale Armeria né al Patrimonio di Sarno come né anche al detto Frasso si dovesse la suddetta perizia di Vanvitelli ed Astarita riconoscere dall'architetto Fuga ed ingegnere Caputo coll'accesso sopra luogo da praticarsi da costoro"[11]. Neanche quest'ultima verifica appare risolutiva, e nel 1778 si richiede sul sito la presenza di Carlo Vanvitelli, in sostituzione dell'architetto

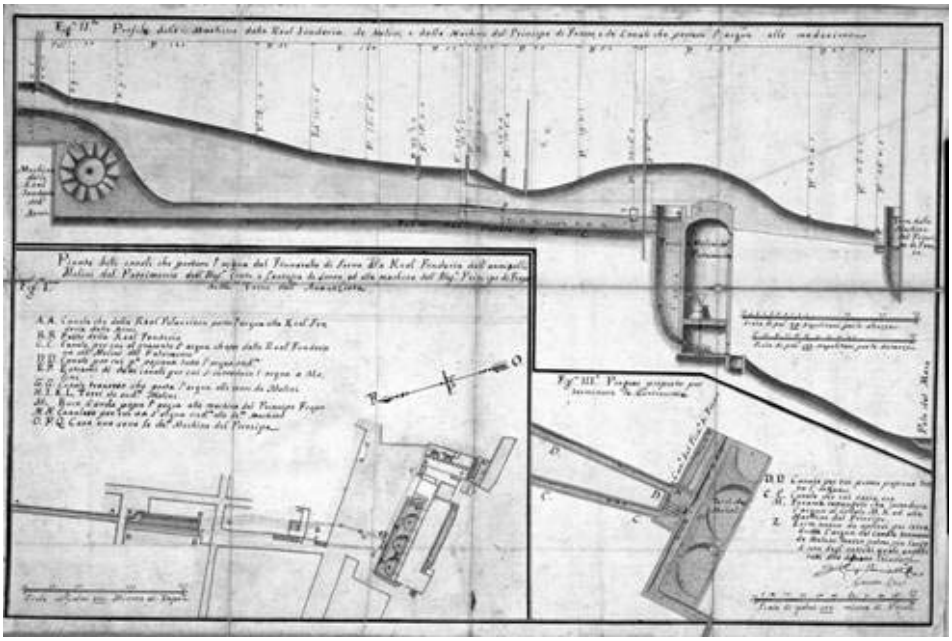


Fig. 1 – Giuseppe Astarita – Luigi Vanvitelli, I Pianta delli canali / II Profilo delle machine della Real Fonderia / III Progetto, 1763 (ASN, Gran Corte dei Conti, b. 9, fasc. 793)

Astarita, ormai morto, mentre dopo dieci anni circa si incaricano gli ingegneri Vito Caravelli e Nicola Anito di redigere un'ulteriore perizia, nella quale i due tecnici si mostrano favorevoli ad accogliere le richieste del principe, spiegando, ancora una volta, come "coll'acqua ad accordarsi niun danno riveniva a mulini del Patrimonio ed alla Reale Armeria"[12]. Gli interessi della corte, evidentemente, miravano all'assoluto diritto sulle acque contese, tanto che nel 1787 Ferdinando IV richiede all'ingegnere Giuseppe Pollio l'apprezzo del territorio di Torre Annunziata al fine di riscattarlo dallo stato feudale[13]. Fallito il piano politico del re, anche a causa delle note vicende di fine secolo, la lite tra le due parti si protrae per tutto l'Ottocento senza che la questione si risolva in maniera definitiva[14].

Lontano dall'approfondire oltre la vicenda giudiziaria, è interessante sottolineare come la lettura del prezioso incartamento corredato del grafico a firma di Luigi Vanvitelli insieme con Giuseppe Astarita, abbia documentato la presenza dell'architetto regio nel cantiere di Torre Annunziata,limitandone tuttavia la partecipazione a un'attenta perizia e a una proposta di progetto, in materia strettamente idraulica, non risultando in alcun modo impegnato in più estese realizzazioni urbanistiche[15].

Durante il decennio francese, se da un lato verrà confermata l'importanza della nuova città industriale Gioacchinopoli, una grande attenzione sarà riser-

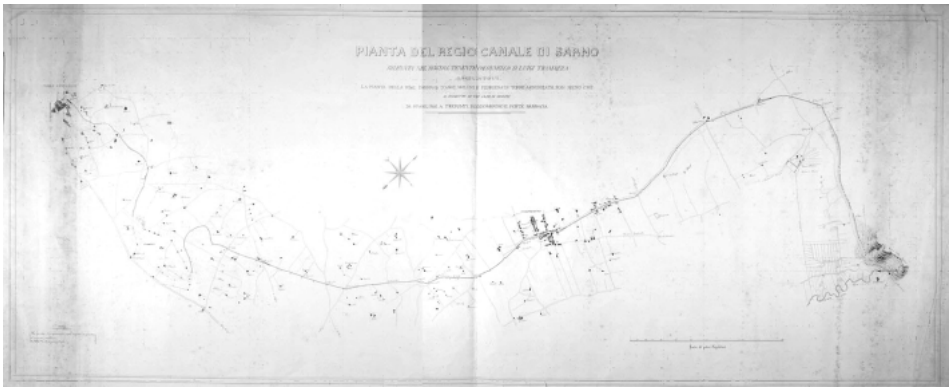


Fig. 2 – LUIGI TRAMAZZA, Pianta del regio canale di Sarno rilevata nel 1835 dal tenente colonnello Luigi Tramazza aggiuntovi la pianta della Real fabbrica d'Armi, molini e ferriera di Torre Annunziata non meno che il progetto di tre case di molini da stabilirsi a Treponti, Poggiomarino e Ponte Baracca (BNN, Sezione Manoscritti e rari, b.VI-47, c.12)

vata, ancora, al controllo del sistema idrografico artificiale connesso al Sarno, come attestano i vari grafici redatti in questi anni dai tecnici del genio militare, in cui l'andamento del canale artificiale è attentamente rilevato nella totalità del suo sviluppo[16].

Solo dopo la seconda restaurazione, in particolare con Ferdinando II, si ripropone la questione delle acque di Sarno, relativamente all'alimentazione degli impianti torresi. Nel 1835 il tenente colonnello Luigi Tramazza rileva la "Pianta del regio canale di Sarno", in cui a ovest in rosso sono indicati i complessi produttivi di Torre Annunziata, quale punto terminale del lungo corso del canale di Sarno[17].

Rispetto ai precedenti rilievi effettuati nel decennio, la grafica si semplifica e il disegno, nel suo complesso, assume tratti di maggiore precisione, consentendo una facile lettura dei nuovi mulini che si intendono collocare nei tre villaggi attraversati dal corso d'acqua, come precisato nella titolazione della tavola. Contestualmente, sempre negli stessi anni, si provvede a rilevare anche gli impianti torresi, in vista di un progetto di alimentazione idrica della fabbrica d'armi e della ferriera, attraverso la costruzione di nuovi mulini, al fine di potenziarne la produzione. Se da un lato il risvegliato interesse dei regnanti verso l'industria bellica punta alla rinascita e all'incremento dei principali poli industriali di epoca settecentesca, dall'altro favorisce la ripresa di quei temi di natura idraulica che avevano impegnato in precedenza da Luigi Vanvitelli con Giuseppe Astarita, a Ferdinando Fuga, Nicola Anito, Giuseppe Pollio. Insieme alla "Pianta topografica dell'abolita polveriera di Torre Annunziata", con il rilievo dell'intero sito industriale, il tecnico incaricato Enrico Russo, sotto la direzione del Generale Ispettore Michele delli Franci, redige un nuovo progetto idraulico per incrementare la produzione di armi [18].

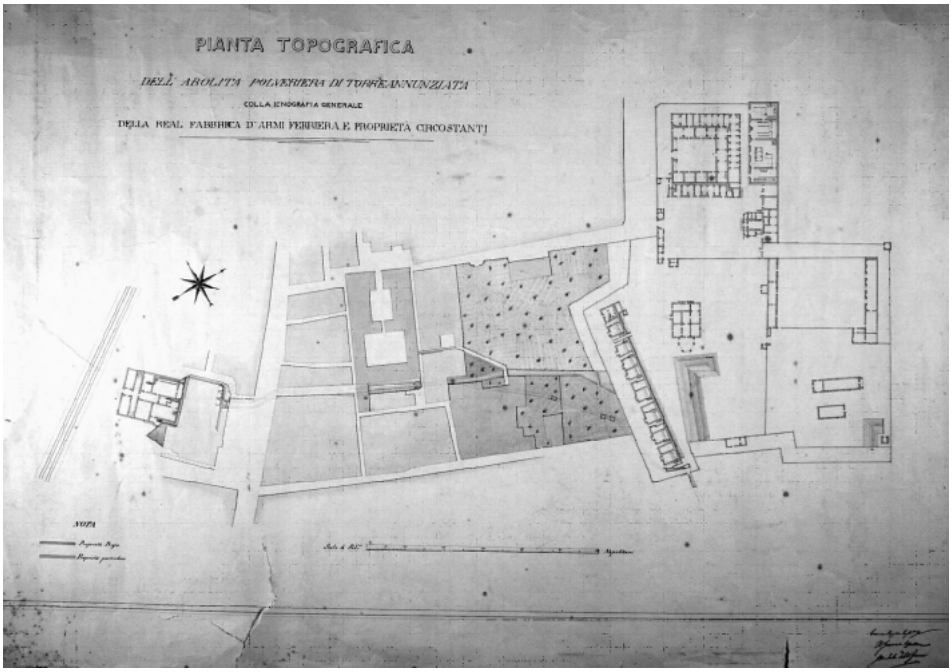


Fig. 3 – Enrico Russo, Pianta topografica dell'abolita polveriera di Torre Annunziata colla icnografia generale della Real fabbrica d'Armi Ferriera e proprietà circostanti (BNN, Sezione Manoscritti e rari, b.VI-45, c.12)

Il primo grafico mostra con esattezza lo stato dei luoghi, con il disegno delle acque di alimentazione, la definizione planimetrica di tutti gli edifici produttivi, fino all'indicazione in rosso delle proprietà regie e in blu di quelle private. Nel disegno di progetto successivo il tecnico suggerisce lo sdoppiamento del canale di carico esistente in due grandi rami, alimentati da nuovi mulini da costruire sul luogo delle "case di battimento", che confluirebbero, con una portata di gran lunga maggiore alla precedente, all'interno della fabbrica d'armi, sottoposta al piano della polveriera di circa 3,43 metri. Il nuovo sistema consentirebbe, non solo di tenere disgiunti e completamente autonomi tra loro i canali di carico e di scarico delle acque, ma, soprattutto, allineerebbe gli impianti di produzione torresi ai modelli europei, cui il tecnico fa costanti riferimenti.

È lo stesso Russo nella «Memoria sull'uso che potrebbe farsi delle acque di Torre Annunziata» compilata nel 1837, che doveva costituire parte integrante dei disegni stessi, a motivare le scelte di progetto, al fine di aumentare la forza idrica del canale di Sarno, sulla base delle coeve produzioni d'armi in particolare francesi. "Il Generale Morin", come si legge nel documento "fece molti anni or sono nella Manifattura d'Armi di Chatellerault una serie di esperimenti intesi

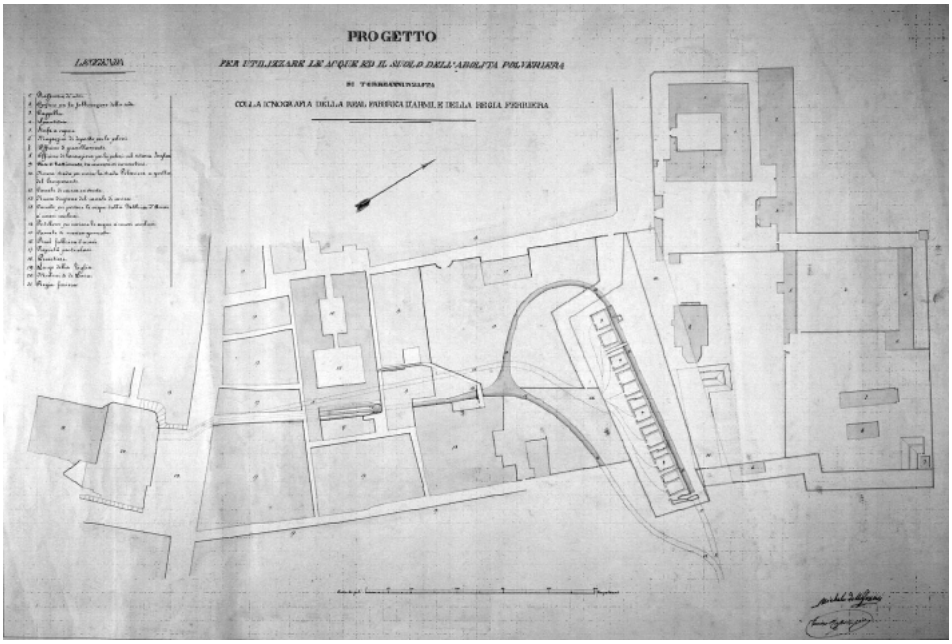


Fig. 4 – ENRICO RUSSO, Progetto per utilizzare le acque ed il suolo dell'abolita polveriera di Torreannunziata colla icnografia della Real fabbrica d'Armi e della Regia Ferriera (BNN, Sezione Manoscritti e rari, b. I-78, c.12)

a determinare la quantità di travaglio utile che conveniva trasmettere, agli assi delle macchine, nella fabbricazione delle armi adoperate. Dai dati che nelle sue belle esperienze si possono raccogliere ne emerge che la forza utile necessaria alla fabbricazione annuale di 12000 assortimenti completi per armi da fuoco è di kilogr - metri 3394,50 pari a cavalli vapore 45,26, comprendendo sia le diverse macchine che martinetti, uno destinato alla forgiatura delle doppie lastre e l'altro alla tiratura di esse; oltre una macchina soffiante, suscettiva di alimentare i fuochi, che a mentovati maglietti si appartengono"[19].

È, tuttavia, nella ricognizione più dettagliata redatta l'anno successivo, che sempre il Capitano d'Artiglieria Enrico Russo, insieme al Brigadiere Michele delli Franci, esplicano minuziosamente l'idea di progetto. Si tratta della «Memoria relativa ai modi di trarre tutto l'utile possibile dalle acque del Regio Canale di Sarno coll'aggiunta di talune notizie relative alla fabbrica d'Armi di Torre Annunziata» in cui sulla base della soppressione delle diverse nitriere del Regno, i due tecnici analizzano le possibilità e i modi attraverso cui potenziare gli impianti di Torre Annunziata[20]. Contrario all'ipotesi del colonnello del Genio Tramazza di edificare lungo il canale di Sarno tre nuovi mulini, Russo espone concretamente la sua idea di realizzare una grande cartiera a uso del go-

verno, sfruttando attivamente l'abbondante caduta d'acqua di Treponte, così da contenere l'eccessiva spesa di acquisto annuale della carta "non minore di ducati 34000, cioè 11000 per l'Officio Topografico e 23000 per la Stamperia Reale"[21].

Nell'ambizioso piano idraulico, i riferimenti internazionali spaziano dall'analisi dei sistemi di alimentazione delle fonderie di Liegi, di La Roche e delle manifatture di Chatellerault, ai costanti rimandi di Russo alle *Publication industrielle* di Armengaud del 1831, alle nuove turbine idrauliche progettate negli stessi anni dall'ingegnere Benoît Fourneyron dell'*Ecole des mineurs*, poi *Ecole des mines* di Saint-Etienne e alle successive turbine degli ingegneri Jonval e Fontaine-Baron[22]. Anche se rilievi successivi dimostrano come dopo l'unità il sistema di alimentazione delle fabbriche rimane ancora pressoché immutato, il progetto e le analisi di Enrico Russo costituiscono una testimonianza preziosa del forte interesse che stava animando, in particolare, le imprese industriali promosse da Ferdinando II nella seconda restaurazione, fino al declino degli anni Cinquanta quando la fabbricazione delle armi viene trasferita nei nuovi stabilimenti di Scafati[23].

[1] Per un approfondimento delle architetture industriali di epoca borbonica strettamente connesse allo sfruttamento delle risorse naturali si rimanda a F. Castanò, *Dalle manifatture all'industria. Le architetture per la produzione*, in *L'architettura dei Borbone di Napoli e delle Due Sicilie*, a cura di A. Gambardella, Napoli, ESI, 2005, pp. 63-89.

[2] Sulla cultura a Napoli al tempo di Antonio Genovesi fondamentale rimane il lavoro di F. Venturi, *Settecento riformatore. Da Muratori a Beccaria*, Torino, G. Einaudi, 1969, pp. 523-644. Si veda, inoltre: E. Garin, *Dal Rinascimento all'Illuminismo. Studi e ricerche*, Pisa, Nistri-Lischi, 1993, p. 247 sgg., e dello stesso autore l'introduzione in A. Genovesi, *Dello stato e delle naturali forze del Regno di Napoli per rispetto all'arti e al commercio*, Napoli, La Città del Sole, 1999, p. 3-10.

[3] Per l'analisi della cultura imprenditoriale in ambito sia industriale che agricolo, derivante dalla lezione di Genovesi, con esiti diversificati nelle province del regno si vedano: M. Grillo, *L'economia politica nella Sicilia borbonica*, in *I Borbone in Sicilia (1734-1860)*, a cura di E. Iachello, Catania, Maimone, 1998, pp. 54-61; C. Cingari, *Il movimento riformatore nel '700: i fratelli Grimaldi*, in *Seminara nella cultura italiana*, Bordighera, 1993; *1734-1861 I Borbone e la Calabria. Temi di arte architettura urbanistica*, a cura di R. M. Cagliostro, Roma, De Luca, 2000, p. 56 e pp. 69-74; G. De Lucia, *Abruzzo borbonico: cultura, società, economia tra Sette e Ottocento*, Vasto, R. Cannarsa, 1984, pp. 23-42; A. Di Iorio, *I duchi D'Alessandro di Pescolanciano e l'industria della seta nel XIX secolo*, "Samnium", 1984, pp. 183-209; R. De Stefano, *Le Saline di Barletta nella seconda metà del XVIII secolo e l'opera del Pecorari*, in *Sale e saline nell'Adriatico (secc. XV-XX)*, atti del Convegno Internazionale di Studi *Sale e Saline in Adriatico in età moderna*, (Bari, 3-4 settembre 1979), a cura di A. Di Vittorio, Napoli, Giannini, 1981, pp. 51-67.

[4] M. D'Ayala, *Napoli militare*, Napoli, Stamperia dell'Iride, 1847, p. 309. Per un aggiornamento sull'attività di Filippo Buonocore si rimanda a: F. Castanò, *Inediti protagonisti di un secolo di*

architetture: i Buonocore, in *Tra il Mediterraneo e l'Europa. Radici e prospettive della ricerca storica*, a cura di A. Gambardella, Napoli, ESI, 2000, pp. 123-148.

[5]Per il sito industriale di Torre Annunziata in epoca borbonica si vedano: *Manifatture in Campania. Dalla produzione artigiana alla grande industria*, Napoli, Guida, 1983, pp. 116-151; G. E. RUBINO, *L'artiglieria napoletana e le fabbriche d'armi al tempo di Carlo Filangieri di Satriano*, in *Le armi al tempo dei Borbone*, catalogo della mostra (Napoli, 13 giugno-31 agosto 1998), a cura di S. Abita, Napoli, ESI, 1998, pp. 26-38; G. E. RUBINO, *Le fabbriche del sud. Architettura & archeologia del lavoro*, Napoli, Giannini, 2004, pp. 239-264; A. BUCCARO - G. MATACENA, *Architettura e urbanistica dell'età borbonica, le opere dello stato, i luoghi dell'industria*, Napoli, Electa Napoli, 2004, p. 235.

[6] G. E. RUBINO, *Le fabbriche del sud. Architettura*, cit., pp. 77-79, cui si rimanda anche per la bibliografia di riferimento.

[7] ARCHIVIO DI STATO DI NAPOLI, *Gran Corte dei Conti*, b. 9, fasc. 793.

[8] Si tratta della lettera da Napoli del 4 gennaio 1763 e da Portici del 18 ottobre 1763; cfr. F. STRAZZULLO, *Lettere di Luigi Vanvitelli della Biblioteca Palatina di Caserta*, vol. III, Galatina, Congedo, 1976-1977, pp. 9-10, 86-87.

[9] ASN, *Gran Corte dei Conti*, cit., c. 119. Cfr. F. CASTANÒ, *Lo sfruttamento delle acque negli insediamenti industriali: da Luigi Vanvitelli a Vincenzo Manieri*, in *Casa di re. La Reggia di Caserta fra storia e tutela*, catalogo della mostra *Casa di Re. Un secolo di storia alla Regia di Caserta 1752-1860*, (Caserta, 8 dicembre 2004 – 13 marzo 2005), a cura di R. Cioffi -G. Petrenga, Milano, Skira, 2005, pp. 133 e 162-163.

[10] ASN, *Gran Corte dei Conti,* cit., c. 143.

[11] *Ivi*, c. 160.

[12] *Ivi*, cc. 252-268.

[13] Parte della perizia dell'ingegnere Pollio risulta integralmente trascritta in G. DI MARTINO - S. RUSSO, *Torre Annunziata. La sua vocazione industriale e il canale conte di Sarno*, Salerno, 1983, pp.152-157.

[14] *Ivi*, p. 150.

[15] Sulla base di queste acquisizioni documentarie rimane ancora aperta l'attribuzione dell'anonimo progetto, della fine del XVIII secolo, più volte riferito a Luigi Vanvitelli, che presenta nel dettaglio lo stato dei luoghi, nonché il complesso impianto idrico sottostante, degli impianti torresi, di cui si ipotizza l'ampliamento fino al mare a sud-ovest, con la realizzazione, verso nord-est, di un lungo asse di connessione tra la fabbrica d'armi e la zona della polveriera, concluso in una piazza ellittica. È presumibile che l'autore della suggestiva tavola, in tutto simile a un altro grafico successivamente redatto da Basile Anito, possa essere ancora Nicola Anito, contemporaneamente coinvolto nella lunga lite giudiziaria, insieme con Caravelli, quali ultimi revisori dell'intera questione giudiziaria. Per le due tavole cfr. BIBLIOTECA NAZIONALE DI NAPOLI, *Carte geografiche*, b. 28-9, in G. E. RUBINO, *Le fabbriche del sud: saggi di storia e archeologia dell'industria*, Napoli, Athena, 1990, fig. 46 e pp. 166-172 e BNN, *Carte geografiche*, b. 19-17 in F. CASTANÒ, *Dalle manifatture*, cit., p. 46.

[16] G. E. RUBINO, *Le fabbriche del sud. Architettura*, cit., pp. 240-246.

[17] BNN, *Sezione Manoscritti e rari*, b. VI-47, c.12.

[18] Il primo grafico consiste nel rilievo degli impianti di Torre Annunziata eseguiti da Enrico Russo, BNN, *Sezione Manoscritti e rari*, b. VI-45, c. 12, cui segue il progetto dello stesso autore per alimentare le fabbriche con una potenza maggiore BNN, *Sezione Manoscritti e rari*, b. I-78, c. 12, dove sono indicate in leggenda, procedendo nella numerazione da est a ovest, tutte le nuove derivazione da farsi «Leggenda. 1-Raffineria dei nitri. 2-Opificio per la fabbricazione della soda. 3-Cappella. 4-Spanditoio. 5-Stufa a vapore. 6-Magazzini di deposito per le polveri. 7-Officine di granellamento. 8-Officine di lavorazione per le polveri sul sistema Inglese. 9-Case di battimento da convertirsi in mulini. 10-Nuova strada per unire la strada Polveriera a quella del Camposanto. 11-Canale di carica esistente. 12-Nuova direzione del canale di carica. 13-Canale per portare le acque dalla Fabbrica d'Armi a' nuovi mulini. 14-Portellone per inviare le acque a' nuovi mulini. 15-Canale di scarica generale. 16-Real fabbrica d'Armi. 17-Proprietà particolari. 18-Quartiere. 19-Largo della Tiglia. 20-Mulini di de Luca. 21-Regia Ferriera. Scala di palmi napoletani 500. Michele delli Franci. Enrico Russo la fece». Si segnala inoltre la sezione a firma di Russo e di delli Franci, effettuata lungo il canale, dimostrativa delle pendenze e dei salti di quota misurati, BNN, *Sezione Manoscritti e rari*, b. VI.47, c. 11, *Profili parziali e generali del Regio Canale di Sarno*.

[19] BNN, *Sezione Manoscritti e rari*, b. V-103, Enrico Russo, «Memoria sull'uso che potrebbe farsi delle acque di Torre Annunziata», 1837. In questa dettagliata relazione Russo richiama in maniera esplicita gli studi di Arthur Morin che proprio nel 1837 dava alle stampe a Metz *Aide memoire de mecanique pratique a l'usage des officiers d'Artillerie et des ingenieurs civils et militaires*. La manifattura di Châtellerault, citata nel documento, viene fondata in Francia lungo il fiume Vienne nel 1816, quando le principali fabbriche di nuova edificazione, destinate alla costruzione delle armi vengono collocate nelle aree centrali del regno, piuttosto che risiedere nelle zone confinanti, in modo da sfuggire all'attacco nemico.

[20] BNN, *Sezione Manoscritti e rari, ms.*, XVIII.85, Enrico Russo, «Memoria relativa ai modi di trarre tutto l'utile possibile dalle acque del Regio Canale di Sarno coll'aggiunta di talune notizie relative alla fabbrica d'Armi di Torre Annunziata», 1838.

[21] *Ivi*, c. 19v.

[22] I testi citati da Enrico Russo sono i seguenti: *Memorial de l'artillerie, ou recueil de memoires experiences, observations et procedes relatifs au service de l'artillerie; redige par les soins du comite, avec l'approbation du ministre de la guerre*, voll. 8, Parigi 1824-1830; A. Armengaud, *Publication industrielle des machines outils et appareils les plus perfectionnes et les plus recents employes dans les differentes branches de l'industrie francaise et etrangere*, Parigi 1831; B. Fourneyron, *Memoire sur les turbines hydrauliques et sur leur application en grand dans les usines et manufactures*, Liegi 1840; C.J. Emy, *Cours de sciences physiques et chimiques, appliquees aux arts militaires*, Parigi 1848; F. Gillion, *Cours elementaire sur les armes portatives*, Liegi 1856.

[23] Per l'interesse dei contenuti si riporta di seguito la parziale trascrizione della «Memoria» manoscritte di Enrico Russo che riassumono le scelte industriali e le nuove linee della politica ferdinandea. BNN, *Sezione Manoscritti e rari, ms.*, XVIII.85, Enrico Russo «Memoria relativa», cit., cc.1-2: "La Memoria che oggi presentiamo, non solo riassume e sviluppa quelle cose che precedentemente erano state umiliate alla Maestà del Re N.S. ma in adempimento de' venerati ordini della M.V. versandosi ancora più partitamene sulla fabbricazione delle Armi, che i diversi Stabilimenti del Governo son capaci di produrre, comprende la determinazione del numero delle macchine che si sono stimate necessarie per ottenere una fabbricazione annuale di 12000 fucili rigati e 2 a 3000 pezzi sciolti,

diversamente assortiti. Si è quindi creduto espediente dividerla in due parti: nella prima si son determinate le forze disponibili che presentemente esistono ai diversi stabilimenti di Torre Annunziata e quelle che potrebbero aversi lungo la sviluppata del Canale di Sarno convenientemente modificandone la pendenza"; c. 19v: "Niuna cosa sarebbe più conveniente e più certa nei suoi risultamenti, come quella di una cartiera. Annualmente pel solo fatto del Reale Opificio Topografico e della Stamperia Reale, il Governo, in forza di contratti sborsa per acquisto di carta, una somma non minore di ducati 34000. Cioè 11000 per l'Officio Topografico e 23000 per la Stamperia Reale. Ora se la forza disponibile dei 12660 cavalli venisse adoperata per la fabbricazione di questo genere interessantissimo, non solo il Governo verrebbe ad economizzare annualmente una considerevole spesa sulla somma di ducati 34000 sulla fabbricazione di quella carta, che esuberante ai bisogni dell'Officio Topografico e della Stamperia Reale potrebbe erogarsi a tutte le Amministrazioni del Governo"; c. 37r-39v: "Conchiusone. Le cose fin qui dette e le altre che in differenti congiunture, abbiamo avuto l'opportunità di suggerire, possono tutte riepilogarsi nei seguenti articoli, cioè: primo. Essendosi il Real Governo determinato alla soppressione delle differenti nitriere, esistenti nelle Provincie, e dovendosi quindi innanzi fabbricare il nitro bisognevole alla Polveriera di Scafati, con dei processi chimici, il locale della Raffineria dell'Abolita Polveriera di Torre Annunziata, potrebb'essere utilizzato facendo la fabbricazione di nitro a conto del Governo. Secondo. La fabbricazione di nitro grezzo, divenendo da ora in poi il fatto della Generale Amministrazione dei Dazi indiretti, dovrebbe eseguirsi mediante il nitrato di soda, ed il cloruro di potassio. Terzo. Dovrebbero entrarsi nelle diverse Saline del Regno i prodotti contenuti nelle acque madri che sopravanzano alla cristallizzazione del sale, per essere spediti a Torre Annunziata e venire utilizzati tanto per la fabbricazione del nitro che per quella della soda artificiale e della potassa grezza. Quarto. La Real Montatura d'Armi e l'Officina dei Maglietti e degli Ammolatori, dovrebbero aggregarsi alla Real Fabbrica d'Armi, dando a quest'ultimo stabilimento una pianta ordinata e regolare. Quinto. Nella nuova istallazione della Real Montatura d'Armi si dovrebbono apportare tutti quei miglioramenti che suggeriti dal progresso delle scienze e delle arti sono stati dall'esperienza vantaggiosamente sanzionati. Sesto. Abolire l'opificio di Poggioreale, consacrando il volume di acqua di cui esso presentemente dispone allo stabilimento di un determinato numero di mulini. Settimo. Profittare della soverchia pendenza che vi è nel canale di Sarno e stabilire con alcune paratoie delle nuove cadute alla Polveriera a Treponte, Poggiomarino ed al Ponte Barracca. Ottavo. Stabilire o tre case di mulini a Treponte, Poggiomarino e Ponte Baracca, o una cartiera a Treponte, cumulando in quest'ultimo stato tutta la caduta che è capace di dare l'eccesso di pendenza, del tratto di canale compreso fra Treponte e Santa Maria la foce. Nono. Nelle case di battimento dell'abolita Polveriera di Torre Annunziata, stabilire dei mulini per utilizzare non solo la forza eccedente ai bisogni della Fabbrica d'Armi, ma anche per servirsi di quella che presentemente, nelle ore di riposo, viene dalla mentovata Manifattura, intieramente sciupata. Decimo. Aprire una strada, accosto ai nuovi mulini della Polveriera e censire il terreno adiacente per suolo edificatorio. Undicesimo. Stabilire nel locale occupato dalla presente ferriera un conveniente numero di molini di riserva, da metterli in attività, quando per abbondanza di acqua, la corsea del primo ordine dei mulini posti nel largo della Tiglia dovesse sfogare il fluido esuberante. Dodicesimo. Imporre finalmente un censo annuale per quei terreni che acquisterebbero il vantaggio di diventare irrigatori pel fatto del rialzamento delle acque. I miglioramenti che dalle proposte misure risulterebbero a vantaggio della Real Fabbrica d'Armi, l'utile che si ricaverebbe dai locali presentemente occupati dalla Real Montatura d'Armi, la economia vistosa sul prezzo de' nitri, che si avrebbe il Governo, fabbricandoseli nel modo da noi divisato, e finalmente lo impulso straordinario che potrebbero ricevere le industrie del nostro Paese, trattandosi nelle Saline le acque madri che sopravanzano alla cristallizzazione del sale, ci fanno sperare se non di aver raggiunto la meta, di avere almeno dato adempimento per quanto era in noi ai venerabili ordini sovrani, che in proposito ci vennero manifestati. … Torre Annunziata, 30 giugno 1838".

GIULIANA RICCIARDI

Luigi Oberty e il progetto di riduzione dell'antico castello di Montesarchio



Fig. 1 – Veduta attuale del castello e della torre di Montesarchio

Durante il regno di Ferdinando II di Borbone, il castello di Montesarchio, di proprietà della famiglia d'Avalos, venne destinato a prigione di Stato, rendendo così necessari nella seconda metà dell'Ottocento lavori di ristrutturazione e di adeguamento funzionale.

Il progetto di "riduzione dell'antico castello di Montesarchio" fu redatto dall'ingegnere Luigi Oberty, che durante la sua vita professionale aveva segnato in maniera decisiva lo sviluppo urbanistico della città di Avellino con la realizzazione di diversi edifici pubblici dopo la Restaurazione. Tra il 1818 e il 1821 aveva infatti costruito il Real Collegio e il cimitero ed era inoltre intervenuto su antichi conventi avellinesi destinandoli a tribunali o a caserme, oltre che sulle strade consolari della provincia.

Notevole fu anche l'attività di Oberty a Foggia dove costruì la villa comunale, il teatro Ferdinando e l'orfanotrofio Maria Cristina, oltre ad intervenire sulla pavimentazione delle strade. Tra il 1828 ed il 1832, inoltre, progettò e diresse i lavori di bonifica delle paludi sipontine.[1]

A Napoli ricoprì vari ruoli nell'ambito del Corpo di Ponti e Strade, dove era entrato in gioventù come allievo della Scuola, fino a divenire Ispettore delle opere di conto regio nel 1839 e Ispettore delle opere di conto provinciale nel 1840.

Ferdinando II di Borbone nel 1853 gli diede l'incarico di ristrutturare la Casina reale di Ischia e di progettare nuove infrastrutture per il porto. Nominato ispettore del Genio civile nel 1863, risulta in carica come direttore generale di Ponti, Strade e Acque presso il Ministero dei lavori pubblici alla fine del 1868. Durante le sua lunga carriera Oberty aveva acquisito una notevole esperienza tecnica in materia di carceri, avendo elaborato nell'aprile del 1821 un progetto per il nuovo carcere di Avellino ed essendogli stato affidata nel 1837 la ristrutturazione del carcere provinciale di Foggia.[2]

Il tema progettuale degli impianti per la sicurezza aveva coinvolto vari professionisti fin dalla fine del Settecento, anche in seguito agli scritti di Foucault, Beccaria e Bentham. Quest'ultimo aveva introdotto nel 1787 lo schema panot-

tico, che trovò larga applicazione nel Regno di Napoli non solo per la costruzione di carceri, ma anche di lazzaretti. Fu possibile applicare quest'impianto, basato sull'utilizzo del cerchio e dei poligoni regolari solo nel caso di costruzione di edifici ex novo, come si verificò ad Avellino, mentre la sua applicazione risultò praticamente inadeguata nel caso di riutilizzo di strutture preesistenti, spesso di forma rettangolare o irregolare.

La prassi di modificare la destinazione d'uso di edifici preesistenti per nuove funzioni pubbliche si era già diffusa durante il decennio francese, quando numerosi ex conventi e castelli erano entrati a far parte del patrimonio dello Stato. Attraverso il cosiddetto "progetto di riduzione" in diversi casi si era proposto di utilizzare le strutture fortificate come carceri, come nel caso di Monforte, Nisida e Procida.

Anche nel caso di Avellino la convenienza di utilizzo di un castello in funzione di carcere era stata fermamente sostenuta da Oberty nel caso di Avellino: "[...] per la sua posizione elevata, per la situazione all'estremo della parte meno nobile della città, e per l'estrema facilità di custodirlo in qualunque circostanza perché isolato, e finalmente lo comodo un poco raro in Avellino di dar facilissimo scolo ai luoghi immondi".[3]

Il primo progetto di adattamento a carcere dell'antico castello di Avellino proposto dal de Tommaso, fu però scartato a favore della attuale struttura collocata all'interno del centro urbano, elaborazione finale di varie e diverse proposte su pianta poligonale, in cui trova piena applicazione l'impianto panottico.

Posizione elevata ed isolamento dal centro urbano caratterizzano anche il castello e la torre di Montesarchio (Fig. 1), che, edificati su di uno sperone roccioso del monte Taburno, hanno da sempre rappresentato la struttura di difesa di una postazione chiave della Campania. Il territorio di Montesarchio divenne feudo della famiglia d'Avalos nel 1532;[4] dopo quasi trecento anni durante il regno di Ferdinando II di Borbone il castello, passato al demanio regio, venne destinato a prigione di stato.

Benché non sia stato possibile rinvenire alcun elaborato grafico sui lavori di "riduzione" del castello, il progetto di Luigi Oberty è accuratamente documentato negli archivi della Direzione generale di Ponti e Strade e del Ministero dei Lavori Pubblici, custoditi presso l'Archivio di Stato di Napoli.

Tra il 1852 e il 1855 l'ingegnere Oberty elaborò a più riprese gli stati estimativi del progetto da sottoporre ad approvazione regia in Consiglio ordinario di Stato. All'epoca della riduzione a carcere il castello, costituito da tre piani privi di porte e finestre e da una doppia linea di fabbriche al pianterreno, versava in condizioni di degrado, come descritto da Oberty nel primo stato estimativo, approvato nel Consiglio ordinario di Stato del 26 gennaio 1852.[5] (Fig. 2)

Oberty prevede, con una spesa iniziale di quindicimila ducati, di dividere il castello in due edifici separati, uno a due piani da utilizzare per custodia e guardia; l'altro a tre piani con al pianterreno le cucine e altre officine e su ciascuno


Ministero e Real Segreteria di Stato de' Lavori Pubblici.

Oggetto | Parere | Decisione di Sua Maestà

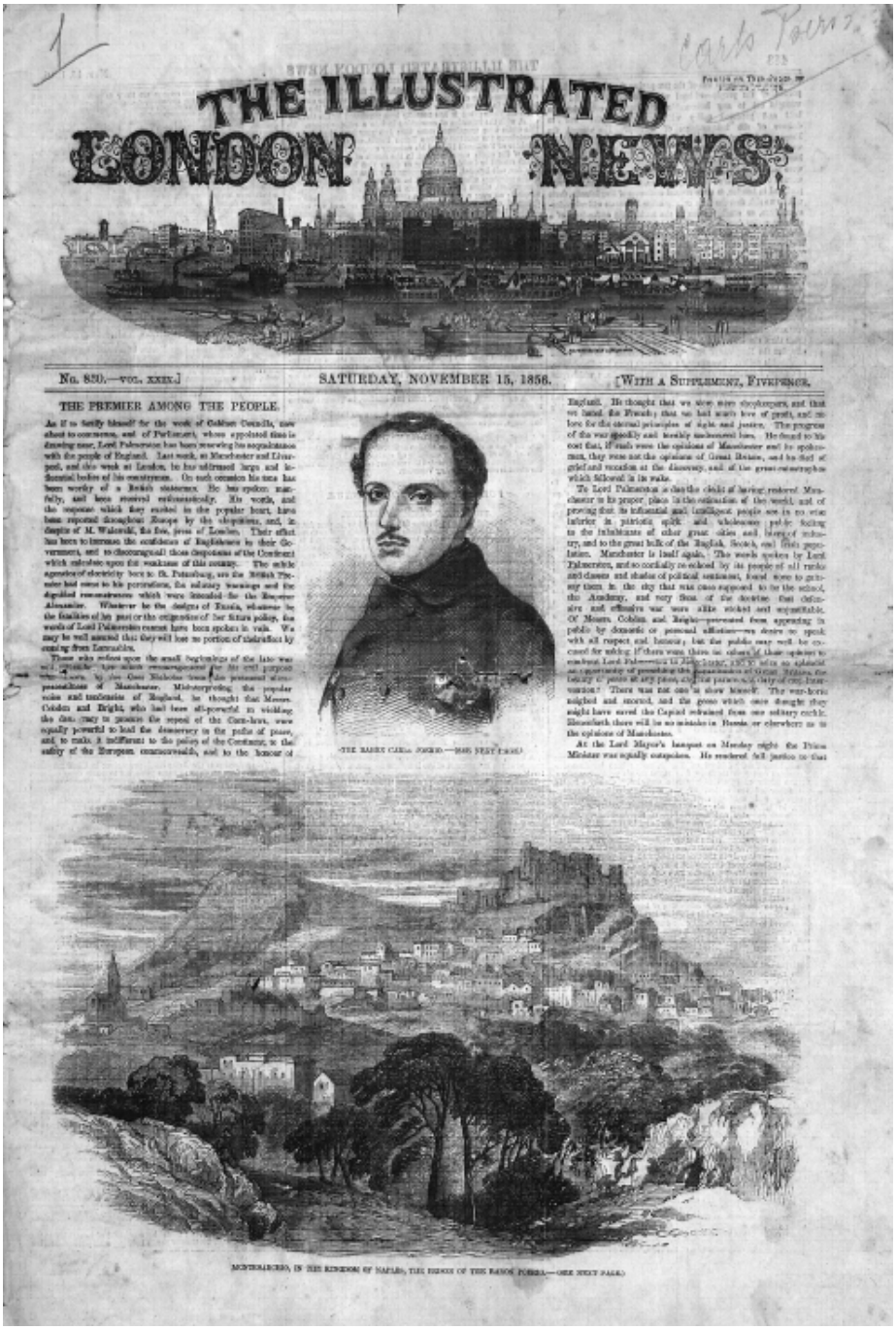
Fig. 2 – Approvazione del primo stato estimativo in Consiglio ordinario di Stato

dei due piani superiori dodici stanze, ognuna capace di quattro letti.

Secondo Oberty il corpo destinato a custodia e guardia poteva derivare dalla trasformazione dello spiazzo esistente lungo la facciata principale, aggiungendo una quarta parete ai tre muri che lo delimitavano. Approvato il progetto, Oberty riceve l'incarico della direzione delle opere, mentre all'ingegner Alinei viene affidato il dettaglio dei lavori. L'imprenditore Giuseppe Fresa si aggiudica l'appalto delle opere, impegnandosi a concluderle entro tre mesi; come consulente tecnico viene nominato il capitano dello Stato Maggiore dei Reali eserciti, Giovanni de Cosiron, perché il castello possa divenire luogo fortificato. Il capitano a tale scopo ritiene necessario realizzare un alloggio per almeno ottanta soldati e migliorare la rampa di accesso al castello; costruire inoltre tre corpi di guardia e restaurare due troniere. Considerato il consistente numero di soldati da alloggiare nel castello Oberty decide di trasformare in serbatoi "alcuni sotterranei che stanno sotto il primo cortile mediante opportuni restauri".[6]

In un successivo stato estimativo si individuano per complessivi 4200 ducati i lavori necessari "per ridurre e rendere utile l'antica torre che precede il castello", prevedendo di completare le opere per il maggio 1853. Nello stato estimativo al quale era allegato anche un disegno, purtroppo non rinvenuto, viene comunque descritto il volume della torre: "[...] componesi di uno spazio di figura irregolare che soprasta una torretta a sinistra l'ingresso; di un androne, di tre locali uno all'altro sottoposto, di cui il 1° e il 3° son privi di volte, che ne circondano un quarto intermedio, di pianta circolare".[7]

Rispetto alla configurazione spaziale esistente Oberty prevede di realizzare un corpo di guardia, una stanza per custode e di suddividere il locale intermedio in tre ambienti, "uno inferiore per cisterna, uno superiore per alloggio di un sotto uffiziale ed altro infine all'ultimo piano per alloggio di un telegrafista e per la macchina per il telegrafo. Dei tre locali in giro, il primo resterà abolito, utilizzandosi, se occorre, per fogna una metà e l'altro per magazzino, il secon-



THE ILLUSTRATED LONDON NEWS

No. 830.—VOL. XXIX.] SATURDAY, NOVEMBER 15, 1856. [WITH A SUPPLEMENT, FIVEPENCE.

THE PREMIER AMONG THE PEOPLE.

MONTESARCHIO, IN THE KINGDOM OF NAPLES, THE SCENE OF THE BARON POERIO'S

Fig. 3 - Veduta del carcere-prigione di Montesarchio in una stampa inglese del 1856

do e il terzo verranno ridotti abitabili, aprendovisi i rispettivi vani, e fornendo gl'inferiori di cancelli ed imposte di castagno, i superiori semplicemente d'imposte".[8]

Recatosi sul posto per verificare lo stato dei lavori, l'amministratore generale di Ponti e Strade Lopez Suarez fa stanziare nel giugno del 1853 altri 3000 ducati per evitare di sospendere le opere a causa della mancanza di fondi[9]: i lavori alla torre, nati come opera accessoria, infatti, si erano rivelati ben presto parte integrante del più ampio progetto di riadattamento del castello.

Nel marzo del 1854 l'ingegnere Oberty è pronto a consegnare l'appartamento del comandante, 13 stanze per i detenuti, 11 delle quali con 4 letti e due a due letti e la caserma che ne può contenere ottanta, mentre ancora si deve provvedere agli arredi sacri. Il 5 aprile 1854 Oberty produce un nuovo stato estimativo con la spesa necessaria per gli arredi sacri che ammonta a 300 ducati: tale importo sarà successivamente ridotto a 190 considerando gli oggetti strettamente necessari perché "nella Cappella che sta fuori del locale di detenzione possa la SS. Eucaristia amministrarsi".[10]

Non erano completati ancora i lavori quando illustri patrioti quali Carlo Poerio, Michele Pironti, Nicola Nisco furono trasferiti da Montefusco al castello di Montesarchio nel maggio 1855, "luogo pregno d'umidore per le fabbriche ancora recenti".[11]

La fama raggiunta dal carcere come luogo di pena si diffonde anche a livello internazionale, come testimonia la stampa inglese della prima metà dell'Ottocento con la bella veduta della "prison of the baron Carlo Poerio".[12] (Fig. 3)

[1] Sull'attività di Oberty cfr. M. A. De Cunzo – V. De Martini, *Le città nella storia d'Italia. Avellino*, Bari 1985; A. Massaro, *Avellino tra decennio e restaurazione nelle opere di Luigi Oberty*, Avellino 1994; A. Caracozzi, *Luigi Oberty e la diffusione del Neoclassicismo nell'Italia meridionale*, Bari 1999; A. Buccaro, F. De Mattia (a cura di), *Scienziati-artisti*, Napoli 2003.

[2] Sul tema delle carceri cfr. *Gli impianti per la sicurezza e la salute pubblica*, in A. Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario* Napoli 1992.

[3]Archivio di Stato di Napoli (d'ora in poi asna), *Direzione generale di ponti e strade, prima numerazione*, 352/700.

[4] Sui passaggi di proprietà cfr. il recente studio realizzato in occasione dell'inaugurazione del castello come sede del Museo Archeologico del Sannio Caudino, Ministero per i Beni e le Attività Culturali, *Museo Archeologico Nazionale del Sannio Caudino*, Avellino 2007.

[5] asna, *Consiglio ordinario di Stato, protocolli,* 912.

[6] asna, *Direzione generale di ponti e strade, prima numerazione*, 2196/11474.

[7] asna, *Direzione generale di ponti e strade, prima numerazione*, 2124/10795.

[8] *Ibidem.*

[9] ASNA, *Consiglio ordinario di Stato, protocolli*, 917.

[10] ASNA, *Direzione generale di ponti e strade, prima numerazione*, 2124/12063.

[11] ASNA, *Archivio Poerio Pironti, parte terza*, 7, inc. V/16.

[12] ASNA, *Archivio Poerio Pironti, parte terza*, *4*, inc. Id, c. 1.

Stefano Poli

Ignazio Gardella sr. e le 'terrazze di marmo' a Genova

La vicenda della Strada Carlo Alberto a Genova è emblematica di un complesso quanto sperimentale processo di rinnovo della città ottocentesca, in cui il governo sabaudo assume un ruolo determinante accanto agli organi amministrativi genovesi, sempre più espressione della borghesia emergente. Nonostante l'iniziale diffidenza verso il potere piemontese, ingegneri e architetti, rappresentanti del ceto mercantile e imprese di costruzione furono protagonisti di una crescente trasformazione sociale e urbana[1]. Nel Regno di Sardegna la richiesta di efficienti infrastrutture fu soddisfatta da apparati tecnocratici di origine francese, al contempo strumento e oggetto di una strategia di produzione del consenso rivolta alle componenti più dinamiche della società: le *élites* tecniche in particolare assumono un ruolo centrale nelle politiche territoriali degli stati restaurati, offrendo perizia tecnica e capacità di previsione economica sostenute da una costante attenzione al panorama internazionale[2].

Di fronte alle inedite problematiche sollevate dai grandi cantieri urbani la tradizionale formazione accademica appare inadeguata, sprovvista di strumenti efficaci per gestire i contrasti che spesso oppongono soggetto pubblico, appaltatori e proprietà privata[3]. Il cantiere dei portici di Piazza Caricamento, attrezzatura insieme commerciale e di decoro della Strada Carlo Alberto, si presta a una disamina di diversi aspetti tecnici e gestionali che l'architetto è chiamato a governare, così come la figura di Ignazio Gardella sr. (1803-1867)[4] può essere esemplare di alcuni caratteri della generazione di ingegneri e architetti altrove rappresentata da Carlo Bernardo Mosca, Giovanni Voghera, Luigi Tatti[5].

Erede del sicuro linguaggio architettonico di Carlo Barabino[6], architetto dell'amministrazione dei Forni Civici e della Camera di Commercio[7], nonché autore di diverse opere di ingegneria idraulica e di architettura, Gardella si trova poco più che trentenne a padroneggiare raffinate tecnologie costruttive, aspetti giuridici e calcoli economici: da un lato riceve infatti l'incarico di vigilare sulla corretta esecuzione dei lavori di Piazza Caricamento, dall'altro è perito di parte nella valutazione degli immobili da espropriare[8].

La breve seppur significativa vicenda urbana dei portici di Caricamento, presto nominati 'terrazze di marmo', non è che un aspetto dell'annoso dibattito sorto attorno all'attuazione dell'attraversamento carrabile della città e di una più efficiente rete stradale a servizio del porto: i primi progetti risalgono al periodo napoleonico, mentre nel 1811 Gaetano Cantoni[9] distingue il tracciato in un primo tratto, attestato da ponente fino al ponte Reale, e in un secondo, artico-

lato in due soluzioni alternative di collegamento tra la zona del Portofranco e la Porta dell'Arco, ingresso orientale del nucleo murato. L'una, attuata mediante una strada lungo le mura delle Grazie, lasciava inalterato il tessuto urbano più antico, l'altra lo rinnovava con decisione, lambendo la cattedrale di San Lorenzo, Palazzo Ducale e piazza San Domenico per sovrapporsi infine a via Giulia[10].

Il 22 dicembre 1822 un Regio Brevetto di Carlo Felice affidò l'incarico di progettare la nuova strada a una commissione[11] che, divisa fra i sostenitori dell'una e dell'altra ipotesi, si vide imporre dal Consiglio di Acque e Strade il tracciato interno alla città, osteggiato dalle componenti cittadine, ma sostenuto da Luca Podestà, ispettore di Ponti e Strade, alle dipendenze del quale Gardella, nel 1818, entrava in qualità di volontario nel Genio Civile[12]. Ma nonostante le suppliche presentate al sovrano dai sindaci di Genova perché si realizzasse almeno il primo tratto della carrettiera, soltanto nell'agosto 1835 Carlo Alberto ne ordinò la costruzione secondo il cantoniano percorso "delle piazzette", affidando la gestione dei lavori alla commissione stessa[13].

L'ipotesi di ricavare accanto a Palazzo San Giorgio una piazza dotata di porticati destinata al caricamento delle merci è approvata dalla commissione già nel marzo 1824 e ratificata dal Consiglio di Ponti e Strade il 17 novembre 1825[14]. Tuttavia l'idea originaria di un porticato continuo con botteghe è attribuita all'ingegnere Agostino Chiodo, che nel 1834 propone di disporlo a sud della strada, lungo il perimetro trapezoidale della piazza[15].

La fase operativa ha inizio nell'ottobre 1835, quando la commissione affida a Gardella la progettazione della nuova piazza di Caricamento e la rettificazione del seno di Santa Limbania, per nominarlo nel luglio 1836 architetto addetto all'esecuzione dei lavori[16]. Sebbene la paternità del porticato sia pressoché unanimemente attribuita a entrambi i progettisti, Gardella fornisce una diversa versione quando, riferendosi a una futura pubblicazione afferma: "sarebbe indispensabile tenere il partito che seguì la nuova guida di Genova [...], in cui si attribuisce al Cav.re Chiodo l'idea di massima ed a me la composizione del disegno come ora si ammira, e l'esecuzione [...] sebbene Chiodo abbia nel portico a fare come io ho diritti sull'impero Cinese"[17]. Difficile entrare nel merito delle caustiche affermazioni di Gardella, preoccupato di non indispettire un "pezzo grosso"[18], futuro presidente del Consiglio del Regno di Sardegna. I disegni e i documenti disponibili mostrano come la soluzione definitiva della piazza e del porticato fu elaborata all'interno dello studio di Gardella, che riservò particolare cura alle opere di fondazione, descritte in un manoscritto autografo, probabilmente utilizzato da Federigo Alizeri, autore della *Guida artistica per la città di Genova*[19].

La piazza occupava seimila metri quadrati, due quinti dei quali sottratti alle acque del porto nel tratto compreso tra la Darsena e la Dogana, mentre il porti-

cato, profondo poco più di tredici metri per oltre quattrocento, fronteggiava la palazzata della Ripa con un prospetto scandito da archi su pilastri in pietra e articolato in due corpi rettilinei convergenti. Si apprende dal manoscritto che l'andamento a gomito fu imposto dalle autorità portuali, nel timore che una variazione troppo netta del profilo preesistente generasse, in caso di mareggiata, un pericoloso moto ondoso di reazione.

Il complesso intervento di fondazione, impostato sino a sei metri sotto il livello del mare, impiegò cassoni realizzati fuori opera in legno di pino per il fasciame e di rovere per l'ossatura portante. Resi impermeabili e galleggianti mediante un processo di calafataggio abitualmente utilizzato per le imbarcazioni, furono trasportati via mare e allineati come indicato da appositi disegni (fig. 2)[20]. Una volta ancorati e incatenati per mantenere la posizione stabilita ebbe inizio al loro interno la costruzione delle murature, che ne causò il progressivo affondamento su uno zoccolo tufaceo, preventivamente livellato da macchine "cavafango" adibite alla pulizia dei fondali del porto. Le murature di fondazione coprivano l'intera area di nove per quindici metri di ogni cassone per un'altezza di un metro, mentre al di sopra vennero elevati soltanto pilastri e setti portanti principali, colmando gli interstizi con macerie provenienti dalla demolizione delle antiche "muragliette" che fortificavano la città. L'altezza delle

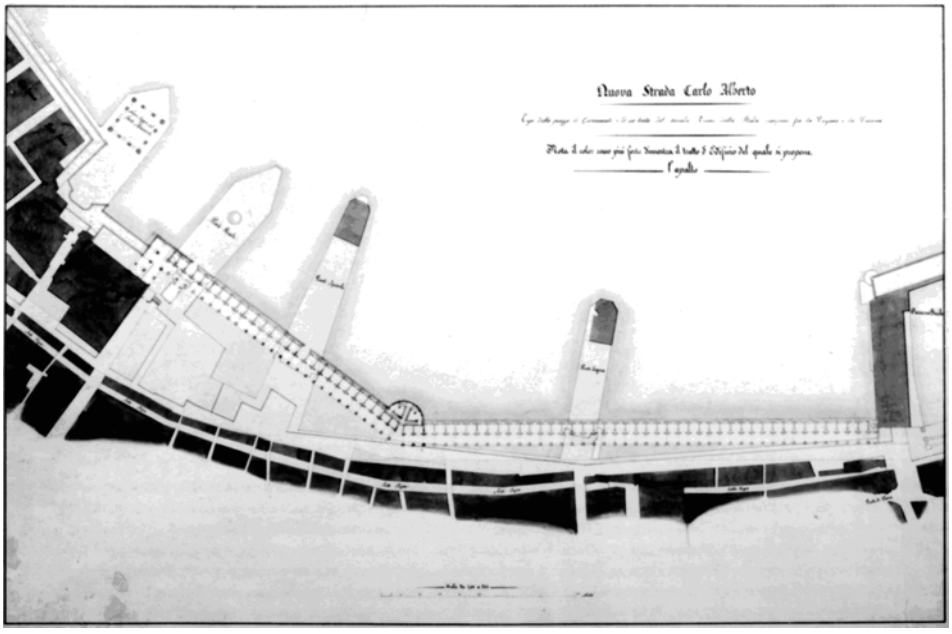


Fig. 1 – Ignazio Gardella, Portici di Caricamento, (1835-1844), "Nuova Strada Carlo Alberto: tipo della piazza della piazza di Caricamento e di un tratto del secondo tronco della Strada compreso fra la Dogana e la Darsena" (ASGO)

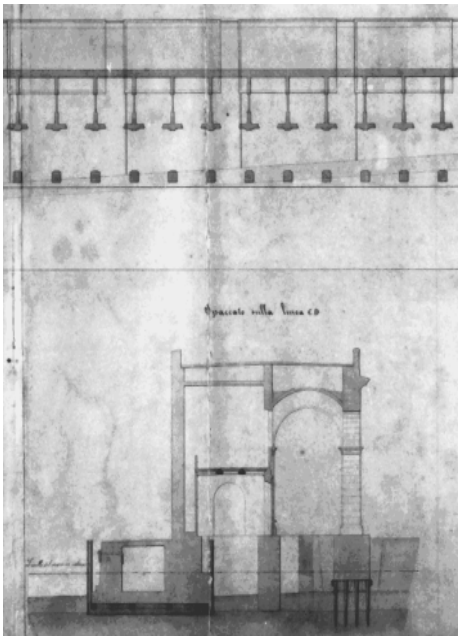


Fig. 2 – Ignazio Gardella, Portici di Caricamento, 1835-44, " Strada Carlo Alberto: Piano e Dettagli del secondo tratto di Porticato con Botteghe e calata dal lato del Porto che deve eseguirsi a compimento del tronco di nuova Strada Carlo Alberto compreso tra la nuova Piazza di Caricamento e la Regia Darsena secondo il progetto approvato. 31 maggio 1838", dettaglio (CCTCG, inv. 1125/5)

sponde superava la profondità delle acque e proteggeva dall'allagamento le strutture, sopra le quali si continuò ad erigere l'edificio. Fra un cassone e l'altro correvano dei corridoi cavi che, una volta isolati con doppie paratie impermeabili di palitavole, furono prosciugati per ospitare le murature di collegamento fra le varie sezioni della fondazione.

La costruzione fu frazionata in due lotti: il primo, affidato all'impresa di Gio Batta Vassallo nell'ottobre 1836[21], correva dalla Dogana al torrione centrale, da cui si dipartiva il secondo, affidato nel 1839 all'impresario Vitale Rosazza e delimitato a ovest dalla Darsena. Nei rapporti sullo stato dei lavori, che Gardella compilò con cadenza bimestrale, numerose lagnanze sono dovute alle inadempienze e ai ritardi di Vassallo, che a sua volta presentò ricorso contro i tempi di consegna previsti dall'appalto. La vicenda si concluse con l'esonero dell'impresa dal terminare i lavori di copertura dell'edificio[22]. Avvezzo alla gestione di grandi infrastrutture, Gardella, in un manoscritto lasciato al figlio Jacopo, si fece latore di istanze di razionalizzazione degli appalti, che paiono precorrere le odierne normative volte a ridurre la conflittualità fra i soggetti coinvolti nel processo: se l'analisi dei prezzi, "ossia il dettaglio, che indica il modo seguito per dedurre il prezzo d'unità" è giudicata indispensabile, deve però "assolutamente tralasciarsi nelle Perizie di opere d'appaltarsi, e che debbono conseguentemente passare alle mani degli Appaltatori; giacché è dimostrato, (sebbene abbiasi sempre l'avvertenza di dichiarare, nelle condizioni d'appalto, che la Perizia non fa in guisa alcuna parte del Contratto) [... che giovansi gli appaltatori di queste medesime Analisi, per inalberare questioni, e dimande d'aumenti, e compensi, e da ciò procedono lunghissime liti, che portan ben sovente l'interruzione, ed il danno delle opere"[23].

Nonostante i ritardi, l'edificio fu collaudato nel 1844: zoccoli e lesene in pietra verde della riviera occidentale, pilastri, capitelli e arcate in marmo rosa di

Nizza reggevano una copertura piana lastricata in marmo bianco di Carrara che, aperta al pubblico, consentiva una vista del tutto inedita sul porto e sulla città[24]. Pensato per soddisfare al contempo esigenze mercantili[25], di decoro urbano e di prestigio nazionale, manteneva altresì una debole funzione difensiva[26], che non verrà reintegrata dopo la demolizione decisa nel 1883. Le imponenti terrazze di marmo furono tra le opere che valsero all'autore la prestigiosa nomina a membro onorario e corrispondente estero del Royal Institute of British Architects di Londra[27].

Ma come Gardella aveva potuto maturare una tanto raffinata padronanza delle tecniche costruttive? I luoghi della sua formazione furono tre: l'Università di Genova; la precoce militanza nei ranghi del Genio Civile; la biblioteca personale.

I corsi universitari, fondati eminentemente sulle matematiche e poveri di momenti applicativi[28], gli fornirono l'alfabeto scientifico necessario a proseguire autonomamente lo studio della "scienza dell'ingegnere", sperimentata del resto direttamente sul campo, nei cantieri stradali della valle Scrivia e in diversi interventi in città[29].

La biblioteca di Gardella contava non meno di trecento volumi, tra cui si distingue un folto gruppo di testi a carattere scientifico, manuali di ingegneria, di idraulica, di architettura civile, alcuni dei quali in uso all'Università[30], ma per lo più frutto di una personale ricerca di aggiornamento e perfezionamento. Ulteriore conferma del peso della cultura scientifica e tecnica francese[31], in questi libri si trovano descritte alcune applicazioni tecniche sperimentate dall'architetto, di cui risulta così possibile tracciare con buona approssimazione la provenienza.

In altre parole pare plausibile supporre che le scelte costruttive adottate da Gardella siano il frutto di una ricerca maturata e costantemente aggiornata sui testi della biblioteca, e non soltanto il portato di nozioni apprese *ex cathedra* o per via sperimentale: nei casi più fortunati questo legame è comprovato direttamente da citazioni o appunti presenti in due volumi manoscritti, in altre occasioni da rarissime annotazioni a margine dei testi.

In particolare le fondazioni subacquee, applicate ai piloni dei ponti in muratura, sono ampiamente descritte dalla manualistica francese: Jean Rondelet ne attribuisce l'ideazione all'ingegnere svizzero Charles Labélye, autore nel 1738-50 del ponte di Westminster a Londra, mentre la bibliografia ne segue il continuo perfezionamento attraverso l'opera di Bernard Forest de Bélidor, Jean Rodolphe Perronet, Jaques François Blondel, Jean de Voglie, Louis Alexandre de Cessart, Jaques-Elie de Lamblardie e Joseph Mathieu Sganzin[32]. Il ponte di Saumur (1757-70) di Cessart e gli interventi al porto di Tolone (1748) sono le opere più citate e rappresentate. Ma la tecnica di fondazione con cassoni è declinata in molteplici varianti e con dovizia di particolari anche da Nicola Cavalieri San Bertolo, in seguito assertore *Del primato italiano*

nella scienza idraulica[33]. Infine la si trova descritta con minuzia in un manoscritto di Gardella, corredato da alcuni disegni[34].

Naturalmente le terrazze di marmo non sono che una delle opere per cui è possibile documentare una personale bibliografia tecnica dell'autore. Nel 1861 Gardella redige un dettagliato progetto di restauro della volta del salone del Maggior Consiglio e della copertura di Palazzo Ducale[35], in cui sostituisce gli ormai logori arconi in muratura di Simone Cantoni con una struttura a capriate metalliche Polonceau, dal nome del noto ingegnere francese che le sperimentò circa dieci anni prima[36]. La nuova orditura raggiungeva lo scopo di neutralizzare le spinte orizzontali trasmesse dalla copertura alle pareti perimetrali dell'edificio.

Anche in questo caso è possibile supporre che Gardella si fosse giovato della biblioteca, dove fra i numerosi testi dedicati all'"arte della costruzione" tuttora si conservano diversi numeri del "Giornale dell'Ingegnere-Architetto e Agronomo", e una copia del trattato di Léonce Reynaud dove sono riprodotte le capriate Polonceau utilizzate per la copertura della stazione di Parigi, a Lione, e della stazione St. Germain nella capitale francese[37]. In entrambi i casi un disegno d'insieme è corredato da dettagli dei nodi strutturali del tutto simili, persino nella veste grafica e nel grado di definizione, a quelli disegnati dall'ingegnere genovese[38].

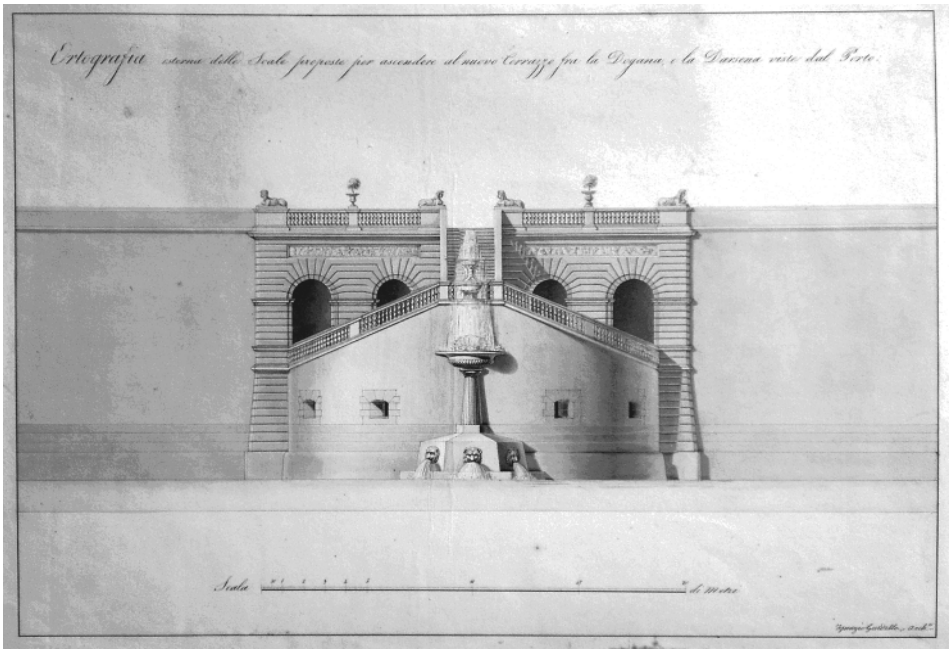


Fig. 3 – Ignazio Gardella, Portici di Caricamento, 1835-44, "Ortografia esterna delle scale proposte per ascendere al nuovo Terrazzo fra la Dogana e la Darsena viste dal Porto" (ASGO)

D'altro canto per Gardella il costante ricorso ai libri non è limitato all'aggiornamento disciplinare, ma risponde a esigenze culturali diversificate e non settoriali: collezionista di stampe, dipinti moderni, arredi e sculture, esibisce in due volumi manoscritti una meticolosa bibliofilia, testimoniata da innumerevoli citazioni, e apre il salotto di casa a personaggi di spicco della cultura locale, quali Emanuele Celesia, Federico Alizeri, Santo Varni, Giovanni Battista Cevasco. La biblioteca appare dunque "parte di una strategia che vede questo ingegnere architetto acquisire in breve tempo una posizione di rilievo nei circoli dell'aristocrazia e dell'alta borghesia professionale e finanziaria genovese"[39].

[1] Per una puntale analisi della storia della carrettiera Carlo Alberto cfr: di L. STEFANI, *Rinnovo urbano nella prima metà dell'Ottocento: la carrettiera Carlo Alberto, a Genova*, «Storia urbana», IX, 1985, 31, pp. 79-114; M. BARTOLETTI, *Carrettabile Carlo Alberto*, in *Medioevo demolito Genova 1860 – 1940*, a cura di C. Dufour Bozzo e M. Marcenaro, II voll., Genova, Pirella, 1990, vol. II, pp. 209-218.

[2] Con la Restaurazione diverse strutture e apparati amministrativi vengono ereditati con poche modifiche dallo stato sabaudo. Cfr.: P. VOLORIO, *L'organizzazione del servizio di acque e strade in Piemonte nel periodo della Restaurazione. Legislazione, strutture, figure*, in *La cultura architettonica nell'età della Restaurazione*, Atti del convegno (Milano ottobre 2001), a cura di G. Ricci e G. D'Amia, Milano, Mimesis, 2002, pp. 127-134; P. Morachiello, *Ingegneri e territorio nell'età della Destra (1860-1875). Dal Canale Cavour all'Agro Romano*, Roma, Officina Edizioni, 1976; *Le macchine imperfette Architettura, programma, istituzioni nel XIX secolo*, a cura di P. Morachiello e G. Teyssot, Roma, Officina Edizioni, 1980. In particolare Carlo Bertelli, ha calato il fenomeno nella realtà genovese: C. BERTELLI, *Culture locali e modelli internazionali*, in *Nove opere del Porto Vecchio la costruzione del porto di Genova tra Otto e Novecento*, catalogo della mostra, (Genova 23 novembre-13 dicembre 1987), Genova, Sagep, 1987, pp. 17-22.

[3] A Genova il fenomeno è accompagnato dalla progressiva perdita di identità del percorso formativo dell'architetto rispetto a quello dell'ingegnere idraulico e civile: P. CEVINI, *Formazione e ruolo professionale dell'architetto a Genova tra bottega e scuola*, «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura Genuensia Varia», 1998, 1, pp. 69-86.

[4] Gardella ottiene la patente di Ingegnere civile e idraulico il 29 luglio 1824. Nel documento la Deputazione agli Studi della Regia Università di Genova concede la facoltà di proseguire l'esercizio della professione di architetto civile e idraulico. Si era formato seguendo corsi di aritmetica, algebra, trigonometria, geometria del Collegio Reale e dell'Università e "a bottega" presso lo studio dell'architetto ticinese Ippolito Cremona. Da un manoscritto del figlio Jacopo si apprende inoltre che frequentò la scuola di Ornato e di Architettura dell'Accademia Ligustica di Belle Arti, seguendo i corsi di Carlo Barabino e Michele Canzio, e nel 1818 entrò volontario nel corpo del Genio Civile. Cfr. J. Gardella sr., "Ricordi intorno alla vita dell'ingegnere Architetto civile ed Idraulico Ignazio Gardella Cavaliere dell'ordine dei SS. Maurizio e Lazzaro, Professore emerito dell'Accademia Ligustica di Belle Arti, Professore Onorario di Architettura dell'Accademia Fiorentina delle Belle Arti, membro Onorario e Corrispondente del Reale Istituto Britannico degli Ingegneri Architetti", 15 febbraio 1919, ARCHIVIO STORICO GARDELLA, OLEGGIO, d'ora in poi ASGO, *Jacopo Gardella (1845-1923)*. Un recente studio sulla dinastia di ingegneri e architetti Gardella è dovuto a: M. ROSSO, *Gardella prima di*

Gardella: tracce per una genealogia di architetti ingegneri tra Genova, Alessandria e Milano, in *Ignazio Gardella architetto 1905-1999. Costruire le modernità*, a cura di M. Casamonti, Milano, Electa, 2006, pp. 67-87.

[5] S. DELLA TORRE, *Architetto e ingegnere: Luigi Tatti (1808-1881)*, Milano, Franco Angeli, 1989; *Carlo Bernardo Mosca (1792-1867). Un ingegnere architetto tra Illuminismo e Restaurazione*, a cura di V. Comoli Mandracci, L. Guardamagna, M. Viglino Davico, Milano, Guerini, 1997; *L'architetto Luigi Voghera e il suo tempo*, Atti del seminario di studio organizzato dal Dipartimento di Conservazione delle Risorse Architettoniche e Ambientali del Politecnico di Milano, dall'Assessorato alla cultura della Provincia di Cremona e dall'Archivio di Stato di Cremona, a cura di L. Roncai, Milano, Franco Angeli, 1990.

[6] Gardella, definito da Emmina De Negri "il discepolo insieme più fedele e originale del Barabino", riconobbe esplicitamente il magistero dell'architetto di città, ricordato nel secondo volume di un suo manoscritto. ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*; E. DE NEGRI, *Ottocento e rinnovamento urbano. Carlo Barabino*, Genova, Sagep, 1977, p. 168.

[7] La nomina è riportata nel verbale della seduta dell'Ufficio Provveditori del 4 febbraio 1830, ora in ARCHIVIO STORICO DEL COMUNE DI GENOVA, *Amministrazione Municipale sotto il Governo Piemontese (Amministrazione Decurionale)*, 467, 1828-1831, p. 49-50. Gardella succede a Nicolò Laverneda quale architetto della Camera di Commercio incaricato del servizio del Portofranco. Lettera dell'Ufficio della Camera di Commercio, 21 luglio 1830, ora in ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1807)*.

[8] Sono nominati periti, oltre a Gardella, Ippolito Cremona e Angelo Scaniglia. Cfr. L. STEFANI, *Rinnovo urbano*, cit, p. 100. L'autrice accenna inoltre alla figura dell'"Invigilatore Principale".

[9] Gaetano Cantoni è architetto della città dal 29 gennaio 1812 al 1818, quando la carica passerà a Carlo Barabino. N. OSSANNA CAVADINI, *Simone Cantoni architetto*, Milano, Electa, 2003, pp. 31-32.

[10] Un recente inquadramento nelle vicende urbane di Genova è disponibile in: B. GIONTONI, F. BALLETTI, *Genova: territorio e società tra antico regime ed età moderna*, Genova, De Ferrari, 2002, pp. 242-265.

[11] La commissione è presieduta dal governatore della Divisione di Genova e composta dai due sindaci della città, dall'intendente generale, dal vice presidente della Camera di Commercio, dal direttore dei Lavori Marittimi, dal direttore del Genio Militare e dall'ispettore di Ponti e Strade.

[12] La notizia è tratta da un breve testo autobiografico manoscritto, in ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*.

[13] Il 18 novembre 1831, i sindaci chiedono al re quantomeno la realizzazione del tratto compreso tra porta San Tommaso e il Porto Franco. ARCHIVIO DI STATO DI TORINO, d'ora in poi AST, *paesi per A e B*, mazzo 11, fasc. 18.

[14] COLLEZIONE CARTOGRAFICA E TOPOGRAFICA DEL COMUNE DI GENOVA, d'ora in poi CCTCG, inv. 1125/6.

[15] Il disegno firmato da Chiodo è datato 2 Aprile 1834 (CCTCG, inv. 1121/16) e riprodotto in: *Nove opere del Porto...*, cit, p. 59; B. GIONTONI, F. BALLETTI, *Genova...*, cit, p. 249. Il 15 giugno 1834 un disegno anonimo (CCTCG, inv. 1121/10) riprodotto in: *Ripa porta di Genova*, a cura di E. Poleggi, Genova, Sagep, 1993, p. 29) raffigura un porticato molto simile alla versione realizzata, ma privo del torrione circolare che, ancora assente in una litografia di Ponthenier del 1835 (CCTCG, inv. 1125/1), compare invece in un disegno datato 8 gennaio 1838 firmato da Agostino Chiodo in qualità di "Colonnello del Genio" (CCTCG, inv. 1121/11). Due disegni di studio della zona del porticato, uno

dei quali firmato da Carlo Cecchi, collaboratore di Gardella, raffigurano la versione con torrione, ma sono privi di data: ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*. Tra le fonti contemporanee cfr.: *Genova e le due riviere. Descrizione di Giuseppe Banchero...*, Genova, Pellas, 1846, pp. 689-692; *Descrizione di Genova e del Genovesato*, III voll., Genova, Tipografia Ferrando, 1846, vol. III, p. 262.

[16] L'incarico per la progettazione è conferito il 12 ottobre 1835. "Registro delle adunanze della Commissione creata con Regio Brevetto del 27 dicembre 1822 per il Progetto di una nuova strada Carrozzabile nell'interno della città di Genova", Archivio Storico del Comune di Genova, d'ora in poi ASCG, *Amministrazione Decurionale*, 1170.

[17] Lettera di Ignazio Gardella a Santo Varni, datata 10 Novembre 1846, oggi in Archivio dell'Accademia Ligustica di Belle Arti , *Lettere di Architetti 1837 – 1875, Santo Varni*, filza 26

[18] *Ibidem*.

[19] Il manoscritto è datato 25 maggio 1841 e contiene diversi passi identici al testo pubblicato da Alizeri, che scrive a Gardella il 23 e il 30 giugno 1846 per ottenere informazioni sui portici, dei quali riceve i disegni. ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*. Cfr.: *Guida artistica per la città di Genova dell'avvocato Federigo Alizeri*, III voll., Genova, Grondona, 1846, vol. II, pp. 258-264.

[20] Prima dell'esecuzione furono costruiti modelli in scala, come risulterebbe dalla richiesta di restituzione di un "modellino in legno delle casse state impiantate per l'opera suddetta" avanzata l'8 aprile 1846 dall'impresario Vassallo. ASCG, *Amministrazione Decurionale*, 1173, n 422.

[21] Lettera di Ignazio Gardella, 16 febbraio 1837, ASCG, *Amministrazione Decurionale*, 1177

[22] ASCG, *Amministrazione Decurionale*, 1179.

[23] ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*. Cfr.: G. Foscari, *Un contributo al dibattito sulle opere pubbliche nella prima metà dell'Ottocento: l'ingegnere Antonio Maturi*, in *Storia dell'ingegneria*, Atti del 1° Convegno Nazionale, (Napoli, 8-9 marzo 2006), a cura di A. Buccaro, G. Fabbricatore, L. M. Papa, II voll., Napoli, Cuzzolin, 2006, vol. II, pp. 927-944.

[24] L'ultimo lotto di lavori viene collaudato nel luglio 1844. Documento del 20 agosto 1844, ASCG, *Amministrazione Decurionale*, 1177. Ippolito Caffi, e Carlo Bossoli ci restituiscono in due vedute l'immagine dell'opera: Cfr.: E. Poleggi (a cura di), *Ripa porta di Genova*, cit., p. 29; B. Giontoni, F. Balletti, *Genova*, cit., p. 256.

[25] Erano destinate a depositi e botteghe, le cui vetrine dovevano uniformarsi al modello descritto in una tavola del 4 marzo 1842, CCTCG, inv. 1125/36.

[26] Cfr. L. Stefani, *Storia e conservazione della città. Lo spazio del Molo Vecchio a Genova*, Tesi di dottorato, Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura, Milano, 1988, p. 150.

[27] Furono membri italiani del RIBA Rodolfo Vantini, Giovanni Antonio Antolini, Pietro Selvatico. Cfr. Royal Institute of British Architects, *List of Members; The Report of the Council...*, London, 1860, p. 10.

[28] Cfr. *Storia della Università di Genova dal 1814 fino a' di nostri per Emanuele Celesia*, Genova, Sordo-Muti, 1867; C. Sanguineti, *I corsi per architetti ed ingegneri presso la Regia Università di Genova (1816-59)*, in *La cultura architettonica nell'età della Restaurazione*, cit., pp. 211-223; P. Cevini, *Formazione e ruolo professionale...*, cit.

[29] Nel 1821 lavora alla strada vicinale detta di Bravacini, nel territorio di San Martino d'Albaro: CCTCG, inv. 1122/76; nel 1828 è impegnato nel tracciamento della strada da Busalla a Montoggio:

ASG, *Fondo Cartografico*, Busalla, 7, n. 136 (B.2) e Montoggio, 2, n. 693 (B.12); nel 1829 esegue rilievi nella valle del Bisagno: CCTCG, inv. 1122/17; nel 1834 lavora in qualità di architetto civile ed idraulico della Camera di Commercio all'acquedotto cittadino: CCTCG, inv. 3608.

[30] Cfr. C. SANGUINETI, *I corsi per architetti*, cit, pp. 211-223.

[31] Su un totale di circa trecento testi inventariati, novanta sono di autori francesi, spesso in edizione originale. La proporzione si fa ancor più netta per i testi di carattere scientifico e tecnico, con quarantacinque titoli francesi su un totale di sessantadue. ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*.

[32] G. RONDELET, *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare...*, V voll., Mantova, L. Caranenti, 1831, vol. IV, p. 99. Fra gli altri Gardella possedeva: L. XIMENES, *Della fisica riduzione della Maremma Senese...*, Firenze, F. Moucke, 1769; J. R. PERRONET, *Description des projets et de la construction des ponts de Neuilly, de Mantes...*, Paris, Imprimerie Royale, 1782; J. E. DE LAMBLARDIE, *Memoires sur les cotes de la haute Normandie...*, Havre, P. Faure, 1789; J. M. SGANZIN, *Programma o sunti delle lezioni di un corso di costruzione...*, Milano, G. Truffi, 1832; Bernard Forest de Belidor, *La scienza degli ingegneri nella direzione delle opere di fortificazione e d'architettura civile...*, Milano, G. Truffi, 1832; J. A. BORGNIS, *Traité elementaire de construction appliqués à l'architecture civile...*, Bruxelles, Meline, 1840.

[32] ASCG, *Amministrazione Decurionale*, 1179.

[33] N. CAVALIERI SAN BERTOLO, *Del primato italiano nella scienza idraulica...*, Roma, Tipografia delle Belle Arti, 1863; N. CAVALIERI SAN BERTOLO, *Istituzioni di Architettura Statica e Idraulica...*, Mantova, Negretti, 1831.

[34] ASGO, *Ignazio Gardella (1803-1867)*.

[35]In qualità di ingegnere di II classe in servizio presso l'Ufficio dei Fabbricati Governativi di Genova, Gardella aveva provveduto d'urgenza a mettere in sicurezza la volta del salone, dalla quale erano caduti spessi strati d'intonaco nell'ottobre 1859. Resosi conto dello stato di precarietà in cui versavano la strutture, aveva poi ordinato la puntellatura della facciata cantoniana, proponendo un progetto di restauro, in seguito approvato. La vicenda è oggetto di una ricerca tuttora in corso presso l'Archivio Gardella. Per una descrizione dell'intervento realizzato cfr: A. BUTI, G. V. GALLIANI, *Il Palazzo Ducale di Genova: il concorso del 1777 e l'intervento di Simone Cantoni*, Genova, Sagep, pp. 15-19, 26, 47-53, 79-87; G. SPALLA, C. A. SPALLA, *Il Palazzo Ducale di Genova: dalle origini al restauro del 1992*, Genova, Sagep, 1992, pp. 94-96. I testi contengono ulteriori riferimenti bibliografici.

[36] La più nota applicazione della capriata Polonceau, sperimentata nella seconda metà degli anni Trenta in costruzioni ferroviarie, ebbe luogo nelle *halles* della stazione St. Lazar di Parigi, nel 1846-48.

[37] Il "Giornale dell'ingegnere-architetto e agronomo" fu fondato dal genovese Raffaele Pareto nel 1853 L. REYNAUD, *Traité d'architecture contenant des notions générales sur les principes de la construction et sur l'histoire de l'art...*, Paris, Carilian-Goeury et V. Dalmont éditeurs, 1850.

[38] ARCHIVIO DI STATO DI GENOVA, *Fondo cartografico*, Genova, 100 bis, n.[i] 509-514 (B.9).

[39] Cfr. M. ROSSO, *Gardella prima di Gardella*, cit., p. 68.

SERENA PESENTI

Raffaele Pareto (1812-1882). Il contributo al dibattito sull'arte e il restauro nella cultura italiana del secondo Ottocento

Premessa

Esperto in ingegneria idraulica, ma anche personaggio dotato di notevole apertura verso il più ampio panorama della cultura del suo tempo, Raffaele Pareto (padre del più noto Vilfredo, economista e sociologo), oltre ad esperienze che lo vedono attivo in Francia e poi in Italia con ruoli di rilievo nel campo dei lavori pubblici, in particolare per opere di bonifica, dal 1860 al 1867 è chiamato alla direzione del "Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo". Nella rivista, orientata alla diffusione delle conoscenze tecnologiche per il progresso civile ed economico della società, insieme a scritti su argomenti strettamente attinenti a questioni di ingegneria, egli affronta in numerosi articoli anche temi riguardanti la storia dell'arte e dell'architettura. Tra l'altro, è da ricordare come proprio dalle pagine del "Giornale" Pareto presenti in Italia il pensiero di Ruskin sul restauro, attraverso la traduzione di un articolo dell'architetto inglese Edmund Street[1], andando con questo contributo a completare il quadro delle tesi disciplinari che nell'Europa del secondo Ottocento connotano la cultura del restauro. Il presente contributo è teso a delineare alcuni aspetti essenziali del suo originale apporto al dibattito sui temi dell'arte e del restauro[2].

Note per una biografia

Il carattere e la formazione del personaggio impongono di soffermarsi, sia pure brevemente, sugli essenziali passaggi della biografia che di Raffaele Pareto mostrano lo spessore di un intellettuale ben al di là della figura di ingegnere di formazione umanistica del suo tempo. Di famiglia nobile, egli nacque a Genova il 28 luglio 1812 da Benedetto Pareto e Maria Aurelia Spinola[3]. Dopo aver seguito gli studi all'Accademia Ligustica di Genova, entrò cadetto nel corpo reale del Genio a Torino. Simpatizzante di Mazzini, dopo gli avvenimenti politici del 1831-33 emigrò in Francia ove, trovandosi in ristrettezze economiche, si adattò all'umile lavoro di verniciatore, pur mantenendo nelle serate libere le consuetudini sociali e intellettuali cui era abituato in patria, con la frequentazione dei salotti aristocratici, in particolare quello di Cristina Trivulzio Belgiojoso. Fu proprio dalle amicizie scaturite in questo ambiente durante l'esilio - come riportano alcune note biografiche[4] - che ricevette l'aiuto per trovare i mezzi di sussistenza con una attività più consona alla sua preparazione e al suo rango, al punto che di lì a poco sarà impegnato come tecnico nelle opere di bonifica nella regione della Sologne[5].

La stima e la considerazione guadagnate come esperto di idraulica lo portarono ad assumere ruoli di prestigio nell'apparato statale francese (nel 1850 divenne membro onorario del Lycée des Arts, Sciences, Belles Lettres et Industries di Parigi) e furono anche tali da consentirgli nel 1851 di pubblicare nella serie dell' *Enciclopedie Roret* una trattazione in due volumi sulle opere di bonifica, successivamente tradotti anche in Italia da Angelo Parrocchetti[6].

Rientrato in patria, probabilmente tra il 1852 e il 1853[7], dopo un breve periodo in cui insegnò francese alla Scuola di Marina di Genova e quindi agricoltura e contabilità all'istituto Leardi di Casale Monferrato, grazie al discreto aiuto degli illustri colleghi ingegneri idraulici Pietro Paleocapa, Elia Lombardini, ed al ministro Quintino Sella (tra l'altro anch'egli ingegnere), nel 1861 ricevette per decreto reale la laurea in ingegneria *ad honorem*. Il titolo fu premessa per l'importante carriera amministrativa, al Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio prima, come reggente di divisione, poi come direttore, infine come membro del Consiglio generale di bonificazione e irrigazione. Quando il settore relativo alle bonifiche passò al Ministero dei Lavori pubblici passò al ruolo ispettore nel Corpo reale del Genio civile e membro del Consiglio superiore dei Lavori pubblici[8].

Numerosi sono i suoi scritti, che spaziano dalle materie più attinenti all'ingegneria fino a quelle artistiche nel "Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo", che diresse dal 1860 al 1867[9] e nel "Giornale del genio Civile", della cui redazione fece parte dal 1873[10], anno in cui fu nominato membro dell'accademia dei Lincei[11]. Alla fine degli anni settanta si dedicò anche all'impegnativo lavoro di pubblicazione della *Enciclopedia delle Arti e Industrie* (insieme a Giovanni Sacheri), stampata a Torino dal 1878[12]. Spostatosi da Torino a Firenze nel 1864 e poi a Roma per assolvere ai propri incarichi nell'amministrazione centrale dello Stato, morì nella capitale il 28 aprile 1882[13].

Pareto e il "Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo"

La collaborazione di Pareto alla rivista data a partire dal febbraio 1857, con tre articoli di carattere tecnico o scientifico[14], seguiti nel mese di dicembre dal testo sul tema *Dello stile barocco nei fabbricati e nei monumenti della città di Genova*[15] che, in parallelo, segna da parte sua l'inizio della pubblicazione di argomenti di tema storico e artistico[16]. Come in diverse occasioni lo stesso Pareto conferma, l'interesse per le belle arti e l'architettura in particolare sono raro momento di 'svago' dall'intenso impegno di ingegnere. A sue personali qualità artistiche, addirittura, oltre che di apprezzato cultore d'arte, fece cenno il socio linceo Betocchi, che lo definì non solo "distinto idraulico", ma pure "artista distintissimo, avendo ricevuto dalla natura un senso squisito per tutto ciò che alle belle arti si riferisce. E quindi non solo disegnava con somma franchezza e con molto gusto tutto ciò che appartiene alla professione dell'ingegne-

re; ma di più trattava il paesaggio e la figura molto abilmente; modellava in cera, in creta; gettava in bronzo e cesellava con molta grazia: in breve ricordava gli artisti dello stampo di Michelangelo ai quali nulla era estraneo"[17]. Le sue cognizioni in materia artistica gli derivavano poi, oltre che dal lungo soggiorno francese[18], anche dai molti viaggi fatti all'estero, in Russia e in estremo oriente[19]. E'dunque probabile che al soggiorno a San Pietroburgo sia da ascrivere anche l'apprezzamento per l'architettura di Giacomo Quarenghi, del quale tra i primi in Italia, oltre al figlio di questi, Giulio, tracciò un profilo biografico[20]. In quell'occasione non aveva mancato di sottolinearne la statura artistica, e di cogliere l'occasione per invitare gli architetti italiani a ispirarsi al suo lavoro per uscire dalle secche della confusione culturale dell'architettura di quel tempo in Italia.

Spirito schietto e ironico, con uno sguardo ampio che supera i limitati confini della cultura italiana, Pareto non ebbe timore di notarne anche i limiti provinciali, i pregiudizi, talvolta le ambiguità[21], tuttavia sempre con lo spirito costruttivo di chi desidera promuovere il progresso culturale, economico e industriale della società, - in ordine alla fiducia tutta ottocentesca nel "progresso che volando com'aquila mai non sosta"[22]. Entro questo ambito è da intendere la sua mentalità, in piena consonanza con la tradizione del "Giornale dell'ingegnere Architetto e Agronomo"[23], come affermò nel suo primo editoriale, quando ne assunse la direzione nel 1860[24].

In quella sede egli si impegnava a migliorare la precedente edizione, sottolineando la necessità di affrontare separatamente, per l'estrema vastità del tema, materie come l'Ingegneria, l'Architettura e l'Agricoltura. Per il rapido progresso scientifico, egli rilevava, la velocità di acquisizione delle conoscenze e degli esiti delle sperimentazioni impediva che i nuovi trattati di ingegneria pubblicati riuscissero a contenere l'aggiornamento di tutte le conoscenze utili all'applicazione pratica. Compito di diffondere le conoscenza più recenti non ancora sistematizzate, ma considerate fondamentali per il progresso sarebbe stato tra i compiti fondamentali della rivista, in piena sintonia con la diffusa esigenza di strumenti informativi sull'applicazione delle conoscenze scientifiche all'economia, all'industria e alla cultura in generale, che giungessero a una ampia platea di lettori[25]. Se da un lato intendeva dedicare estesi approfondimenti all'aspetto tecnico delle costruzioni di ingegneria e di architettura, Pareto sottolineava la necessità di attribuire maggiore attenzione alla parte economica "ancor trasandata, a torto, da qualche ingegnere", aspetto al quale egli riconosceva invece un ruolo determinante, soprattutto in ordine alla programmazione dei lavori[26]. Non pare ininfluente considerare a tale proposito come il Nostro avesse anche una solida competenza in materia, che gli consentì di discettarne alla pari con economisti di rango, come Girolamo Boccardo, che nella presentazione del suo *Dizionario universale di economia politica e di commercio*[27] non

mancò di citare ripetutamente Pareto per i suoi studi di idraulica[28]. A sua volta questi recensì il *Dizionario* di Boccardo in due giornali genovesi, nel 1857[29], mostrando apprezzamento per l'impresa editoriale avviata con lo stesso spirito con il quale due decenni dopo avviò la sua *Enciclopedia*.

Pareto e le sue "Considerazioni" sull'arte e sul restauro

Le idee di Pareto riguardo al significato e alla funzione dell'arte, e dell'architettura in particolare, appaiono chiare e coerentemente collegate alla sua complessiva visione del mondo. Il significato e la funzione delle scienze applicate per il progresso economico e sociale non mancano perciò di trasfondersi nel concetto di architettura come attività utile alla società, entro una idea di arte in sintonia con gli orientamenti della cultura del tempo e quindi riferita al concetto positivo di evoluzione storica, ove con andamento ciclico si succedono momenti di splendore a momenti di decadenza. Con una bella metafora che porta all'immediata evocazione della sua esperienza di ingegnere idraulico, Pareto paragona la storia dell'architettura al bacino di un fiume: "v'è il corso d'acqua principale, i secondarj che vi sboccano, ed alcuni che spariscono nelle sabbie avanti di averlo raggiunto per mischiare alle sue le loro acque"[30].

Nel considerare la situazione dell'architettura egli lamentava che "Se giornalmente inventasi molto dagli ingegneri, poco invece s'inventa dagli architetti in fatto di arte bella; s'imitano più o meno felicemente gli stili ed i fabbricati dei secoli trascorsi e nulla più"[31]. Egli riteneva tuttavia utile "il far conoscere quali stili così si adoperino nei diversi paesi, e quali sieno i metodi di applicarli (…) Ciò potrà insegnare a servirsi di stili che sono banditi dalle Università ed Accademie, e che pure sono richiesti da chi commette il lavoro; potrà ciò altresì inspirar forse disegni ad architetti che conosceranno come varj stili possansi felicemente applicar nelle varie fabbriche". Con questo, riteneva dover assicurare "di essere quanto più eclettico non dando la preferenza piuttosto ad uno stile che ad un altro"[32]. Pareto dunque aderì allo storicismo, assumendone tuttavia i portati in modo autonomo rispetto ai pregiudizi storiografici dei suoi contemporanei. Egli infatti ne portò fino in fondo le dirompenti conseguenze critiche, insite nella relativizzazione del bello enunciata dal Selvatico[33]: se il monumento è un veicolo di conoscenza del passato, e costituisce espressione relativa alla società che l'ha prodotto secondo le mutevoli stagioni culturali della storia, come tale va anche a costituire un anello, un passaggio insopprimibile, della catena degli eventi. Egli ne trae quindi la conseguenza che nessun periodo storico possa essere ignorato, e con atteggiamento rigorosamente 'scientifico' il suo approccio conoscitivo appare svincolato dalla selettività del giudizio di valore storico-artistico; selettività che al contrario induce la storiografia del suo tempo a esaltare alcuni stili storici rispetto ad altri. Ponendosi quindi in contrasto con quanto affermava lo stesso Selvatico, per Pare-

to sono degne di interesse tutte le espressioni artistiche, comprese quelle del periodo barocco[34], ai suoi tempi invece disprezzato in base a un giudizio di valore di tipo storico-artistico, nonché morale, su quell'epoca[35]. Parrebbe in questa lettura quasi preconizzato il metodo di studio che indurrà Riegl a individuare nel "Kunstwollen"[36] il nucleo centrale della comprensione della storia dell'arte, mettendo a frutto appieno la portata del concetto di relatività del bello, che già, come si è visto, si poteva cogliere *in nuce* nel pensiero del Selvatico proprio laddove si affermava che ogni stile è relativo all'epoca che l'ha prodotto[37].

Collegato all'interesse di Pareto verso tutto il panorama storico dell'architettura, fu anche il tentativo di illustrare il patrimonio architettonico italiano, per sopperire alle lacune dovute alla mancanza di documentazione sui monumenti[38]. Egli lamentava infatti la scarsità d'interesse della contemporanea storiografia artistica per una conoscenza rigorosa e documentata dei monumenti italiani, e insieme l'attenzione per il loro restauro. In questo quadro si può leggere la serie di contributi su diverse importanti fabbriche medievali dell'Italia settentrionale, pubblicati nel "Giornale" (alcuni di questi di sua mano, ad es. sul duomo di Casale Monferrato, di Vercelli, ecc.)[39]. Essi si possono considerare in ideale continuità con il progetto di dar corso a una rubrica sui monumenti e sui restauri, annunciato anni addietro, all'inizio della pubblicazione della rivista, quando nel '53 era stata riportata la notizia del decreto per la tutela e la conservazione dei "monumenti della monarchia", emanato dall'impero austro-ungarico. Il progetto di tale rubrica era abortito sul nascere, per le implicazioni antiaustriache che poteva assumere nel clima risorgimentale italiano i significati di monumento e di 'restauro', come emblema dell'identità nazionale contrapposta al dominio imperiale asburgico[40].

In effetti, solo nel 1861 si pubblicò nuovamente un articolo sul restauro architettonico, con l'illustrazione del progetto per la chiesa di S. Maria e Donato a Murano, di Camillo Boito[41]. Ad esso fece seguito nello stesso anno il testo di una conferenza dell'architetto Edmund Street, la cui tesi sul restauro aderiva al pensiero di Ruskin. La conclusione di Pareto, che in qull'occasione presentava e traduceva lo scritto, fu che tali affermazioni erano giustissime, anche se esagerate[42]. Egli peraltro, come osserva Bellini, non approfondiva il discorso, non consentendo di far comprendere "se egli si rendesse conto del fatto che la posizione ruskiniana non potesse essere considerata una semplice radicalizzazione di una tesi attenta all'autenticità, come verrà in seguito strumentalmente affermato nella prevalente storiografia, ma piuttosto il rifiuto totale della possibilità stessa del restauro"[43]. In effetti nella sua ricerca volta a costruire un repertorio di conoscenze sull'architettura italiana pare di cogliere la limitata esigenza che l'opera di restauro sia di sostegno alla lettura dello stile, per quanto possibile nella sua originarietà, secondo un'accezione che ricorda il ri-

pristino "del carattere proprio e nativo", così come tanti anni prima era stata enunciata dal Cattaneo sulle pagine del "Politecnico"[44].

[1] R. PARETO [Traduzione con annotazioni per], GEORGE EDMUND STREET, "Sul restauro degli antichi fabbricati", *Il Giornale dell'ingegnere architetto agronomo* (d'ora in poi GIAA), (Milano), 1861, anno IX, ottobre, pp. 626-635.

[2] Il presente scritto dà conto delle prime anticipazioni di un più ampia ricerca su Pareto che prende le mosse da una 'rilettura' della rivista "Giornale dell'ingegnere Architetto e Agronomo", pubblicata in una rubrica di "TeMa", tra il 1992 e il 1998, per incoraggiamento di Amedeo Bellini, al quale si deve un grato e doveroso ringraziamento anche per lo spunto di interesse verso la figura di Paretio, del quale per primo egli ha individuato lo spessore all'interno del dibattito sul restauro. Tra i suoii numerosi contributi sull'argomento cfr. A. BELLINI, *Tempo del restaurare, tempo del conservare*, in "Recto/Verso", (Milano), apr. 1995, n.1; ID., *Tito Vespasiano Paravicini*, Milano, Guerini, 2000.

[3] Il necrologio di Raffaele Pareto è pubblicato in "Atti della R. Accademia dei Lincei", a. CCLXXIX, 1881-82, serie III, Transunti, vol. VI, Roma, tip. Salvucci, 1882, pp. 214-217; il medesimo testo è trascritto nel necrologio sul "Giornale ligustico di archeologia, storia e letteratura", Genova, a. IX, fasc. VI-VII, pp. 278-281; altra commemorazione è in "Il Politecnico",1882, pp. 434-435. Si vedano inoltre *ad vocem*: A. M. SCORZA, *Le famiglie nobili genovesi* (Genova 1924), rist. anast. Bologna, Forni, 1973, pp. 180-181; A. CAPPELLINI, *Dizionario biografico di genovesi illustri e notabili*, Genova, tip. Stianti –S. Casciano V. P., 1932, p.108; *Il risorgimento italiano. Gli uomini politici*" a c. di F. Ercole, in "Enciclopedia biografica e bibliografica italiana", serie XLII, volume III, Ist. Editoriale Italiano, B.C. Tosi, Roma 1941, p.356; V. SPRETI, *Enciclopedia storico-nobiliare italiana*, vol. V, Milano, Enc. Storico-nobiliare italiana, 1932, pp.138-140; *Dizionario del Risorgimento nazionale. Dalle origini a Roma capitale*, vol. III, "Le persone", Milano, Vallardi, 1933, p. 792-794. Notizie biografiche, in relazione agli studi sul figlio, Vilfredo, sono presenti in G.H. BOUSQUET, *Vilfredo Pareto: sa vie, son* oeuvre, Paris, Payot, 1928; Id., Pareto, 1848-1923, le savant e l'homme, Lausanne, Payot et Cie, 1960, per quanto riguarda la letteratura in lingua francese. Negli studi svolti in Italia si ricordano: *Vilfredo Pareto. Lettere ai Peruzzi*, a c. di T. GIACALONE-MONACO (vol. 2, Roma, ediz di Storia e letteratura, 1968), ove in appendice sono anche riportare le lettere di Raffaele Pareto a Emilia Peruzzi (conservate presso la Biblioteca Nazionale di Firenze), alle pp. 641-649. Cfr. ancora G. BUSINO, *Guida a Pareto*, Milano, Rizzoli, 1975, p.31; V. PARETO, *Lettere ad Arturo Linaker* (*1885-1923)*, a c. di M. Luchetti, Roma, ediz. di Storia e Letteratura, 1972, pp.189-191. Per notizie sui rapporti familiari di R. P., si segnalano, tra le fonti di più recente acquisizione il *Fondo Vilfredo Pareto* della Banca Popolare di Sondrio (1899-1919) che contiene anche carteggi familiari. Le lettere sono commentate anche su "*Paretiana"*, rubrica del "Notiziario della Banca Popolare di Sondrio", Sondrio (1997-) negli articoli di PIER CARLO DELLA FERRERA, *Un uomo e le sue lettere*, n.74, agosto 1997, pagg.193-196 e *Lettere famigliari di Vilfredo Pareto*, n.79, aprile 1999, pagg. 154-159 e di Alessandro Melazzini, *La giovinezza e gli studi di Vilfredo Pareto*, n. 80, agosto 1999, pagg. 158-161.

[4] Precisazioni sull'attività svolta da Pareto nel primo periodo dell'esilio è riportata da diversi autori, ma l'anneddotica più colorita e affettuosa è nei ricordi di scuola di Augusto Vittorio Vecchi, che fu allievo di Pareto nella Scuola di Marina di Genova nel 1859. Cfr JACK LA BOLINA (A. V. VECCHI), *Al servizio del mare italiano*, Torino, Paravia, 1928, pp.79-82. Si veda inoltre *Dizionario del Risorgimento nazionale. Dalle origini a Roma capitale*, vol. III, "Le persone", Milano, Vallardi, 1933, p. 793 (qui si afferma che Vecchi fu allievo nel 1857 e non nel 1859); T. GIACALONE-MONACO, *cit.*, vol.2, p. 642.

[5] T. GIACALONE-MONACO in *Vilfredo Pareto. Lettere ai Peruzzi*, a c. di T. GIACALONE-MONACO , vol. 2, Roma, ediz di Storia e Letteratura, 1968, p. 642. Notizie tutte da verificare, nell'edizione francese di

Wikipédia, *ad vocem*¸riferiscono che inizialmente Pareto fu incaricato di studiare la costruzione di un canale nella Sologne per conto di una società privata, la Compagnie française d'irrigation (fondata nel 1845 e liquidata nel 1847). Quindi si dedicò alla progettazione di opere di bonifica per dei grandi proprietari nella regione di Lamotte-Beuvron (Loir-et-Cher). Nel giugno del 1848 il Ministero dei Lavori pubblici della Seconda Repubblica decide la costruzione del canale della Sauldre, fra Blancafort (Cher) e Lamotte-Beuvron, per migliorare la Sologne, affidandogli la direzione dei lavori. Nel 1849 egli lasciò definitivamente la regione. Le informazioni collimano peraltro anche con quanto riportato in *Merimée - Inventaire général du patrimoine culturel*, del Ministero della Cultura francese (www.ecm.culture.gouv.fr), che fa risalire a A. Barré de Saint Venant gli studi sulla Sologne, effettuati dal 1826 al 1845, e proposti alla Compagnie française d'irrigation, alle cui dipendenze si trovava Pareto in quel periodo.

[6] R. Pareto, *Irrigation et assainissement des terres : traité de l'emploi des eaux en agricolture*, Encyclopédie Roret, Voll.4, Paris 1851. Il trattato fu tradotto poi in italiano da Angelo Parrocchetti, R. Pareto "*Irrigazione e bonificazione dei terreni. Trattato dell'impiego delle acque in agricoltura*" con note di Angelo Parrocchetti, voll.2, Milano, Saldini editore, 1855-1857.

In Francia nel 1851 Pareto pubblica anche *De l'amélioration de la Sologne*, Paris, Roret, 1851 (estratto di "L'agriculteur praticien") e nel 1853 stampa a sue spese il testo *Cours d'Architecture à l'Athenée central*, par M. R. Celse Pareto. Première Leçon, Paris, 1853 cosa che farebbe supporre anche una attività didattica durante il soggiorno parigino, come anche confermerebbe la sottotitolazione dell'articolo pubblicato in GIAA, *Considerazioni generali sull'arte*, vol. 9, mag. 1861, laddove recita "estratte dalla prefazione di un trattato di architettura" .

[7] Se si tien fede alle considerazioni espresse da T. Giacalone-Monaco, *Cit.*, vol. 1, p. LIII.

[8] T. Giacalone-Monaco, *cit.*, vol.2, pp. 643-644. Sul "Giornale del Genio civile" si possono seguire i passaggi della sua carriera, che lo vedono tra l'altro nel 1870 membro della commissione ministeriale incaricata di studi e proposte per la bonificazione dell'Agro Brindisino, su nomina del ministro dei LL. PP. De Vincenzi, con Giuseppe Palmieri, ispettore del G. C., presidente, Filippo Lanciani, ingegnere capo governativo di Ravenna e Giovanni Amenduni ingegnere reggente l'ufficio speciale delle bonifiche a Napoli ("Giornale del G. C.", parte uff., n. 10, 1871, p.382). Nel 1876 fu chiamato a far parte del Consiglio superiore dei LL. PP. come ispettore di seconda classe (*Ibid.*, n.1, 1876, p.47), e della Commissione permanente consultiva presso la Direzione generale delle opere idrauliche con decreto 22 febbraio 1876 (*Ibid.*, m.2, 1876, pp. 84-85). Con i DD. MM. Dell'8/1/1882 fu nominato membro del Comitato permanente del Genio Civile e riconfermato nel Consiglio superiore dei LL. PP. ("Giornale del Genio Civile", a. XX, tip e lit. del Genio Civile, Roma, 1881, p. 407; *Ibid.*, 1882, p. 54;

[9] Cfr. della scrivente lo spoglio bibliografico della rivista e le relative introduzioni in "TeMa", 3/94. 4/94, 1/95, 1/96, 2/96, 2-3/97, 4/98.

[10] In seguito alla morte di Carlo Possenti, già presidente della Commissione direttrice del Giornale, il Ministro ricostituì una nuova Commissione portandola a cinque componenti. Con Pareto, che a tale data risulta ispettore di seconda classe sono nominati Pacifico Barilari, isp. Di 1.a cl. e vicepresidente del consiglio Superiore dei LL.PP.; Giuseppe Banchieri, isp. Di 1.a cl.; Felice Biglia, ispettore di 2.a cl. E ispettore dell'esercizio delle Vie ferrate; Antonio Ferrucci, ing. Capo di 1.a cl. E segretario capo del Consiglio Superiore dei LL. PP. Cfr."Giornale del Genio Civile", II serie, vol. V, a. XI, parte non uff, 1873, n. 12, p. 632..

[11] Socio dal 6 aprile 1873, cfr. necrologio in "Atti R. Accademia dei Lincei", cit., p.214.

[12] Stampata dall'Unione Tipografico Editrice in sei volumi, terminò la pubblicazione nel 1898.

[13] L'epitaffio sulla tomba fu scritto da Marco Tabarrini, come riferisce T. GIACALONE-MONACO , *cit.*,p. 649. Ciò apre un altro potenziale filone di indagine circa i rapporti familiari che sottenderebbe tale delicato incarico conferito allo storico e politico toscano, a quel tempo senatore del Regno.

[14] *Della diminuzione nella portata d'acque dei fiumi prodotta dalle derivazioni, specialmente dell'acquedotto di Genova derivato dalla scrivia a Busalla*, vol. 4, fasc. febb. 1857, p. 341; *Problemi di geometria pratica sui raccordamenti fatti con linee curve tangenti,* vol. 4, fasc. mag. 1857, p. 590; *Sulla macchina a vapore rigenerato, sistema Siemens. Rapporto degli ingegneri Grillo, Pareto e Tellardi,* vol. 5, fasc. dic. 1857, p. 293. Negli anni successivi seguiranno: *Note su d'un lavoro nel quale si è impiegato il cemento idraulico genovese. Relazione degli ingegneri Gardella, R. Pareto e Cernetti*, vol. 6, fasc. feb. 1858, p. 123; *Cenni sull'Opera: Irrigazione bonificazione dei* terreni, vol. 6, fasc. apr. 1858, p. 207; *Considerazioni sul disboschimento*, vol. 9, fasc. gen. 1861, p. 25; *Il valico delle Alpi Elvetiche con ferrovie*, vol. 9, fasc. lug. 1861, p. 443; *Considerazioni intorno all'ingrandimento del porto di Genova*, vol. 10, fasc. mar. 1862, p.196; *Dell'alimentazione e nutrizione umana*, vol. 10, fasc. ott. 1862, p. 629; *Dell'alimentazione e nutrizione umana*, vol. 10, fasc. nov. 1862, p. 676, *Dell'Agricoltura,* vol. 11, fasc. ag. 1863, p. 457; *Bonificamento delle paludi dell'ex Regno di Napoli*, vol. 11, fasc. ott. 1863, p. 620; *Canale e serbatoio Grisanti progettati nell'Emilia,* vol. 12, fasc. gen. 1864, p. 5; *Sulle bonificazioni, risaie ed irrigazioni del Regno* d'Italia, vol. 14, fasc. feb. 1866, p. 89; *Torrenti, burroni e frane*, vol. 14, fasc. giu. 1866, p. 364; *Torrenti, burroni e frane*, vol. 14, fasc. lug. 1866, p. 433; *Torrenti, burroni e frane*, vol. 14, fasc. ag. 1866, p. 496; *Torrenti, burroni e frane,* vol. 14, fasc. sett. 1866, p. 561; *Statistica maremmana*, vol. 15, fasc. apr. 1867, p. 219; *Zucchero di miele*, vol. 15, fasc. mag. 1867, p. 285; *Sugli stagni d'Orbetello*, vol. 15, fasc. mag. 1867, p. 257; *Sul padule di Grosseto,* vol. 15, fasc. mag. 1867, p. 269; *Relazione al Ministro di Agricoltura, Industria e Commercio sui progetti di canali per l'irrigazione dell'Alta Lombardia*, vol. 15, fasc. ag. 1867, p. 449.

[15] GIAA, Vol. 5, fasc. dic.1857, p. 311.

[16] Seguiranno, negli anni successivi: *Dell'importanza che presenta per gli Ingegneri ed Architetti lo studio di varie scienze ed arti generalmente poco curate a' dì nostri*, vol. 7, fasc. gen. 1859, p. 1; *Sulle Scuole Tecniche e sulle Accademie* , vol. 7, fasc. mar. 1859, p. 131; *Ai lettori, il nuovo* direttore,vol. 8, fasc. dic. 1860, p. 1; *Il Cortile Centoris a* Vercelli, vol. 9, fasc. mar. 1861, p. 230; *Della pittura murale, considerata come ornamento architettonico*, vol. 6, fasc. dic., 1858, p. 644; *Considerazioni generali sull'arte*, vol. 9, fasc. mag. 1861, p. 302; *Duomo di Novara*, vol. 9, fasc. mag. 1861, p. 349; *Palazzo Sauli a Genova*, vol. 9, fasc. mag. 1861, p. 353; *Duomo di Casale*, vol. 9, fasc. lug. 1861, p. 466; *Lo stile barocco e la facciata di S. Carlo a Genova*, vol. 9, fasc. sett. 1861, p. 597; *[Traduzione con annotazioni per] George Edmund Street "Sul restauro degli antichi fabbricati"* vol. IX, fasc. ott. 1861, p. 626; *Chiesa di Sant'Andrea di Vercelli*, vol. 10, fasc. gen. 1862, p. 5; *Il nuovo pulpito della Cattedrale di Casale,* vol. 10, fasc. apr. 1862, p. 253*; Un vaso ed il Castello di* Vigevano, vol. 10, fasc. lug. 1862, p. 455; *Giacomo Quarenghi. Biografia*, vol. 10, fasc. nov. 1862, p. 649; *Facciata della Chiesa di S. Domenico a Casale Monferrato*, vol. 11, fasc. feb. 1863, p. 65; *Antico battistero in Arzago presso Somma in Lombardia*, vol. 11, fasc. dic. 1863, p. 759; *Facciata della chiesa di Santa Maria di Vezzolano in Monferrato*, vol. 12, fasc. gen. 1864, p. 42; *I due Telamoni del palazzo Durazzo a Genova*, vol. 12, fasc. ag.1864, p. 494; *Lettere artistiche*, vol. 13, fasc. sett. 1865, p. 529; *II delle Lettere artistiche*, vol. 13, fasc. dic. 1865, p. 734; *III delle Lettere artistiche*, vol. 14, fasc. febb., p. 65; *IV delle Lettere artistiche*,vol. 14, fasc. mag. 1866, p. 265.

[17] Cfr. "Atti della R. Accademia dei Lincei", a. CCLXXIX, 1881-82, serie III, Transunti, vol. VI, Roma, tip. Salvucci, 1882, pp. 216-217.

[18] Tra le ulteriori verifiche necessarie a delinearne la biografia, con particolare riguardo al periodo di permanenza in Francia, oltre a una verifica circa un eventuale incarico didattico è da chiarire l'aspetto

legato alla sua personale produzione artistica. A tale proposito si segnala la presenza di materiali grafici relativi alla sua attività di disegnatore ed incisore presso la Bibliothéque Nationale de France.

[19] *Ibid.* Ttra l'altro il fratello Domenico (1804-1898) svolse importanti missioni diplomatiche per conto del governo piemontese anche in Russia. Cfr. P. C. Della Ferrera, *Le lettere familiari di Vilfredo Pareto*, in "Notiziario Banca Popolare di Sondrio", n. 79, apr. 1999, p.155.

[20] *Giacomo Quarenghi. Biografia*, vol. 10, fasc. nov. 1862, p. 649.

[21] Si vedano ad esempio le considerazioni sulle modalità del concorso per la piazza del Duomo di Milano, portate da Pareto nella rubrica *Bibliografia*, in GIAA, feb. 1861, p. 127.

[22] R. Pareto, *Ai lettori*, GIAA, vol. VIII, gen 1860, p. 1.

[23] Il periodico, pubblicato dall'editore Saldini, era stato fiondato nel 1853, con lo scopo di rappresentare in Italia un ruolo editoriale simile a quello di riviste come "Les Annales des Ponts et Chaussées" e di "The civil Engineer and Architect's Journal", nel solco della tradizione aperta da "Il Politecnico"di Carlo Cattaneo (cessato nel 1844, riprenderà la stampa solo nel 1860) per la divulgazione tecnico-scientifica di "Studi applicati alla prosperità e coltura sociale". Cfr. S. Pesenti in "TeMa, a. II, n . 3, 1994, p.57.

[24] *Ibid.* Sugli articoli in materia di architettura pubblicati nella rivista, fra i quali anche i contributi sulla piazza del duomo di Milano e sul riassetto urbanistico della città cfr. S. Pesenti, in "Tema", a. IV, n.2, 1996, pp.73-76; a. V, n. 2-3, 1997, pp. 106-109; a.VI, n.4, 1998, pp.67-70.

[25] Si tratta della stessa visione che, per tutta la seconda metà del XIX secolo, animerà imprese editoriali di tipo enciclopedico applicativo. Medesima finalità sarà il motore dell'ultima grande impresa editoriale curata da Pareto negli ultimi anni della sua vita, l'*Enciclopedia delle Arti e Industrie.*

[26] R. Pareto, *Ai lettori*, cit., p. 2.

[27] Opera in quattro volumi pubblicata tra il 1857 e il 1859, di cui Girolamo Boccardo è l'unico autore.

[28] Cfr. P. L. Nuti, *Raffaele Pareto sul "Dizionario" di Boccardo. Due scritti poco noti*, in "Il pensiero economico", a. IX, n. 2, 2001, p. 180.

[29] *Ivi* , pp. 183-187. Si tratta di "La ragione", del 20 giugno 1857 e del "Bollettino dell'Istmo di Suez", del 30 aprile 1857.

[30] R. Pareto, *Considerazioni generali sull'arte*, cit., p.339.

[31] R. Pareto, *Ai lettori*, cit., p. 3.

[32] *Ibid.*

[33] Alla cultura professionale questa riflessione che afferma la relatività del giudizio estetico a condizioni storiche e quindi ad una mutevolezza che lo sottrae alla dottrinaria ricerca dei principi universali, perviene grazie ad una recensione di Rovani [G. Rovani, *Corso d'estetica, parte antica*, in Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo", vol. I, Milano 1853-54, pp.451-457]. A. Bellini, *Tempo del restaurare, tempo del conservare*,cit., p.5.

[34] Si veda in particolare R. Pareto, *Dello stile barocco nei fabbricati…*, cit. Considerazioni sull'ingiusta censura nei confronti del barocco appare in molti accenni negli scritti di Pareto sui monumenti italiani.

[35] "Per noi, completamente eclettici in arte, il barocco ha avuto la sua ragione d'essere e presenta bellezze e difetti come ogni altro stile, domandando però sommo ingegno all'artista per essere traccia-

to con gusto". Così sostiene R. PARETO, nel recensire il secondo volume della *Storia estetico-critica delle arti del disegno*, in GIAA, VII, feb 1860, p.135.

[36] Sulla lettura di Riegl e del concetto di *Künstwollen* in rapporto alla cultura del restaur si veda M. PRETELLI, *Alois Riegl*, in *La cultura del restauro*, a c. di S. Casiello, Marsilio, Venezia1996, pp. 221-233.

[37] "Nel testo che in Italia può considerarsi fondativo del restauro come modo di comportamento sull'architettura ed insieme codificazione di quanto già si andava compiendo, ma, come vedremo, anche espressione di principi concettualmente rilevanti, il punto di partenza è l'identificazione del bello come espressione variabile nel tempo e quindi non codificabile [P. SELVATICO, *Storia estetico-critica delle arti del* disegno, vol. I, Venezia 1852]. A. BELLINI , *Tempo del restaurare, tempo del conservare*, cit. p. 5

[38] Si veda ad esempio il resoconto sulle città visitate durante i numerosi viaggi di ispezione che dovette intraprendere per incarico ministeriale onde accertare le condizioni dei territori paludosi lungo le coste italiane e verificarne le possibilità di bonifica, come appare nella serie delle *Lettere artistiche*, inviate all'amico bibliotecario della Parmense, Federico Odorici. R. Pareto, *Lettere artistiche*, cit.

[39] Oltre a quelli di Pareto, già indicati in nota 16, sono da ricordare in particolare gli articoli di E. Arborio Mella e di S. Dell'Acqua. E' da ricordare anche che nel 1879 Pareto pubblicherà ivolumi de *L'Italie monumentale*, Milano, Moretti, 1879, traduzione francese del*'Italia monumentale*, pubblicata dallo stesso editore nel 1870.

[40] L'articolo appare sotto il titolo *Archeologia*, in GIAA, I, ott.1853, p.173. Cfr. A. BELLINI, *Tito Vespasiano Paravicini*, cit., pp. 29-30.

[41]C. Boito, *progetto di restauro per la chiesa di S. Maria e Donato in Murano*, in GIAA, IX, febb.1861, pp.76-87.

[42] "Traducemmo buona parte di questo discorso letto all'Esposizione di Architettura a Londra, perchè, malgrado assai d'esagerazione, vi troviamo idee giustissime e che dovrebbero pure inculcarsi ai giovani nostri architetti italiani, dei quali buon numero, come quelli inglesi di cui parla il nostro autore, dal Vignola in fuori hanno nozione alcuna di stili sia patrii, sia forestieri; e che si che gli esempi non mancherebbero, ove volessero viaggiare colla bisaccia in ispalla e colla matita alla mano; giacché se i ristauratori hanno rovinato e giornalmente rovinano, col pretesto di rimodernarli, molti dei nostri edifizj antichi e del medio evo tanti ancora ce ne rimangono d'intatti, o nella totalità o in qualche lor parte, da non lasciarci invidiare niun altro paese del mondo. Dopo ciò che noi stessi abbiam detto dei ristauratori nei nostri due ultimi fascicoli, il filosofare dell'architetto inglese sull'istesso argomento ci sembrò utile da farsi conoscere, sebbene poi, lo ripetiamo, ci sembrino esagerate alcune sue idee, che però hanno il pregio di essere espresse con bello *humour* inglese." R. PARETO [Traduzione con annotazioni per], G E. STREET, "Sul restauro degli antichi fabbricati", GIAA, a. IX, ottobre, pp. 626-635.

[43] A. BELLINI, *Tito Vespasiano Paravicini*, cit., p. 33..

[44] C. Cattaneo, *Del ristauro di alcuni edifici in Milano*, "Il Politecnico. Repertorio mensile di studj applicati alla prosperità ecoltura sociale" a. I, 1839, pp. 58-67. Su tale aspetto del pensiero di Pareto cfr. ad es. gli articoli e i commenti in cui manifesta ampio assenso all'opera di E. Arborio Mella (*Duomo di Casale*, cit., 1861; *Chiesa di Sant'Andrea di Vercelli*, cit,. 1862; *Il nuovo pulpito della Cattedrale di Casale*, cit., 1862) o ai restauri del gen. Gioiello Piacenza *Un vaso ed il Castello di Vigevano*, cit. , lug. 1862. A questi apprezzamenti si oppongono le aspre critiche rivolte all'opera stilisticamente dissonante nell'intervento dell'Antonelli al duomo di Novara (*Duomo di Novara*, cit.).

Carlos Alberto Cacciavillani

L'ingegneria del ferro nei mercati del XIX secolo a Barcellona

Nel corso del XIX secolo le condizioni storiche che determinarono la nascita dell'architettura e dell'urbanistica moderne devono essere ricercate nel clima confuso e contraddittorio che caratterizzò gli anni della Rivoluzione Industriale[1], durante la quale emersero esigenze di carattere completamente diverso rispetto a quelle dell'epoca precedente. Queste, mutuate dalla forte volontà di costruire grandi opere quali ponti, canali, strade, ferrovie, contribuirono a creare una profonda frattura tra i compiti propri dell'architetto e quelli dell'ingegnere, ossia tra il formalismo dell'artista e la tecnica rigorosa dello scienziato.

L'Ottocento, dunque, è il secolo in cui l'architettura in ferro nasce e si sviluppa dando vita ad un numero vastissimo di opere dalla struttura complessa. Tutto ciò avviene anche grazie all'impiego della ghisa che, per le sue particolari caratteristiche, permette un'elevata possibilità di sollecitazione e compressione in presenza di dimensioni relativamente limitate. L'utilizzo della ghisa nell'architettura avviene gradualmente[2]: si inizia con la sostituzione di strutture esistenti di pietra e legno con il nuovo materiale, che viene verificato su strutture archetipi come il pilastro e l'arco. Nasce in questo periodo la trave reticolare come combinazione di travi di ghisa orizzontali o leggermente incurvate e una catena di ferro, ed è proprio grazie ad essa che è possibile aumentare le luci delle strutture di copertura. Dalla capriata in legno si passa alla struttura di sospensione fino alla struttura portante reticolare, completamente realizzata in ghisa e ferro, inventata indipendentemente l'uno dall'altro dagli ingegneri Wiegmann nel 1836 e Polonçeau nel 1839: essa prenderà il nome di capriata Polonceau ed in seguito sarà impiegata in un numero rilevante di edifici significativi. Anche in molte sale di stazioni e di mercati di altre nazioni sarà utilizzata la capriata Polonçeau. Nel 1821 J. B. Blondel, con la realizzazione del mercato di Saint Germain, fissa i caratteri architettonici della struttura adibita a mercato che restarono punti di riferimento per i progettisti dell'epoca. La costruzione ha la monumentalità tipica degli altri edifici pubblici, è a forma quadrangolare, ad un piano, con un'ampia corte interna. Il tetto, a due falde sovrapposte che permettono all'aria e alla luce di penetrare, concludeva il volume. Lo spazio coperto può essere lasciato libero o suddiviso in piccoli spazi di vendita che continuano nella corte interna, la quale è raggiungibile anche dai mezzi di trasporto attraverso quattro ampi varchi che caratterizzavano i muri perimetrali. Allo schema della piazza circondata dal por-

tico si sono ispirati gli impianti progettati a Napoli durante il periodo napoleonico dell'inizio del XIX secolo. Da questo momento in poi, la struttura edilizia si configura sempre più, in continuità con la superficie scoperta che si collega agli spazi urbani, come un volume di forma variabile. Nel 1830, a Messina, si adotta una soluzione analoga per il progetto di trasformazione in mercato di una parte del quartiere San Mercurio. L'edificio coperto a corte centrale ha una notevole diffusione grazie all'introduzione delle strutture in ghisa e in acciaio[3]. L'uso di questi esili pilastri sagomati a sostegno del tetto, su cui sono inserite numerose spaziature a vetro, rende possibile la riduzione del numero delle strutture verticali a tutto vantaggio della funzionalità interna. All'inizio, tutte queste innovazioni non si applicano ai mercati rionali ma trovano una maggiore diffusione nelle grandi strutture dei mercati generali. La nascita di numerosi mercati in diverse città del vecchio continente ha una grande influenza sulla nuova realtà architettonica e in tal senso la storia dei mercati di Barcellona è connessa allo sviluppo demografico della città[4], poiché nel XIX secolo il suo sviluppo urbano rende necessaria la concentrazione delle attività commerciali in recinti ed edifici ben delimitati: essa a giusto titolo può essere considerata la capitale europea dei mercati pubblici, con la sua rete, 40 mercati di generi alimentari, 6 non alimentari, con 180.000mq di superficie commerciale. La città del XIX secolo, che vive all'interno delle mura costruite dal re d'Aragona, conosce in questo periodo una rapida evoluzione, anche se già dal 1750, grazie alla manifattura indiana si era verificata la prima tappa della rivoluzione industriale in Catalogna; negli anni successivi la città arriverà a contare novanta associazioni di carattere industriale. Un fatto importante avvenuto nel luglio del 1835 fornisce inaspettatamente dei terreni per nuove costruzioni: il proletariato di Barcellona, esasperato dalle terribili condizioni di vita, incendia i conventi della capitale e il mese successivo distrugge anche la fabbrica Bonaplata, prima fabbrica a vapore di tutta la penisola e orgoglio dell'industria catalana. Questi tragici fatti hanno una forte ripercussione sul tessuto urbano, infatti al posto di questi edifici religiosi, spesso considerati come la migliore innovazione architettonica dei secoli XVI e XVII, si edificano il Gran Teatre del Liceu e alcuni mercati. Con il piano dell'ingegner Cerdá del 1859 tutti gli edifici da realizzare verranno inclusi in un'importante programmazione degli edifici pubblici, dimostrando come anche in una scacchiera regolare si possono distinguere spazi in modo da identificare le varie emergenze architettoniche fra le quali i mercati assumono un ruolo rilevante. Ad ogni modo, in quegli anni, la situazione urbana continua ad essere intollerabile: la vita degli operai è disumana ed è sempre più urgente un piano di ampliamento della città che prevede, tra l'altro, la demolizione delle mura. Le mura vengono buttate giù nel 1854, ma solo nel 1859 il potere centrale incarica l'ingegnere catalano Cerdà per gli ampliamenti

e la riforma della città di Barcellona. Il Municipio non trovandosi d'accordo decide di organizzare un concorso per valutare al meglio chi dovesse occuparsi di tali progetti. In verità tale proposta non è tenuta in considerazione in quanto per decisione reale si delega definitivamente l'opera a Cerdà[5]. Nel 1855 il Municipio approva il Piano di Cerdà, ma i consigli comunali che seguono ostacolano le decisioni prese da quelli precedenti, ed è così che la municipalità convoca un altro concorso per gli Eixampla, meno ambizioso, vinto dall'architetto Antoni Rovira i Trias, colui che già aveva costruito il Mercato di Sant Antoni. Con un decreto reale del 7 Agosto 1859 si approva definitivamente il piano precedentemente rifiutato di Cerdà. Le scantonature che caratterizzano gli Eixampla obbediscono a questa visione profetica. Cerdà impose la necessità di rendere maggiore la visibilità dei conducenti agli incroci, per evitare scontri. Un organismo internazionale incaricato di organizzare le esposizioni cosiddette "universali", aveva scelto Barcellona come città per l'Esposizione Universale del 1888, e la città si andava preparando febbrilmente a questo ambizioso progetto. In questo periodo emerge la figura dell'ingegner Antonio Rovira y Rabassa (1845-1917), con il suo manuale "El hierro sus cortes y enlaces" opera di grande prestigio. Egli era un eccellente cattedratico che ha attirato molte curiosità di studiosi per la sua forte personalità, per la sua opera ed anche perché figlio del famoso Antonio Rovira y Trías, autore del Museo Martorell, della balaustra e del lampione del Salón de San Juan, ed opere importanti come il mercato di Sant Antoni, della Concepció e della torre campanaria di Gracia. Antonio Rovira y Rabassa nasce il 27 gennaio 1845 e dopo il corso di studi universitari svolti dal 1861 al 1866, diventa architetto. Il 23 novembre 1867 gli è conferito il titolo di architetto della Real Academia de San Fernando de Madrid. Il 21 ottobre 1868, inizia la sua prima esperienza pubblica, insegnando Geometría Descriptiva alla scuola di Maestros de Obras de Lonja; muore nel 1919 all'età di 74 anni. Per quanto riguarda i trattati, Antonio Rovira y Rabassa è autore dei testi "Tratado de Gniomónica", "Elementos de Prospectiva Axonométrica y caballera", "Prospectiva Cónico-Lineal", "Teoría de las Sombras" e, sopratutto, dell'importantissimo "Estereotomía del Hierro". I suoi scritti sono illustrati da tavole correlate con testi e citazioni, dove sono riconoscibili le soluzioni proposte e realizzate per i mercati barcellonesi come quelli progettati dal padre. In veste di architetto porta a termine la chiesa de Las Corts de Sarria, costruendo il campanile (1894-1896), particolare per il suo elemento in ferro in stile. Nella Exposición Nacional de Bellas Artes del 1880 presenta un progetto del Monumento a Los Héroes de Africa, oltre che alla realizzazione del mattatoio comunale di Barcellona nello stesso anno. Successivamente finisce, con diverse decorazioni pittoriche, il Teatro Circeo Barcellonés progettato da suo padre nel 1853 e conclude anche i lavori per la parroc-

chia di Santa Monica. Nel 1884 progetta in stile classicista il comune di Barcellona e la scuola e la residenza per il Sacerdote anziano de Les Corts dove per molti anni esercita l'incarico di architetto municipale.

Il ruolo degli ingegneri nel progetto dell'edificio del mercato, progetto che generalmente era firmato dall'architetto municipale, è da ricercare nella definizione degli aspetti tecnici che offrono soluzioni di importante levatura sul piano strutturale e che al contempo dialogano con l'aspetto architettonico che non è secondario; la struttura metallica di regola era realizzata in alcune industrie della città, come per esempio la "Maquinista Marítima y Terrestre" per Barcellona, nelle quali la definizione degli elementi costruttivi compete agli ingegneri che lavorano per la stessa industria e che contribuiscono alla definizione finale del progetto.

I primi mercati costruiti a Barcellona anteriormente al piano Cerdá sono quello del Born (1836) e quello di Santa Catalina (1847). Il primo, ricoperto inizialmente con pensiline di ferro, viene ricostruito nella forma attuale nel 1873; il secondo è realizzato anche con parti in legno per le capriate, riutilizzate nell'edificio attualmente ricostruito. La costruzione dei mercati si incrementa nella città nell'ultima parte del XIX secolo, con le realizzazioni del mercato della Boquería (1864) nella Rambla di Sant Josep, di Sant Antoni (1882), della Barceloneta (1882), della Concepció (1888), infine del Mercato della Llibertat (1893). Si tratta di edifici con caratteristiche proprie che, malgrado la funzione utilitaria, non rinunciano alla monumentalità, all'ornamentazione o alla utilizzazione di tecniche costruttive singolari, risultando interessanti esempi di ingegneria del ferro.

Il Mercato del Born, costruito seguendo il progetto di Josep Fontserè i Mestre, che lo struttura a partire da due strade, è uno dei mercati più importanti di Barcellona: l'intersezione delle strade è coperta da una piramide ottagonale di 30m di diametro e 31m di altezza. I lavori dell'edificio iniziano nella primavera del 1874 e si concludono il 15 novembre 1875. Il progetto di Fontserè i Mestre presenta una struttura totalmente in ferro, di forma rettangolare con una lunghezza di 138,30m e una larghezza di 58,30m coprendo un superficie di 8.062,89mq. La navata centrale ha una luce di 28 metri, mentre le due navate laterali di 18m. Una quarta navata a modo di crociera o transetto corto, si interseca con la navata principale creando nell'intersezione una cupola ottagonale sormontata da una lanterna; il tutto si innalza da terra a circa 30m. L'illuminazione delle navate laterali si basava su lucernari vetrati, mentre quella notturna era affidata a potenti lampade a gas.

Per la sua costruzione si utilizzarono più di un milione di chili di ferro e siccome il Born è un edificio puramente utilitario e funzionale, non vi è nessun tipo di decorazione come abitualmente si usava negli edifici del XIX secolo. Nel tetto la policromia riprende le pareti laterali dell'edificio, dove con l'uso dei

mattoni si combinano i colori rosso e arancio, che risaltano nelle parti in cui il ferro viene ad attaccarsi al suolo. Durante la fase di realizzazione il progetto si modifica, infatti alla creazione della struttura metallica collabora l'ingegnere della compagnia "Maquinista Terrestre y Marítima", Josep María Cornet i Mas. Tutti i materiali adoperati per la sua realizzazione sono fabbricati in Catalogna dalla stessa "Maquinista Terrestre i Marítima". Le colonne di ferro forgiato fanno le veci di canali per l'acqua della pioggia: l'architetto, l'ingegnere e tutta la città di Barcellona volevano che questo mercato fosse la dimostrazione dell'uso dei materiali in cui gli artigiani catalani avevano sempre eccelso quali il ferro e la tegola. Nel 1876 Cayetano Cornet i Mas, fratello dell'ingegnere Josep María, pubblicò la "Guía de Barcelona" evidenziando il paramento del mercato rendendolo molto elegante. In quest'opera collabora, anche se in maniera marginale, il grande Gaudí.

Un altro studioso, Josep Iglesias del Parquet, pubblica in "Diario de Barcelona" un articolo intitolato "Il Born tra la Rivoluzione industriale e l'architettura in metallo del secolo scorso", dal quale si evince chiaramente come l'autore accomuni la costruzione del mercato con altri edifici in metallo realizzati in diversi paesi europei, ad esempio il Palazzo di Cristallo di Londra, la biblioteca di S. Geneviève, la stazione ferroviaria londinese di San Pancrazio, le opere che disegnarono alcuni architetti del Nord America e, naturalmente, la Torre Eiffel e Les Halles di Parigi. Il giorno dell'inaugurazione, il sindaco Manuel Girona affermò che l'industria spagnola doveva essere orgogliosa di aver costruito un'opera tanto esemplare e pertanto la "Maquinista Terrestre y Marítima", le cui officine erano famose in patria e all'estero, era la prima che si doveva ringraziare per il proprio impegno[6].

Nell'agosto del 1971 il Born chiuse le sue porte e nel maggio del 1975 il Municipio della città di Barcellona indisse un concorso per raccogliere i progetti migliori per la "trasformazione" del Born, ma poi, a causa della mancanza di fondi, si allungarono i tempi. Ad ogni modo, su insistenza dei cittadini, il Municipio iniziò i lavori di restaurazione del Born, sotto la direzione dell'architetto Pedro Luis Espinosa. Il criterio generale che si seguì fu quello di restituire, con la massima economia, l'edificio al suo stato originario, tanto per quanto concerne la sua immagine, quanto per le soluzioni costruttive ed i materiali usati[7].

Un altro centro di vendita, tra i più importanti per la città di Barcellona, è il Mercato di Santa Catalina posto di fronte alle vie di Nueva de Lacy, Giralt Pellicer, Colominas e Freixuras. Il mercato viene inaugurato nel 1848, ma restano di notevole rilevanza le riforme realizzate nel 1939 e nel 1948. Una di queste riforme aveva come oggetto quello di porre la facciata del mercato di Santa Catalina in linea con le riforme che quella zona stava vivendo: si voleva distruggere la sua antica facciata per costruirne una nuova 19m più in là. Questo significa creare per il Mercato un

ampio spazio di via pubblica, in modo che dei 6,50m che ha in prima istanza, si passa a 25.50m, permettendo più facili operazioni di scarico della merce dai veicoli. Nella nuova facciata, si cerca di introdurre qualche innovazione rispetto ai mercati più tradizionali, con l'inserimento di piccole tende per mantenere puliti i marciapiedi. Nel 1848 il mercato era stato un'opera d'avanguardia e nel 1948 si realizzano alcuni interventi piuttosto importanti per adattarlo ad esigenze di urbanizzazione. Attualmente il mercato è stato abbattuto per dar spazio ad edilizia popolare.

Nel 1836 scomparvero molti conventi e il Municipio potè disporre di spazi nel centro della città, alcuni dei quali furono destinati alla vendita pubblica di generi alimentari a carattere permanente. La spinta decisiva per mettere in marcia il grande ed impegnativo progetto municipale si verifica il 19 Marzo del 1840, in occasione dei festeggiamenti in onore di San Giuseppe, in cui si pone la prima pietra e si battezza ufficialmente il nuovo centro con il nome di Mercato della Boquería. Nel 1848 si costruisce un recinto adatto alla pescheria sul retro dell'edificio della Virreina e questa novità col tempo si rivela di grande importanza in quanto contribuisce fortemente ad animare il mercato: nel 1869 si dichiara la necessità pubblica di ampliare il suddetto mercato. A tale scopo si decreta la demolizione del Convento de Jerusalem che confina con la parte posteriore della Boquería ed il suo suolo è destinato ai venditori di frutta e verdura, che si stabiliscono provvisoriamente sotto una tettoia di canne e stuoie. Nei primi anni del XX secolo, che coincisero con un'epoca di relativa prosperità economica, i venditori del mercato della Boquería, sempre disposti a sostenere il prestigio del mercato, iniziano a modernizzare i loro posti di vendita curando nel dettaglio ogni singolo progetto.

Il mercato di Sant Antoni è datato 1882, ed è un'opera dell'architetto municipale Antoni Rovira i Trias, autore anche del mercato della Barceloneta e della Concepció. Degna di nota è l'originalità della sua concezione e della sua struttura: l'opera è un prodigio architettonico di audace innovazione, considerando che era stata concepita cento anni prima. La pianta del mercato è a croce diagonale rispetto al senso delle strade circostanti. La realizzazione è fatta usando il ferro come elemento principale e non solo per decorazione. Questo mercato è probabilmente il migliore e il più interessante esempio di architettura in ferro esistente a Barcellona. Adotta un'originale distribuzione delle navate a croce con una rotonda centrale ed ampi cortili intermedi e tutt'intorno una galleria perimetrale di altezza minore, con la larghezza della navata di 20m. Per risaltare, il mercato si serve del diverso trattamento delle superfici, anticipando la teoria architettonica moderna. Grazie alla struttura porticata delle sue navate, le pareti non hanno bisogno di un sostegno: esse possono restare libere e di conseguenza la parete ad uno zoccolo in mattoni si riduce. Lo spazio restante viene chiuso con vetrate, con armature metalliche e persiane, donan-

do all'intera struttura una certa eleganza. Il luogo di collocazione del mercato di S. Antoni è un punto strategico in quanto è costituito da più di un fuoco di attrazione dove confluiscono su di esso tante strade tutte di notevole importanza. Alla sua costruzione si arriva attraverso vari tipi di simmetrie: bilaterale, di rotazione, di traslazione, ornamentale. Il mercato di S. Antoni ha conservato con il passare degli anni un valore estetico e un valore d'uso e, pur necessitando di ristrutturazioni sia interne sia esterne, porta con sé tanta storia e fatti di vita quotidiana che hanno fatto della città di Barcellona una città diversa da tutte le altre in ambito nazionale e internazionale.

Di una certa importanza è il mercato della Barceloneta che può essere annoverato fra quelli municipali centenari di Barcellona. Progettato nel 1882 e realizzato nel 1884, il mercato viene ristrutturato una prima volta nel 1939 e successivamente nel 1964. Fin dalla sua origine, esso ha avuto un carattere evidentemente marinaro, pur non perdendo mai definitivamente i legami con la città. Inizialmente il mercato è situato in Plaça de Sant Miquel e, in seguito, nella sua attuale posizione. Il mercato si presenta come una struttura mista con un basamento in mattoni e con una copertura metallica che necessita di manutenzione ordinaria. Le tre navate presenti nel mercato non slanciano la struttura verso l'alto, forse per non entrare in contrasto con il tessuto urbano del quartiere.

L'edificio originale del mercato della Concepció, costruito nel 1888, è opera di Antonio Rovira i Trias e Josep Cornet i Mas e si sviluppa in un'unica pianta di 38m x 105m. La volumetria esterna dell'opera riflette l'organizzazione spaziale interna. Per il recupero dell'edificio si è pensato di privilegiare all'interno la luce naturale e nell'insieme si è inteso recuperare l'idea generale che vede il progetto come una piazza aperta con una serie di attività commerciali. La pianta principale del mercato è divisa in due zone: in una vi è sede il mercato tradizionale, nell'altra, nuovi sistemi di vendita. L'intervento prevede la reintroduzione della navata centrale, insieme al recupero dell'idea originaria di trasparenza e permeabilità; tutto questo è stato possibile grazie alla possibilità di avere la documentazione originale del progetto di Antoni Rovira i Trias, che ha permesso di capire la struttura, il suo funzionamento e la logica costruttiva adottata. Inizialmente il recupero si è incentrato sulle tre navate del mercato, con la riparazione della struttura metallica e successivamente si è pensato a dei lavori per proteggerla da incendi.

Il mercato della Llibertat è una delle prime opere del 1893 di Berenguer importante collaboratore di Gaudí. Nel 1831 viene presentato un progetto per l'urbanizzazione dei campi dove si costruisce in seguito il mercato della Llibertat. Nel dicembre del 1874 si indice un concorso per le opere di costruzione del mercato coperto: lo vince Antoni Prim. Il progetto definitivo è firmato dall'architetto municipale Miquel Pascual i Tintorer quando Gracia torna ad essere un municipio separato da

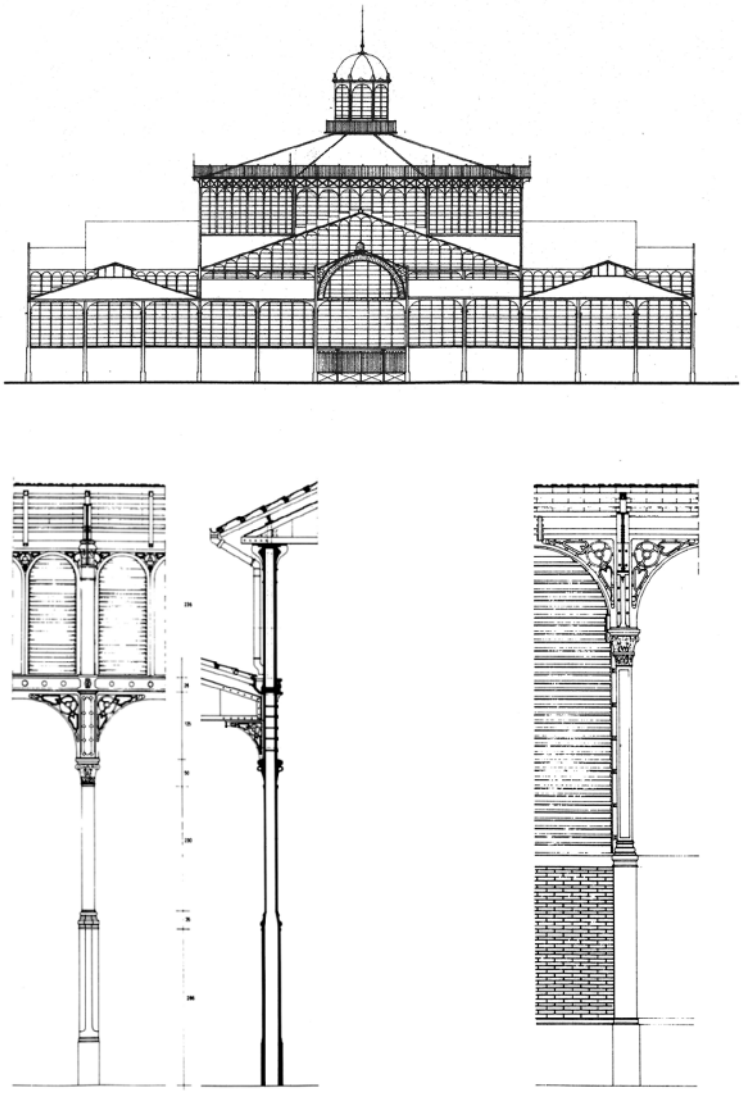


Fig. 1 – Barcellona, Mercato del Born (1836).
Particolare del prospetto principale e dettagli tecnico-costruttivi.
(Archivo Cátedra Gaudí).

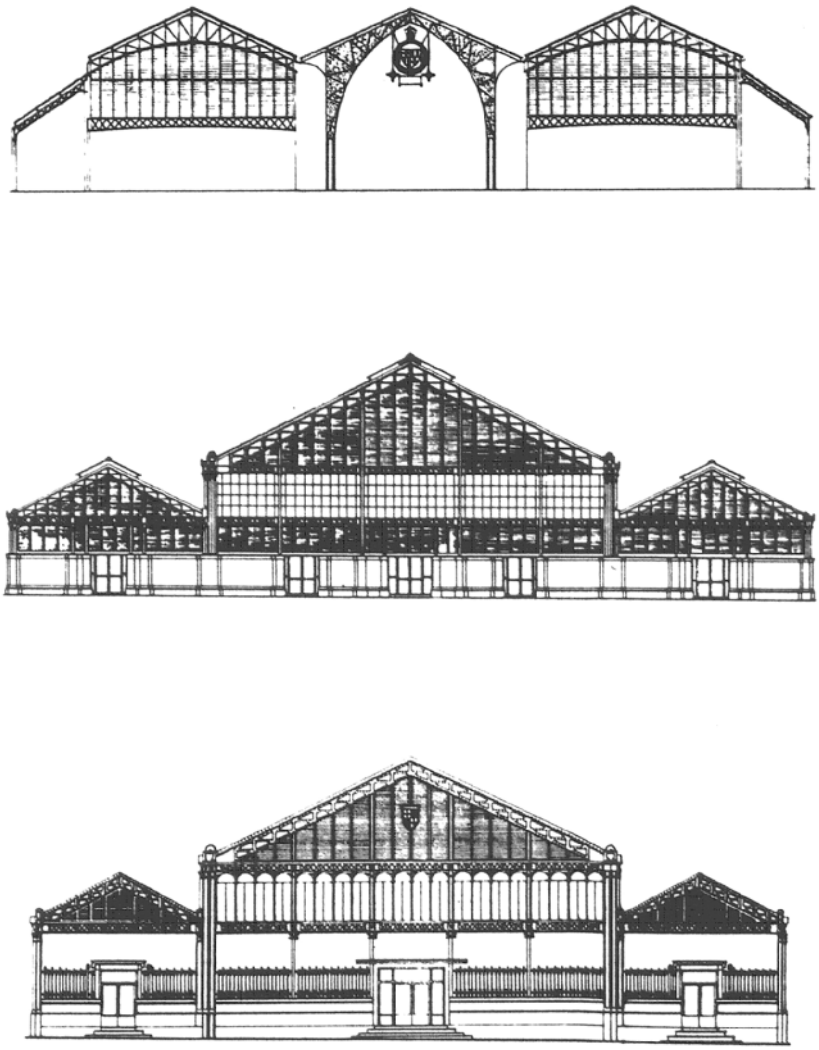


Fig. 2 – Barcellona, Prospetti di alcuni mercati in ferro.
Dall'alto: Boquería (1840), Barceloneta (1884), Concepció (1888).
(Archivo Cátedra Gaudí).

Barcellona. La struttura del mercato è di ferro, così come gli elementi per la copertura sono costruiti da "La Maquinista Terrestre y Marítima". Oggi il mercato della Llibertat conserva il nome e celebra la sua esperienza centenaria, ma purtroppo non abbiamo molte testimonianze fotografiche del passato.
Questa è stata l'epoca in cui le costruzioni in ferro hanno rappresentato la tecnica più avanzata delle città europee e, quando il giardiniere Joseph Paxton progettava nel 1850 il Palazzo di Cristallo che doveva accogliere l'Esposizione Universale di Londra, forse non aveva idea di quanta influenza avrebbe avuto questo edificio sul futuro dell'architettura moderna. Infatti quella grandiosa costruzione in ferro e vetro avrebbe prodotto imitazioni in tutta Europa, sarebbe stato il punto di partenza per comprendere che le regole con le quali si giudicava l'architettura fino ad allora erano definitivamente diventate obsolete. La chiave del suo successo fu in primo luogo la prefabbricazione totale, la rapidità del montaggio, il successivo recupero dei materiali componenti, in concomitanza con le molte soluzioni tecniche risultanti dall'esperienza di Paxton.

[1] Con questo termine si intende quel complesso fenomeno di trasformazione dei sistemi produttivi che ebbe la sua origine nell'Inghilterra della seconda metà del Settecento e di lì si diffuse, a distanza di tempo talvolta anche notevole, nei paesi europei e negli Stati Uniti.

[2] S. HABERMANN, *Atlante dell'acciaio,* Bologna 1999, p. 16.

[3] R. V. MOORE, *L'architettura del mercato coperto,* Roma 1997, p. 27.

[4] La febbre gialla del 1821 provocò 6224 vittime, circa il 5% della popolazione. Nel 1835, al termine del censimento, Barcellona contava poco più di 118.00 abitanti e nel 1847 circa 125.000.

[5] Né rivoluzionario, né utopista, Cerdà provocò reazioni negative nei settori borghesi, profondamente catalanista, aveva partecipato ad una delle prime istituzioni create per ottenere l'indipendenza della Catalogna. Nel progetto di Cerdà, la parte costruita di ogni isolato di case costituiva un volume di 67.200 metri cubi ed il resto era zona di svago e riposo. La speculazione sul suolo ha fatto in modo che alla fine del XX secolo il volume dei metri cubi costruiti per isolato fosse di 299.771,6 cioè 232.000 metri cubi in più rispetto a quanto Cerdà aveva immaginato.

[6] D. SEMPERE, *Barcelona i la seva história,* Barcelona 1963, p. 50.

[7] S. TARRAGÓ, *El Mercato del Born: una catedral de ferro i vidre,* Barcelona 1978, p. 45.

Fausto De Mattia, Felicita De Negri

Un ingegnere all'opera nel Grande Archivio di Napoli (1835-1864): Ercole Lauria

L'archivio generale del Regno, nato nel 1808 sotto il regno di Gioacchino Murat, ebbe la sua prima collocazione in Castel Capuano; una sede in verità infelicissima, dove le carte giacevano in uno "stato veramente deplorabile/…/per la ristrettezza e l'inconvenienza dei locali", per il " disordine, che si accresce/va/ nelle carte già depositate e per l'impossibilità di introdurvi le altre destinate a riporvisi". Il giudizio appena riportato era contenuto in un rapporto indirizzato al ministro dell'interno dal soprintendente agli archivi Antonio Spinelli il 6 marzo 1835 [1]; e proprio in risposta a questa nota - ultima in ordine di tempo di una lunga serie di drammatiche relazioni - la sovrana risoluzione del 13 aprile dello stesso anno disponeva il trasferimento dell'Istituto nel soppresso monastero dei SS.Severino e Sossio che stava per essere sgombrata dall'Accademia di Marina appena abolita. Nel comunicare la determinazione del re, il ministro Santangelo informava lo Spinelli di "avere destinato l'ingegnere di Ponti e Strade d. Ercole Lauria a levare la pianta del locale di S.Severino avendo Sua Maestà permesso che da ora si esegua questa preventiva operazione"[2]. Il Lauria eseguì con grande sollecitudine il suo compito tanto che già il 5 agosto successivo Santangelo poteva annunciare a Spinelli di aver sottoposto le piante redatte dall'ingegnere al sovrano, ricevendone l'approvazione. Alle piante il Lauria aveva allegato anche una proposta di ripartizione dei locali tra l'archivio che doveva prenderne possesso e i pochi monaci cassinesi che ancora vi dimoravano. Seguì allora l'ordine al medesimo ingegnere di compilare "uno stato estimativo" della spesa occorrente per le riparazioni necessarie e "uno stato descrittivo" dei locali, al fine di consentire una conveniente disposizione degli scaffali destinati a ricevere le carte.

Si trattò dunque inizialmente di un lavoro limitato per dimensioni ed entità della spesa (in seguito il Lauria indicherà in circa 12 mila ducati l'investimento attuato allo scopo) ma pur sempre di notevole impegno per un professionista alle prime armi e ancora sconosciuto. Nel 1835, infatti, Ercole Lauria era ufficialmente solo un *alunno ingegnere*, apparteneva cioè a quel gruppo di tecnici usciti dalla Scuola di Applicazione che, pur non essendo previsti dalla pianta organica del Corpo, venivano adoperati dal direttore Afan de Rivera per sopperire alle esigenze del servizio sempre esorbitanti rispetto alla carenza di personale qualificato. Dallo stato di servizio sappiamo che il nostro era uscito dalla Scuola nel 1830, classificandosi dodicesimo all'esame finale[3] e aveva avuto il suo primo incarico nel settembre 1832, come aiuto del direttore delle opere pubbliche di Principato Ultra, gra-

zie alla segnalazione dell'intendente di quella provincia, Gualtieri[4]. Possiamo solo supporre che l' interessamento del funzionario fosse dovuto a relazioni con la famiglia Lauria, originaria di Montefusco. Qui era nato nel 1769 il padre dell'ingegnere, Francesco (don Ciccio), che si era poi trasferito a Napoli, dove era diventato "uno dei più reputati avvocati penali"[5]; dal 1807 aveva occupato la cattedra di diritto criminale all'Università e verso la fine della vita era stato nominato, in riconoscimento dei suoi meriti, sostituto procuratore generale presso la Gran Corte Criminale della capitale[6].

Ercole, nato a Napoli il 5 febbraio 1806, non aveva seguito le orme paterne, preferendo invece "studiare le matematiche", come egli stesso affermò nella domanda presentata alla Scuola di Applicazione per esservi accolto come semplice uditore nel 1825[7]. L'anno successivo si cimentò nel concorso di ammissione alla medesima Scuola insieme ad altri 26 aspiranti, fra i quali possiamo ricordare Antonio Maiuri. La commissione esaminatrice, composta dai più illustri ingegneri del Corpo e dagli insegnanti della Scuola, dopo le prove di matematica, disegno, latino e francese, ammise i primi 21 classificati; il nostro si collocò al sedicesimo posto, con 30 punti su 50, senza dare una prova particolarmente brillante di sé in nessuna delle discipline richieste[8]. Anche al termine del corso, quattro anni dopo, Lauria, come abbiamo già visto, non si segnalò per i risultati ottenuti; ciononostante, la sua fase di disoccupazione intellettuale durò appena due anni. L'impiego, comunque, era assai mal retribuito, con uno stipendio di 10 ducati al mese, cifra che di per sé certo non gli avrebbe consentito di vivere decorosamente. Il suo servizio nella provincia di Avellino fu in ogni caso brevissimo, perché, trascorsi due mesi, venne "traslocato" alla provincia di Napoli su richiesta del direttore generale Afan de Rivera, che lo segnalò al ministro Santangelo come "soggetto da cui i miglior risultamenti ottenersi possono"[9]. Tre anni dopo, come abbiamo già detto, ebbe l'occasione per mettere alla prova i suoi talenti. Ad un avvio così fortunato non corrispose per la verità una carriera nel Corpo particolarmente brillante: nominato ingegnere di 2 classe nel 1840, soltanto diciassette anni più tardi fu promosso ingegnere di prima classe e tale rimase anche nel passaggio al Genio Civile del regno d'Italia, fino a quando nel settembre 1861 fu collocato in aspettativa su sua domanda[10] pochi mesi dopo essere stato incaricato del progetto della ferrovia Sanseverino-Avellino[11].

Questo impegno nel settore ferroviario testimonia della sua versatilità professionale, già attestata dall'attività di ingegnere addetto alle opere di bonifica del bacino inferiore del Volturno e dei regi lagni, che data almeno dal 1854, nonché dalla partecipazione, in qualità di consulente tecnico alla Commissione dei fari che nel luglio 1841 ebbe il compito di stabilire i punti più opportuni dove costruire i nuovi fari del golfo di Napoli[12]. Anzi proprio il Lauria edificò nel porto della capitale, all'innesto del molo

S. Gennaro con il molo angioino, il faro lenticolare ad eclissi, primo in Italia, progettato dal fisico Macedonio Melloni, presidente della Commissione appena ricordata[13]. Sempre negli anni '40 l'ingegnere partecipò attivamente alle opere progettate per i porti pugliesi[14], per il porto di Salerno e per quello di Nisida[15].

Tornando all'iniziale impegno del Lauria in merito al Grande Archivio, l'incarico affidatogli nell'agosto '35 qualche mese dopo, in ottobre, risultava già adempiuto ma, a quanto risulta da una documentazione un po' lacunosa, i lavori conseguenti furono approvati solo nel dicembre del '36 ed eseguiti in un arco di tempo che va dall'anno successivo al 1841. Intanto, però, mentre questo intervento tutto sommato di modesta entità veniva avviato, nell'autunno del '37 su ordine del soprintendente Spinelli, Lauria cominciò ad occuparsi di un "gran progetto" generale per "le riforme, riduzioni e restauri" occorrenti nella parte di S.Severino destinata al Grande Archivio, unitamente ai "disegni del nuovo prospetto" e ai "modelli in legno per gli armadi" ove riporre le scritture.

Cominciò a quel punto il lungo calvario del nostro ingegnere per ricevere il meritato compenso delle sue fatiche, anche perché aveva dovuto avvalersi dell'aiuto di tre giovani collaboratori; il mancato riscontro finanziario all'impegnativo lavoro intrapreso dal Lauria avrebbe accompagnato costantemente la vicenda della ristrutturazione del monastero. Il progetto generale era già pronto nell'ottobre 1838 ma il ministro dell'interno lo trattenne presso di sé per due mesi e soltanto il 19 dicembre comunicò al soprintendente di averlo trasmesso come d'obbligo al direttore generale di Ponti e Strade, perché fosse sottoposto al parere del Consiglio degli ingegneri. Dalla discussione dell'organo tecnico[16], risulta che due furono i punti cruciali affrontati: in primo luogo la ristrutturazione dei locali - assai malridotti da secolari abusi e incuria - ai fini di una razionale distribuzione delle carte e degli uffici previsti dal regolamento organico del 1818, nonché dell'accoglienza del pubblico, il quale, data l'epoca, si prevedeva fosse costituito prevalentemente da "letterati e persone reali"; in secondo luogo il consolidamento di tutte le parti dell'edificio disomogenee tra loro a causa delle diverse epoche di costruzione. Questa anzi doveva essere, a giudizio del relatore Luigi Malesci, "la più nobile ed importante briga dell'Ingegnere", alla quale andava sacrificata ogni velleità "decorativa"; tanto che si suggeriva di stornare gli oltre 6000 ducati previsti per l'abbellimento "del lato occidentale" (quello dell'entrata principale che affacciava su vico San Severino), in modo da farne un "fondo di riserva" per lavori di consolidamento, la cui necessità sarebbe inevitabilmente emersa in corso d'opera. Il parere seguì il 14 gennaio 1839[17] e fu senz'altro favorevole, in termini elogiativi nei confronti non solo del progettista ma anche del soprintendente Spinelli, il cui ruolo appare di forte incidenza in tutta la vicenda progettuale, tale da far intravedere una felice collaborazione tra il tec-

nico e il committente. Bisognò però attendere fino al settembre '42 perché il progetto ricevesse finalmente l' approvazione sovrana[18] che ricalcava alla lettera le indicazioni fornite dal Consiglio. La spesa per i lavori approvati era questa volta molto rilevante, trattandosi di ben 73245 ducati (più altri 6200 per l'acquisto di taluni terranei nei vicoli adiacenti). Data la rilevanza delle cifre in gioco, si stabilì una forma di rateizzo in 6000 ducati annui che il ministero delle Finanze si impegnò a mettere "straordinariamente" a disposizione del collega dell'Interno per il Grande Archivio . Vale la pena sottolineare che si trattò di un impegno severo che lo stato napoletano non rifiutò di assumere pur in un periodo di perduranti e gravi ristrettezze finanziarie.

Lauria - che nelle more non era stato pagato per le sue prestazioni professionali - venne nominato direttore dei lavori, ai quali diede inizio nel gennaio seguente e che si protrassero fino alla fine del 1848. Tale incarico non prevedeva "soldo o appuntamento fisso"; sicchè nel luglio del 1850 il Consiglio degli ingegneri, chiamato ad approvare la misura finale dei lavori eseguiti dall'appaltatore Dionisio Miranda, si pronunciò anche sul compenso spettante all'ingegnere. Fu dunque di avviso che quest'ultimo dovesse essere assimilato ad un "architetto civile" e che gli spettasse un compenso non minore del 3% sulla spesa complessiva, trattandosi "di opera non… di pianta ossia di novella costruzione", ma di "ampliazioni, riduzioni e riparazioni" le quali, a giudizio del Consiglio, comportavano "maggior travaglio per parte dell'ingegnere". Soltanto cinque anni dopo si diede esecuzione a tale parere e comunque si dispose che il pagamento avvenisse a rate annuali di 360 ducati fino alla concorrenza della somma totale riconosciuta al Lauria di 2894.62 ducati.[19]

A proposito di misure finali, nell'Archivio di Stato si conservano quelle relative alla prima tranche di lavori (1837-41) e la prima delle misure riguardanti il gran progetto eseguito negli anni 42-48. Da quest'ultima apprendiamo, fra l'altro, che le opere ascesero in realtà a poco meno di 85 mila ducati, poiché si resero necessari due "progetti suppletori". Alla fine del 1848 il governo borbonico aveva investito nel "bene archivio" oltre 96 mila ducati. E non era finita.

Infatti ancor prima che il progetto generale fosse completato, il 2 ottobre 1848 il ministro della Pubblica Istruzione[20] Bozzelli - alle cui dipendenze nel breve periodo costituzionale era stato posto il Grande Archivio - autorizzò il Soprintendente principe di Belmonte[21] a far compilare sempre dall'ingegnere Lauria non solo un progetto dei "lavori urgenti" da farsi in S.Severino, ma anche un altro progetto generale (il secondo) "di tutte le costruzioni e dei lavori bisognevoli a compiere" nell'edificio per "fornirlo di tutto che (sic) fa d'uopo a buona ordinata e decente conservazione di tante e sì importanti pubbliche carte". Apparentemente, Bozzelli attribuiva all'affare una certa urgenza, tanto che sollecitava Granito a fare uso

"subitamente" delle facoltà conferitegli con il provvedimento. Le sue attese non andarono deluse perché già il 30 ottobre Lauria era in grado di consegnare l'elaborato commissionatogli, cui aveva collaborato come "architetto di dettaglio" Enrico Fischetti: più precisamente, venne presentato un solo progetto generale, in luogo di due, comprendendo però in esso anche i lavori urgenti. La cosa non piacque al ministro, cui il progetto era stato trasmesso, e il 18 novembre fu ribadita la necessità che fossero approntati invece due progetti distinti, l'uno per i lavori urgenti, l'altro per le opere di completamento non urgenti. Non si pensi a semplice pignoleria; infatti l'esborso complessivo calcolato dal Lauria ascendeva a ben 52509 ducati e nel frattempo l'esecutore dei lavori compresi nel progetto precedente - l'appaltatore Miranda - attendeva ancora di essere liquidato nelle sue residue spettanze, per la consistente cifra di 17953,70 ducati. Comprensibile perciò che il ministro sentisse l'esigenza di avere un'esatta informazione sulle opere effettivamente non procrastinabili, al fine di distinguerle con sicurezza da tutte le altre che si sarebbe potuto invece rimandare nel tempo.

Il progetto venne allora riformulato e articolato in tre categorie: alla prima appartenevano i lavori per restaurare e rinforzare le varie parti dell'edificio rimaste incomplete (12079,87 d.), alla seconda quelli per garantire l'edificio dal fuoco (3329,31d.) alla terza, infine, i lavori per gli scaffali destinati a custodire le carte (31170,87d.). La spesa complessiva rimaneva la medesima precedentemente indicata, ma si offriva così il vantaggio di poter approvare il progetto anche per singole voci. Infatti il soprintendente, consapevole evidentemente delle difficoltà del bilancio statale, proponeva al suo superiore di rinviare il terzo punto, il più costoso, dando invece avvio agli altri due, meno onerosi. L'intero progetto nella nuova veste fu comunque esaminato dal Consiglio degli ingegneri che l'approvò il 31 marzo 1849, come comunicava qualche giorno più tardi Afan de Rivera al ministro dei Lavori Pubblici.

Nonostante l'impegno profuso dal Lauria, l'atteggiamento delle autorità di governo appare completamente mutato rispetto all'interesse manifestato solo qualche mese prima. Le pressioni del Granito, nel settembre '49 e ancora nel dicembre '50 – dopo che il ministro in persona (dell'Interno questa volta, visto che l'Archivio nell'agosto del 49 era rientrato nelle competenze di quel dicastero) "si era degnato verificare coi suoi propri occhi" la situazione del Grande Archivio- non sortirono alcun risultato. Trascorsero così inutilmente due anni fino a quando il 3 febbraio 1851 un sovrano rescritto consentì la ripresa dei lavori, limitatamente, però, a quelli compresi nella seconda categoria del progetto generale, per garantire l'edificio dal pericolo d'incendio; la spesa deliberata era di 3273 ducati.

Ma il tenace Soprintendente riuscì a far diventare urgenti e indifferibili anche lavori che, secondo il progetto di Lauria, avrebbero dovuto invece far

parte della prima categoria - tra quelli, cioè, da accantonarsi secondo la sovrana risoluzione del 3 febbraio - e ad ottenere così l'approvazione del re per un ulteriore stanziamento di 5000 ducati: l'approvazione seguì il successivo 7 aprile. Nonostante gli 8273 ducati complessivamente raggranellati nel 1851, i lavori non decollarono: trattandosi di fondi che bisognava pur sempre attingere alla dotazione annua di 6000 ducati stabilita nel 1842, la priorità assoluta degli arretrati da corrispondere ancora all'imprenditore Miranda li rese indisponibili. Si giunge così al novembre 1852 allorchè un soprintendente verosimilmente prossimo alla disperazione ma non domo ottenne dal sovrano l'autorizzazione a spendere 4003 degli 8273 ducati promessigli l'anno prima: dietro oprintendente che non molla occorre figurarsi ancora una volta il volenteroso Lauria con uno stato estimativo ad hoc di lavori urgenti per 4003 ducati. Per pochi che fossero, questi soldi si poterono finalmente spendere per davvero; se ne dovrebbe dedurre che il contenzioso con Miranda si fosse concluso.

Nel 1854, comunque, la situazione - ci informa puntualissimo il Belmonte - rimaneva bruttissima: "le fabbriche sono ridotte in modo da far temere pericolo di crollare…" e, oltre tutto, c'erano anche ordini ministeriali di nuovi lavori da farsi nel secondo atrio per poter immettere le scritture del ministero dell'interno. Tutto considerato, ed esibendo l'ennesimo stato estimativo del l'impagabile (e non pagato) Lauria, il Granito garantiva di potersi far bastare 3303 ducati, che in fondo, uniti ai 4003 spesi l'anno prima facevano 7306, che erano pur sempre meno dei famosi 8273 promessigli tre anni prima; inoltre aveva " indotto" gli artefici a cominciare i lavori fidandosi della sua parola riguardo a un possibile anticipo di fondi sulla dote del 1855.

Così andavano le cose tra il 1848 e il 1854[22]: si era cominciato con idee da 52000 ducati e più e si finì invece con la realtà di poco più di 7000 ducati (tra spesi e impegnati). Ma venne l'anno 1855, e vennero le grandi spese. Occorre, in realtà, fare una distinzione quando si parla di "grandi spese": altro è quanto si decide di investire in un'opera pubblica, altro è quanto quest'opera incide effettivamente sul bilancio annuale dello Stato.

Grande spesa può certamente definirsi quella decisa dal re con sovrana risoluzione 14 luglio 1855, e cioè 64787.93 ducati "per dar ancora maggior lustro ad uno Stabilimento di molta importanza"[23]; ma il budget resta quello di prima, e cioè - a partire dal 1856 - i soliti 6000 straordinari passati dalla Tesoreria, più 1897 da spendersi nell'anno corrente; anzi, per maggior precisione, 5000 effettivi e 1000 da tenersi in riserva per le eventualità. Al netto di immancabili complicazioni e intoppi, per completare l'investimento occorreranno undici anni circa (che, considerando i ritmi cui oggi procedono in genere le opere pubbliche, non sembrano neanche tanti). Questo, ripetiamolo, sempre che la Tesoreria non trovi "di meglio" da fare nel frattempo.

Rimane peraltro il fatto che gli spiccioli del 1851 divennero decine di migliaia di ducati solo quattro anni dopo: le modalità di questo clamoroso cambiamento nella politica del governo verso il suo Grande Archivio restano, in tutta franchezza, un mistero, anche se sembra plausibile che a far allargare i cordoni della borsa in quella fase avessero contribuito in misura determinante le pressioni di varie amministrazioni, in primo luogo quella giudiziaria, per versare le loro carte in S. Severino, altrimenti impossibilitato ad accoglierle. Non misterioso è invece l'apporto dell'ingegnere Ercole Lauria, di cui lo studioso interessato ai documenti che riflettono il "fare" dell'ingegnere può apprezzare sia il "Progetto e Stato estimativo" che la "Misura e valutazione dei lavori eseguiti" (assai voluminosa quest'ultima anche se limitata ad una sola parte dei lavori realizzati); cioè entrambi gli adempimenti che costituiscono i termini –preventivo e consuntivo- entro cui si inscrive il suo concreto lavoro. Notiamo al riguardo, di passata, che al progetto iniziale poi approvato Lauria aveva aggiunto un supplemento di 6748 ducati di spesa qualora si fosse optato per scaffali in ferro: ma, come annota il protocollo delle reali risoluzioni, Sua Maestà aveva deciso che gli scaffali bastava farli in legno.

I noti eventi politici non determinarono l'anticipata conclusione di questa stagione di lavori. Il 18 settembre l'ingegnere chiudeva la già citata misura finale di alcuni lavori di fabbrica -" intonaco, stucco, piperno, pietrarsa, ardesia, volte in mattoni alla siciliana, pavimenti di quadroni"- ma continuava la propria attività per altre tipologie di lavori e soprattutto per gli scaffali, fino al 1864. A tale data si ferma un "notamento" dei lavori da lui diretti nel Grande Archivio, che fu necessario redigere allo scopo di sciogliere l'annoso nodo delle spettanze dovutegli, questione che era ancora in piedi nel 1868[24]. Al riguardo va precisato che il buon Lauria non percepì mai alcun compenso per la redazione dei progetti, essendo ricompensato solo in percentuale del 3% sulle opere eseguite.

In conclusione, l'ingegnere Ercole Lauria ha speso nei lavori di S.Severino esattamente trent'anni della sua vita, decidendo dell'impiego di una cifra che risulta assai vicina a 150 mila ducati. Non ne ricavò certo grandi guadagni, ma l'opera valse a dargli competenza[25] e rinomanza sulle quali, nella seconda parte della sua vita, potè costruire un'attività di stimato professionista[26]. Vale la pena di ricordare, fra l'altro, la partecipazione dal '64 alla stesura della pianta di Napoli – comunemente ma erroneamente nota come "del Giambarba"- in qualità di componente del consiglio direttivo che soprintendeva all'opera[27]; la direzione, insieme con Errico Alvino, dei lavori da S. Lucia a Mergellina "che comportarono la completa trasformazione della linea costiera"[28]; e la sua collaborazione con i fratelli architetti Antonio e Pasquale Francesconi in vista del concorso indetto dal comune di Napoli nel 1871 per il piano regolatore, di cui rimane la relativa Memoria[29].

[1] ASNa, Segretariato, I serie, 16/1, Antonio Spinelli dei principi di Scalea divenne soprintendente agli Archivi di qua dal Faro nel 1826, succedendo a Giuseppe Ceva Grimaldi marchese di Pietracatella.

[2] Ibidem.

[3] ASNa, Ministero dei Lavori Pubblici, registri, n.66.

[4] ASNa, Ponti e strade, II serie, vol 2.

[5] G.Doria, Le strade di Napoli, Milano-Napoli 1979, p.190.

[6] cfr. Dizionario biografico degli italiani, sub voce.

[7] ASNa, Ponti e strade, II serie, 161.

[8] ASNa, Ponti e strade, II serie, flo 2.

[9] ASNa, Ponti e strade, II serie, 184,vol.3.

[10] ASNa, Ministero dei Lavori Pubblici, fs 19, flo 73.

[11] ASNa, Tesoreria Generale, Assienti, serie Scrivania di razione, reg.953, f. 6, 8 aprile 1861.

[12] Annali Civili,1843, p.117.

[13] C.Celano,G.B. Chiarini, Notizie del bello , dell'antico e del curioso della città di Napoli, Napoli 1970, pp.56, 1483.

[14] Cfr. A.BUCCARO, *Opere pubbliche e tipologie urbane*, Napoli 1992, p. 66, 72.

[15] C.CELANO, G.B. CHIARINI, op.cit., p.2059.

[16] ASNa, Ponti e strade, I, fs 1239, inc. 21250.

[17] l'intera vicenda è in ASNa, Segretariato, I serie, 16/1.

[18] ASNa, Consiglio ordinario di Stato, Protocolli, reg.513.

[19] ASNa, Segretariato, cit.

[20] Francesco Paolo Bozzelli, nominato il 7 settembre 1848, lo stesso giorno in cui il Grande Archivio era ritornato, dopo un breve intervallo di tempo, alla Pubblica Istruzione.

[21] Angelo Granito principe di Belmonte divenne soprintendente agli archivi di qua dal Faro nel 1848 dopo che nel convulso periodo rivoluzionario più personalità si erano succedute nella carica lasciata da Spinelli nel 1847.

[22] Per questo periodo si veda ASNa, Ministero della Pubblica Istruzione, fs.6/II, flo 30, in particolare il rapporto del soprintendente Granito di Belmonte del 17 luglio 1854.

[23] ASNa, Consiglio ordinario di Stato, Protocolli, reg. 594.

[24] ASNa, Segretariato, I serie, 16/8.

[25] Su disegno del Lauria i locali già adibiti al Grande Archivio della Sommaria in Castel Capuano vennero trasformati per accogliere il Tribunale di Commercio in C. Celano, G.B. Chiarini, op. cit., p.449.

[26] il Lauria fu iscritto nell'albo degli architetti giudiziari dal 1844 (Ministero di Grazia e Giustizia, fs 1580, n.95) e condusse un' intensa attività di perito giudiziario.

[27] Cfr. G. ALISIO, *La pianta di Napoli (1872-1880)*, in *Cartografia napoletana dal 1781 al 1889* , a cura di G.ALISIO E V.VALERIO, Napoli1883.

[28] Ibidem, p.47.

[29] Bibilioteca Nazionale di Napoli, miscellanea S.Giacomo, 0261.

Andrea Lizza

Storia dell'illuminazione a gas nella città di Napoli

Con la scoperta dell'illuminazione a gas, l'umanità ha fatto un significativo passo avanti verso il desiderio di prolungare il giorno mediante la luce artificiale. L'illuminazione a gas fu anzitutto utilizzata negli interni, ma solo con l'estensione alla pubblica illuminazione acquisirà il giusto merito. La città di Napoli vanta il primato di essere stata nel 1837 la prima città italiana e la terza in Europa, dopo Londra e Parigi, ad essere illuminata a gas.

Importanza dell'illuminazione notturna: i primi impianti a olio

Il problema della pubblica illuminazione, realizzata dapprima mediante lanterne a olio, già verso la fine del Settecento era molto sentito nelle grandi capitali europee, infatti al calare delle tenebre le città venivano consegnate ai malfattori e quindi si imponevano delle urgenti misure di ordine pubblico per limitare reati e crimini che si perpetravano con il favore della notte.

A Napoli il problema fu affrontato per la prima volta nel 1770, quando per disposizione del governo, fu ordinato che tutti gli edifici pubblici, i palazzi dei ministri,degli ambasciatori e dei nobili di grande casato fossero dotati di fanali accesi tutta la notte alle porte ed agli angoli delle case.

Dopo alterne vicende si cominciano a sviluppare i primi impianti di illuminazione notturna, dal "Monitore Napolitano" si apprende che il 15 dicembre 1806 Napoli ha finalmente il suo primo impianto di illuminazione a olio, attrezzato e funzionante come quelli già esistenti nelle altre grandi città europee dove nel frattempo si stava sperimentando un nuovo sistema di illuminazione che utilizzava il gas.

Gli impianti di illuminazione a gas

Il gas compare a Napoli il 1 gennaio 1817 quando con decreto reale 611, Ferdinando I (già IV), concede la privativa per l'illuminazione a gas idrogeno della città di Napoli a Pietro Andriel di Montpellier ,tale diritto non verrà mai esercitato. Si dovrà attendere sino al 1837 quando il francese cav. Giovanni De Frigiere, in società con M.Bodin, A.Cottin e A.Jumel, chiede ed ottiene da Ferdinando II di poter illuminare la città con il gas prodotto dall'olio di oliva.

Il giovane sovrano, salito al trono nel 1830, anche se incolto, amava il progresso come dimostrerà in più di un'occasione favorendo l'applicazione delle invenzioni più recenti, avendo poi visitato Parigi illuminata dalla luce che i fanali a gas diffondevano e di cui era rimasto entusiasta, si trovò particolarmente favorevole alle richieste del Cav. De Frigiere e chiese espressamente un saggio relativo alla illuminazione a gas.

Primo esperimento di illuminazione a gas della città di Napoli

Il 10 settembre 1837, sotto gli occhi del re, delle autorità e del popolo entusiasta, si tenne il primo esperimento per illuminare a gas il porticato della basilica di San Francesco di Paola. Al calar del sole le 29 lanterne disposte nel porticato si accesero una dopo l'altra brillando di una luce bianchissima. Era nato il primo impianto di illuminazione a gas. Si tratta infatti della prima realizzazione, in Italia, di un impianto di produzione e distribuzione del gas. L'impianto sperimentale era costituito da un piccolo opificio retrostante ai portici della basilica di San Francesco di Paola, si trattava di un impianto per il cracking di olio d'oliva la cui erogazione oraria, occorrente per l'alimentazione dei 29 fanali (ciascuno dotato di due becchi della portata complessiva di circa 200lt/h), è stimata dell'ordine di 6mc.

L'impianto di concezione francese (fig. 1) era particolarmente ingegnoso. Era costituito da un fornello che su un lato esterno presentava un recipiente di latta da cui veniva distillato goccia per goccia dell'olio in un tubo di ferro del diametro di due pollici che attraversava il fornello. Il tubo veniva riscaldato e reso incandescente dal calore del carbone vegetale o fossile che serviva per tenere acceso il fornello, a seguito del riscaldamento si aveva la formazione del gas che passando attraverso una tubazione in piombo veniva avviato in alcune vaschette di olio per consentirne la purificazione ed eliminare parte del cattivo odore che il gas stesso emanava. La tubazione terminava nella parte inferiore di un gran tino di legno foderato internamente di piombo. Questo enorme tino presentava una capienza di circa quindici botti ed era coperto da un altro tino rovesciato di lamine di ferro avente dimensione minore e tale da lasciare un certo spazio di pochi pollici tra l'uno e altro. Lo spazio tra i due recipienti veniva colmato con acqua in modo da realizzare una guardia idraulica per impedire fughe di gas dal recipiente di accumulo. La parte superiore del recipiente tendeva a sollevarsi per la presenza del gas e, attraverso un sistema di carrucole, era collegata a un peso che si abbassava. Attraverso questo peso veniva calcolata la quantità di gas prodotta. Dal fondo del tino maggiore partiva un tubo in piombo che prelevando il gas al di sopra del livello dell'acqua, provvedeva alla adduzione del gas ai fanali che venivano accesi mediante un cerino, lo spegnimento avveniva mediante la chiusura di una chiave di intercettazione (barrage) che serviva anche per regolare l'afflusso di gas ai fanali. Il sistema era inoltre dotato di un mano-

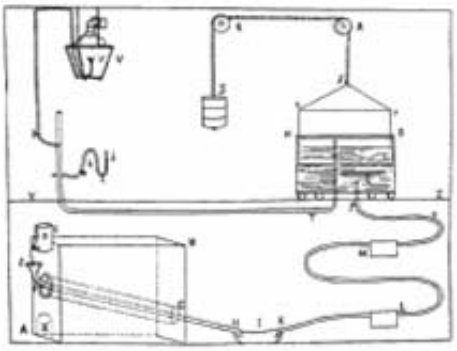


Fig. 1 - Apparecchio per l'illuminazione a gas idrogeno del portico di San Francesco di Paola

metro differenziale ad acqua per il controllo della pressione di erogazione del gas, inseribile mediante apertura di un'ulteriore chiave di intercettazione. Questa rudimentale campana gasometrica presentava una capacità di 7mc, la temperatura del cracking era compresa tra i 700 e 750°C, la resa in gas era pari a 0,55mc/Kg di olio trattato, la resa in condensati era pari a 138 gr/Kg di olio trattato, il potere calorifico superiore (P.C.S.) era pari a 10.000 kCal/mc, la densità del gas era pari a 0,84.

Il primo contratto di appalto per l'illuminazione a gas

A seguito del successo dell'esperimento, il re chiese di estendere l'illuminazione anche a Palazzo Reale ed alle strade adiacenti. Prima di procedere all'affidamento dell'appalto furono fatte alcune considerazioni in merito all'illuminazione a gas per stabilire se questo innovativo sistema potesse nuocere alla salute pubblica ed alla purezza dell'aria a causa delle esalazioni emesse, che tra l'altro erano presenti anche negli impianti di illuminazione ad olio. A riguardo furono interpellati illustri clinici e chimici del tempo che concordarono sul fatto che il gas sviluppato dall'olio non comportava alcun nocumento. Il 13 dicembre 1838 viene stipulato il contratto di appalto dell'illuminazione a gas con De Frigiere a cui si associano i napoletani Andrea Rocco e Nicola Scala appaltatori per l'illuminazione ad olio allora in funzione. Poichè la realizzazione degli impianti a gas non permetteva che l'appalto si facesse per un periodo breve, si convenne una durata di quindici anni, a decorrere dal 1 gennaio 1839, per il servizio a gas, e di sei anni per il servizio ad olio. Nel contratto il cav. De Frigiere si impegnava ad illuminare entro 15 giorni Palazzo Reale e l'inizio di via Toledo (avvalendosi dell'impianto retrostante la basilica di San Francesco di Paola) e entro un anno di installare 408 fanali, di cui 204 entro il primo semestre e gli altri nel secondo, realizzando per l'alimentazione dell'impianto una canalizzazione interrata lunga 62.010 palmi (16,120 km) il cui percorso era individuato in alcune piazze e vie principali della città racchiuse nel perimetro comprendente: via Toledo, via Chiaia, riviera di Chiaia, Chiatamone, largo Castello, Guantai Nuovi, Pignasecca, Monteoliveto, Port'Alba, via Tribunali, via Foria, Porta Nolana, strada Basso Porto. Il resto della città veniva illuminato ad olio fin quando una richiesta del Comune non avesse provocato l'estensione delle canalizzazioni e quindi la progressiva sostituzione delle lanterne ad olio con i fanali a gas.

Il contratto riporta minuziosamente informazioni e prescrizioni sulle modalità di erogazione del servizio di illuminazione. Tra l'altro, poiché l'effetto della luce prodotta con il gas doveva essere non meno del doppio di quella prodotta con le lanterne ad olio, è riportato un metodo piuttosto sommario per il controllo della luminosità dei fanali a gas che consisteva nel poter leggere a distanza doppia rispetto alla illuminazione ad olio. Le spese per l'impianto del gasometro, delle officine e della canalizzazione era-

no interamente a carico degli appaltatori. Riguardo all'olio da usare per la produzione del gas per ottenere un'illuminazione brillante veniva richiesto espressamente olio di oliva per rispettare una delle principali produzioni del regno e nel contempo si escludeva tassativamente la produzione del gas illuminante mediante l'uso del carbone sia fossile, che di legno. Particolarmente interessante è il capitolo relativo alle penali applicate agli appaltatori nei casi di ritardata accensione o anticipo dello spegnimento, non accensione, mancata pulizia delle lanterne, mancanza di gas etc. Il cav.De Frigiere, cede con atto notarile del 11 marzo 1839 al sig De Boissieu, negoziante di Lione, il contratto per l'illuminazione pubblica di Napoli. Questi insieme a cinque soci, tutti cittadini francesi, si fa carico di dirigere i lavori previsti dal contratto. Inoltre a seguito dell'osservanza di una disposizione reale, De Boissieu e Co. si impegnarono a riservare un quarto delle azioni della costituenda società anonima a cittadini napoletani, tra questi figurano banchieri, industriali, commercianti e tra gli altri il fratello del re, don Leopoldo di Borbone, conte di Siracusa, il gen. Carlo Filangieri, principe di Satriano, il conte Ettore Lucchesi Palli.

La realizzazione dei primi impianti

Inizia quindi la fase esecutiva dell'appalto che si rivelerà più lenta del previsto. Nel maggio del 1840 sono illuminati il teatro San Carlo ed altre importanti vie ma non risultano installati i 204 fanali programmati per il primo semestre. Lo stabilimento per la produzione del gas viene realizzato in una area di proprietà del Municipio situata nella contrada vico Cupa a Chiaia, i gasometri installati sono di produzione francese, mentre le tubazioni, i raccordi, gli strumenti e gli utensili provengono dalla fonderia napoletana Zino, Henry e Co. inizia così il benefico effetto dell'industria del gas sull'economia locale. Lo stabilimento si estende originariamente su una superficie di 550mq, in esso vengono ospitate 14 storte per la produzione del gas che liberano i prodotti della combustione mediante un camino di 128,52palmi (34m). Inoltre in adiacenza allo stabilimento vi sono due padiglioni di 500mq utilizzati per gli uffici ed i magazzini. La capacità gasometrica di primo impianto era di 2.000 mc su due unità uguali, la potenzialità dell'impianto era di circa 200mc/h, il processo produttivo era basato sul cracking dell'olio secondo un brevetto inglese che tra l'altro aveva avuto poche applicazioni in quanto era una tecnica poco progredita rispetto alla produzione del gas dal carbone di terra (litantrace) che a Napoli non si era voluto adottare. Lo stabilimento fu inaugurato il 28 maggio 1840 e subito dopo iniziano i primi problemi dovuti alla resa inadeguata dell'impianto attribuibile al ritardo nella consegna dello scisto, un elemento indispensabile per aumentare il potere illuminante del gas, ed in parte alle perdite di gas sulle canalizzazioni derivanti dalle varie giunzioni che si erano rese necessarie a seguito della presenza di altri sottoservizi nel sottosuolo (tubazioni d'acqua, serbatoi, fogne) che

avevano impedito un'uniforme posa delle tubazioni. Il 15 giugno 1840 un'esplosione, fortunatamente senza danni, destò molta impressione nell'opinione pubblica al punto di chiamare alla direzione dello stabilimento l'ingegnere Manduit. Ben presto si provvede alle necessarie riparazioni e si intensificano le azioni per vincere la resistenza all'utilizzo del gas anche per l'illuminazione domestica.

Gli impianti di illuminazione erano costituiti da pali in ghisa (fig. 2)
o da mensole su cui erano installate le lanterne o fanali a gas, la cui alimentazione proveniva dalle tubazioni stradali, ogni palo era dotato di un sistema di intercettazione del gas, le lanterne erano generalmente equipaggiate da due becchi che venivano accesi mediante un cerino da un accenditore o "lampionaio", un miglioramento delle caratteristiche dell'emissione della luce si fu ottenuta successivamente con l'introduzione dei becchi areati che consentivano una più uniforme regolazione della fiamma e quindi della stabilità della luce emessa rispetto a quelli a fiamma libera.

Le operazioni di accensione e spegnimento erano garantite da squadre di accenditori, dotate di una lunga asta con in cima un lumino e di lunghe e strette scale a pioli per gli interventi di manutenzione, tali squadre erano sottoposte al controllo di ispettori che verificavano l'andamento regolare del servizio.

La Compagnia di Illuminazione a gas della città di Napoli.

Il 7 gennaio 1841 viene costituita la Compagnia di illuminazione a gas della



Fig. 2 – Lampione a gas

città di Napoli con un capitale di 350.000 ducati, più di tre quarti delle azioni vanno a cittadini francesi disattendendo le indicazioni del contratto di appalto che prevedeva che un quarto dei titoli andassero a cittadini napoletani. La gestione societaria avviene attraverso una giunta di amministrazione composta da cinque membri di cui tre erano designati dagli azionisti napoletani e due dagli azionisti residenti a Lione. I nuovi capitali non sono ancora sufficienti a coprire le necessità dovute ai rilevanti errori di progettazione iniziali, due anni dopo la costituzione della società non risulta ancora ultimata la prima parte dell'impianto che prevedeva i 408 fanali a gas. In questo contesto gli azionisti della Compagnia il 6 aprile 1841, sostituirono l'Amministratore sig. De Boissieu con

il sig. Alfonso Pouchain che resse le sorti della Compagnia sino alla fine al punto di farla denominare Compagnia Pouchain in luogo di Compagnia del gas o Compagnia di Lione come si era usato fino ad allora. Il cambio del vertice della Compagnia avvenne in un momento critico a causa del rincaro del prezzo dell'olio di oliva che era l'unica materia prima prevista dal contratto di appalto e dalla difficoltà di reperire a buon prezzo lo scisto bituminoso e i noccioli di olive per il miglioramento del potere illuminante del gas, uno dei primi atti del sig. Pouchain fu quello di richiedere l'autorizzazione ad estrarre gas dal carbone.

Nel 1843 l'impianto di illuminazione è completato e, nel contempo, vengono avviate le trattative per l'estensione dell'illuminazione a gas ad altre strade centrali della città. Il Decurionato nel 1844 concede questa ulteriore estensione e permette anche l'estrazione del gas dal carbone fossile.

Ha così inizio l'importazione del carbone dall'Inghilterra che durerà fino ai primi anni successivi a quelli della guerra 1915-18. Nel maggio 1851 l'intendente di Napoli, con l'approssimarsi della scadenza del contratto di appalto (31 dicembre 1853), attraverso gli ambasciatori napoletani accreditati a Londra e Parigi fa chiedere informazioni circa i contratti in uso e sui sistemi di produzione adottati in quelle città, inoltre fa presentare all'impresa del sig. De Gosse di Parigi un'offerta da contrapporre a quella della Compagnia Pouchain. Nel 1854 il contratto d'appalto con la Compagnia Pouchain viene rinnovato per altri diciassette anni, con l'Unità d'Italia, il consiglio comunale che nel frattempo aveva sostituito il Decurionato non potendosi liberare del contratto del 1854 si appresta ad indire una gara d'appalto per la parte della città esclusa dalla precedente convenzione con la Compagnia. Alla gara partecipano oltre a Pouchain, un certo Accini ed Emilio Hemery in qualità di rappresentante della Parent, Schaken e Co. Nel 1862 il consiglio comunale, grazie al sostegno di Roberto Savarese, delibera l'appalto della illuminazione a gas alla Parent e Co., il sig. Pouchain intuendo il mutamento di rotta dell'amministrazione cittadina, cede alla Parent per la somma di 1.750.000 franchi, gli impianti ed i diritti derivanti dall'appalto del 1854.

La Parent si impegna a costruire un nuovo stabilimento entro diciotto mesi dalla consegna del suolo da parte del comune ed a realizzare la costruzione di una canalizzazione per la fornitura giornaliera di 4500mc di gas. Anche in questo caso il contratto è ricco di indicazioni circa le modalità di erogazione del servizio di illuminazione a gas, vi sono riportate delle minute prescrizioni per la sorveglianza del funzionamento dell'impianto, devoluta a dodici ispettori, uno per quartiere, che nelle loro ronde dovevano essere accompagnati da un accenditore.

La Compagnia Napoletana d'Illuminazione e Scaldamento col Gas

A seguito della delibera comunale del 1862, la Parent e Co. sottoscriveva il contratto d'appalto per l'illuminazione a

gas in nome di una costituenda società anonima con sede in Napoli con un capitale non inferiore a 2.500.000 lire. Il 18 ottobre 1862 viene costituita la Compagnie Napolitaine d'Eclaraige e de Chauffage par le Gaz, ed il Sig.Hemery è nominato direttore della Compagnia. Inizia così la fase di completamento dell'illuminazione a gas di Napoli.

Il nuovo opificio di produzione

Il nuovo stabilimento viene progettato dall'ingegnere Jean Daniel Colladon (1802-1893), nativo di Ginevra, e i lavori di canalizzazione vengono affidati all'impresa francese di M.Lacarriere. Per la realizzazione dell'opificio viene prescelta l'area situata sulle sponde del fiume Sebeto.

L'area presentava una estensione di 55.000mq di cui 1600mq destinati a deposito di carbone, l'inaugurazione avvenne il 21novembre 1863, alla presenza del principe ereditario Umberto di Savoia, che diventerà successivamente re Umberto I. L'impianto di produzione risultava costituito da:una sala di distillazione composta 4 gruppi di storte, ognuno di 9 storte con 8 forni, per un totale di 36 storte a riscaldamento diretto e caricamento a mano; due condensatori a canne d'organo, un estrattore, due gruppi di depurazione, due misuratori di fabbricazione, tre gasometri ad una sola alzata da 4.000 mc ciascuno, un regolatore di emissione per una condotta da 500mm, un magazzino per i refrattari, una tettoia per lo spegnimento del coke, un impianto idrico (pozzi) per i bisogni dell'opificio. La potenzialità di produzione del gas illuminante era di 25.000mc/giorno, con un potere calorifico di 5000 kCal/mc. L'area dello stabilimento crescerà successivamente fino a raggiungere un'estensione di 100.000mq. I lavori di canalizzazione procedono lentamente a causa di ritardi da parte della ditta F.Edwards di Glasgow nella fornitura delle tubazioni,il primo tratto di rete è di 135 km di tubi.

L'espansione della Compagnia Napoletana del Gas

Con la realizzazione del nuovo opificio di produzione e delle nuove canalizzazioni viene chiuso il primo stabilimento di Chiaia, la Compagnia si consolida sempre di più nel settore gas acquisendo sempre più clienti privati, nel 1881 viene acquistato un palazzo in via Chiaia 138 che diventa la nuova sede amministrativa della società. Una battuta di arresto nell'illuminazione a gas si ha nel 1884 durante l'epidemia di colera che provocherà a Napoli circa 7.150 vittime.

Progressi nelle tecniche di illuminazione a gas ed avvento dell'energia elettrica

Il progredire della tecnica ha fatto sì che nel corso del tempo si passasse dai primordiali becchi a fiamma libera a quelli areati migliorando sempre più le prestazioni dei fanali a gas, nello sviluppo si sono susseguiti successivamente: i becchi a farfalla, i becchi Argand, i becchi di tipo intensivo Siemens sino ad arrivare nel 1885, anno in cui il chimico austriaco Karl Von Welsbach Auer (1858-

1929) inventò e brevettò la reticella ad incandescenza, infatti costruì un becco (becco di Auer) per far uscire la fiamma in modo radiale e sopra vi pose una reticella o calzetta di fibra tessile (detta reticella di Auer o calzetta di Auer) che era ricoperta da ossido di torio e da una piccola quantità di cerio. La calzetta senza bruciare diventava incandescente e forniva una luce brillante bianchissima, a partire dal 1887 furono sviluppate le cosiddette lampade a mantello grazie all'utilizzo della reticella ad incandescenza, e utilizzati sul mercato becchi e lampade Auer che permettevano di ridurre notevolmente il consumo di gas a parità di intensità luminosa.

Nel 1885 compare l'illuminazione elettrica che costituirà un grave pericolo per la Compagnia del gas, l'amministrazione comunale, guidata dal sindaco Nicola Amore, pone, come condizione per il rinnovo della concessione che venisse accolta la facoltà di applicazione dell'illuminazione elettrica e la riduzione del prezzo al consumo.

La Compagnia tarda a prendere atto del pericolo che incombe dovuto alla concorrenza con l'elettricità e già nel corso degli anni a partire dal 1890, malgrado l'avvento della lampada Auer che costituiva una efficace alternativa in termini di intensità luminosa, rispetto alla lampada elettrica ad incandescenza, si comincia a rilevare una diminuzione nel consumo di gas a favore dell'elettricità.

Declino dell'illuminazione a gas

Nel 1893 la Compagnia del gas decide di intervenire nel settore elettrico acquistando il pacchetto di maggioranza della Società Generale di Illuminazione (SIG) e nel 1894 conclude un accordo con il Comune per l'illuminazione elettrica di alcune importanti arterie cittadine. La Compagnia abbandonerà nei primi anni del Novecento l'impegno nel settore elettrico. L'illuminazione a gas pur sopravvivendo, attraversa una fase di declino che diventerà sempre più marcata con il passare del tempo.

Il consumo pubblico per l'illuminazione diminuirà sempre più fino a scomparire del tutto tra il 1930 ed il 1935. L'ultimo lampione a gas della pubblica illuminazione fu spento nel 1935 e dei lampioni disposti sul lungomare che costituivano il cosiddetto filo di perle rimase solo il ricordo ed insieme ad essi quello degli accenditori che con le loro casacche blu vagavano nella notte con il fioco lumino in cima all'asta di cui erano muniti.

La tradizione continua

Anche se la funzione di illuminazione pubblica a gas è cessata da tempo, la tradizione dell'illuminazione a gas è sempre stata presente nella città di Napoli a ricordo dell'indiscutibile primato che vanta.

Attualmente nella città di Napoli sono in esercizio e perfettamente funzionanti quattro impianti di illuminazione a gas. La Compagnia Napoletana di Illuminazione e Scaldamento col Gas costituita nel 1862, è entrata a far parte del gruppo Italgas nel 1982 ed ha assunto la denominazione di Napoletanagas. Dopo aver trasformato a metano la rete citta-

dina di distribuzione del gas, ha donato alla città di Napoli il 28 gennaio 1985, l'impianto di illuminazione a gas del pontile di Castel dell'Ovo, costituito da 38 candelabri in bronzo, con una disposizione dei centri luminosi del tipo bilaterale affacciata. Ogni fila è formata da 19 candelabri equipaggiati con 3 lanterne all'inizio e alla fine e con due lanterne nei restanti per un totale di 72 lanterne, ogni lanterna è dotata di 6 reticelle Auer.

Sin dal 1881 sia il cortile della sede storica di via Chiaia che l'ingresso di via Santa Caterina a Chiaia della Compagnia del Gas, sono stati illuminati mediante dei lumi a gas.

A seguito dello spostamento della direzione da via Chiaia all'opificio di via Ferraris i quattro lumi del cortile interno del tipo a mensola (fig.3) per apparecchi portati, sono stati ricollocati, nel giugno2002, presso l'ingresso principale di via Ferraris.

Mentre presso l'antico ingresso di via Santa Caterina a Chiaia del Palazzo del Gas, si possono ammirare due lumi a mensola di pregevole fattura ottocentesca di proprietà Napoletana-gas, come ricorda la targa apposta il 10 giugno 2005. In entrambi i casi ogni lume è equipaggiato con 6 reticelle Auer.

Nel maggio del 2003, sempre a cura della Napoletanagas è stato ripristinato l'impianto di illuminazione a gas metano esistente nel chiostro del conservatorio musicale di San Pietro a Maiella.

L'impianto ammirabile dall'ingresso del conservatorio, è composto da 10 lumi del tipo a mensola per apparecchi portati, ogni lume anche in questo caso è equipaggiato con 6 reticelle Auer.

I moderni impianti di illuminazione a gas anche se esteticamente sono identici a quelli del passato, presentano una serie di accorgimenti che li rendono sicuri durante il loro funzionamento anzitutto a valle del rubinetto di intercettazione manuale al posto dei becchi c'è il bruciatore su cui attraverso dei supporti ceramici vengono installate le reticelle Auer, generalmente di tipo rigido a filato multiplo, l'alimentazione gas del bruciatore è comandata da una elettrovalvola alimentata in bassa tensione, l'accensione avviene attraverso un elettrodo con un sistema piezoelettrico comandato da un orologio temporizzatore, inoltre sono presenti delle sicurezze mediante cui nel caso di spegnimento della fiamma viene interrotta l'erogazione del gas.

Conclusioni

I lampioni a gas vengono oggi adottati particolarmente per illuminare aree monumentali, piazze, centri storici, giardini pubblici. Il loro uso serve a dare una illuminazione di accento, ovviamente le ragioni del loro impiego sono dettate da motivi di carattere estetici e non da principi tecnico-economici essendo evidente che sotto un profilo strettamente illu-

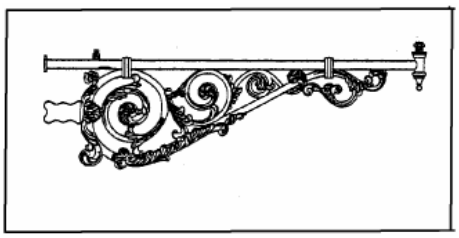


Fig. 3 – Mensola per lanterna a gas

minotecnico non si potranno ottenere risultati simili a quelli conseguibili con l'illuminazione elettrica. In compenso con l'illuminazione a gas è possibile evocare atmosfere suggestive e romantiche di altri tempi.

Ornella Cirillo

Illuminare le coste: i fari del golfo di Napoli nel XIX secolo

La "storia luminosa" delle coste del Regno di qua dal Faro - di cui questa indagine è l'anticipazione di un più ampio lavoro - vive nella seconda metà del XIX secolo una fase di notevole rilevanza, in virtù delle decisive scoperte scientifiche e della stretta sinergia instaurata tra figure professionali di differenti campi disciplinari quali l'ottica, la topografia, l'ingegneria, l'illuminotecnica[1].

Le molteplici opere volute dalla dinastia borbonica individuarono nelle infrastrutture pubbliche le risposte concrete al rilancio sociale del regno e nelle aree portuali uno dei principali "fulcri funzionali" delle città. La realizzazione delle opere pubbliche in quegli anni era affidata a competenti figure di scienziati-artisti, ovvero a tecnici "interessati all'applicazione delle moderne teorie scientifiche all'architettura delle nuove tipologie"[2] . La loro operatività, pertanto, si avvaleva di un continuo aggiornamento sulle innovazioni tecnologiche che lo scenario internazionale proponeva: il resoconto di Luigi Giura del *voyage d'istruction* voluto da Carlo Afan de Rivera e condotto in Europa tra 1826 e 1827, insieme agli alunni Agostino della Rocca e Federico Bausan[3], registra che, tra gli ambiti di interesse degli ingegneri, il tema dei fari aveva meritato particolare attenzione, dal momento che in quelle zone, dal 1819, si utilizzava un nuovo sistema di illuminazione, con l'applicazione del sistema di lenti studiato da Augustin-Jean Fresnel[4].

Nel territorio partenopeo ad approfondire e divulgare le conoscenze sul nuovo metodo di illuminazione dei fari apprese in Francia fu il fisico Macedonio Melloni[5] , il quale, nel 1836 sostenne la proposta del "Direttore della gran fabbrica dei fari in Francia, Signor Errico Lepaute costruttore de' fari lenticolari [...] di porre a proprie spese un faro lenticolare di 4° ordine nel porto di Napoli o di Nisida"[6]. Esperimento che, approvato e realizzato sul molo dell'isola nel luglio 1841[7] per il "primo faro lenticolare di qua dalle Alpi"[8], rappresentò un momento nodale per i sistemi di illuminazione costiera del regno borbonico, confermandone ancora l'indiscutibile vocazione europea[9]. Ma il vero primato sta nell'aver istituito dal 1841 una specifica "Commissione dei Fari e Fanali", allora incaricata di applicare il sistema lenticolare al golfo di Napoli. Sulla scorta dell'esperienza francese, quella borbonica affiancò il professor Melloni, "addetto all'applicazione delle lenti di Fresnel nei fari del Regno", l'alfiere Giovanni Vacca e l'ingegnere Ercole Lauria, responsabile dei progetti architettonici[10]. Questi, allievo e seguace delle teorie di de Fazio[11], da quando fu avvicinato al tema dei fari da Luigi Giura nel 1836 per il progetto della lanterna di Nisida insieme ad Alessandro Giordano[12], divenne l'"ingegnere dei Fari" del Regno di Napoli, occupandosi dei pro-

getti di costruzione e adeguamento delle torri del molo di Napoli, di Capri[13], di Castellammare[14], della punta della Campanella, di Procida, di Salerno[15], e di una serie di pratiche indirizzate alla crescita di quelle opere nel regno. Tale carica, svolta per anni senza rimborso[16], con la collaborazione degli ingegneri Eugenio Martuscelli, Luigi Galeone, Davide Torcia e del fratello Teodoro[17], si interromperà nel 1861, quando sarà sostituito dall'Ispettore Ludovico Bonino, perché il cantiere del faro di Capri che era stato trovato privo di "Direttore"[18].

Il programma luministico elaborato dalla commissione per il golfo di Napoli contemplava un totale di 10 fari: oltre a quello già attuato a Nisida, a Capri, alla punta della Campanella, a Castellammare, nel porto di Napoli sul molo e alla punta di San Gennaro; a Baia, a Capo Miseno, a Procida e a Forio d'Ischia.[19].

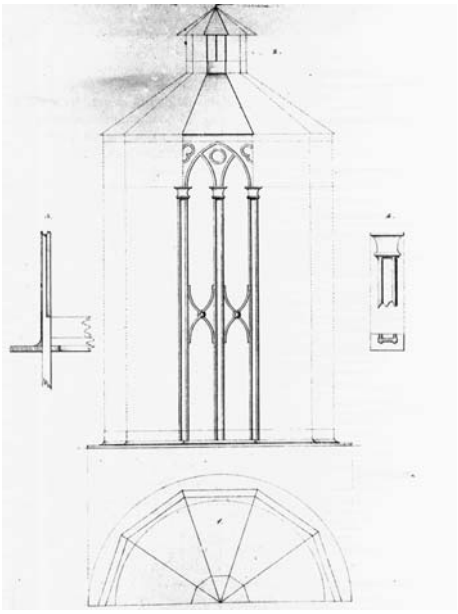


Fig. 1 – A.Giordano, E.Lauria, progetto della lanterna sul faro del molo di ponente a Nisida

A Napoli, il Lauria, dopo essersi occupato dell'inserimento degli apparecchi lenticolari giunti nel maggio 1842, seguì i lavori di "restauro" della torre del molo grande che presentava diverse lesioni: fece "fasciare la parte verticale della lanterna con anelli di ferro, ricostruire la scala interna in ferro e, poi, inserire - come a Nisida e Castellammare - dei ventilatori onde evitare che l'umidità velasse le lastre[20]. Sul promontorio sorrentino, nell'agosto 1843, servendosi dell'antica torre di guardia, detta Cavallara, l'ingegnere avviò la costruzione del nuovo faro a luce fissa, composto da due porzioni distinte: una rettangolare verso la costa, ad unico livello, l'altra semicircolare soprastante dalla parte del mare, sulla quale era disposta la lanterna prismatica[21]; al suo interno i soliti attrezzi: il candelabro di ferro, la tavola di servizio a ventaglio, l'apparecchio lenticolare di cristallo con gabbia di bronzo. A qualificare l'esterno inserì una raffinata decorazione in "stile Egiziano", forse ispirata ai piloni del ponte sospeso sul Garigliano progettato da Luigi Giura, e un uniforme rivestimento di stucco rosso[22]. Il faro della Campanella si accese nell'aprile 1847, insieme a quello sul monte Chiuppeto in Procida, per il quale Lauria elaborò i progetti architettonici sin dal 1840, mentre la scelta del sito in funzione della capacità di illuminazione, come a Capri, fu curata dal fisico Melloni e dal pilota Francesco Paturzo. Troppo elevata l'altezza della luce rispetto al mare nella iniziale collocazione "in mez-



Fig.2 – Foto storica del faro di Punta Campanella



Fig.3 – Faro di Punta Carena a Capri

zo del fortino disarmato", fu poi, disposto in un ripiano attiguo, corredandolo di "piazzetta innanzi" e "strada di discesa"[23].

Alla fine del 1847, dei dieci fari stabiliti sei erano attivi, e quello di Baia era in attesa di compimento dopo un lungo dibattimento col "Corpo Facoltativo Militare"[24]. Il ritardo in questo caso era dovuto all'interferenza con una struttura militare, la batteria della Tenaglia, verso la quale il nuovo faro avrebbe potuto trasformarsi in "segnale di batteria" inopportuno verso le flotte nemiche[25]. L'importanza di illuminare il ricovero marittimo di Baia, utile per navi di qualunque grandezza, spinse la Commissione dei Fari e Fanali, nel 1846, a insistere nello scopo, ricordando casi come quello di Castellammare, ugualmente costruito "in mezzo alle batterie", di Trapani, Siracusa, Palermo e Napoli, "circondate quasi per ogni verso dalle batterie"[26]. La soluzione arrivò dall'ingegnere Lauria che, informato sulle vicende dell'architettura del ferro napoletana, ipotizzò "la felicissima idea" di una torretta in ferro tale da potersi spostare all'interno del fortino, in caso di difesa[27]. Il disegno, approvato e lodato nel 1847 dal Direttore generale di Ponti e Strade Afan de Rivera, fu intrapreso nell'aprile 1850, quando l'ingegnere Lauria e l'appaltatore Perillo verificarono la resistenza del muro che avrebbe sostenuto la torre e stabilirono le opportune opere di manutenzione[28].

I nuovi fari ridisegnavano la geografia del golfo, mentre i più sapienti studiosi e amministratori marcavano sia la necessità di "concatenazione de' Fari del Golfo di Napoli con la illuminazione marittima de' littorali delle Calabrie, della Sicilia, ed isole circostanti"[29], sia quella di inserire a Ponza "il primo Faro del Regno"[30]. Addirittura nell'agosto 1841, il Sancio, in linea con la commissione, tentò di persuadere il Segretario di Stato a rimandare l'intervento al molo di Napoli se prima non si fosse "stabilito un piano d'illuminazione pe' due Golfi di Napoli, e di Baja, colle necessarie correlazioni al sistema generale dei Fari di tutto il Regno"[31]. I lavori alla torre del porto partenopeo, tuttavia, come è noto, iniziarono nel settembre 1841, perché Sua Maestà la voleva degna della sua "metropoli"[32]. Principi di magnificenza e mo-

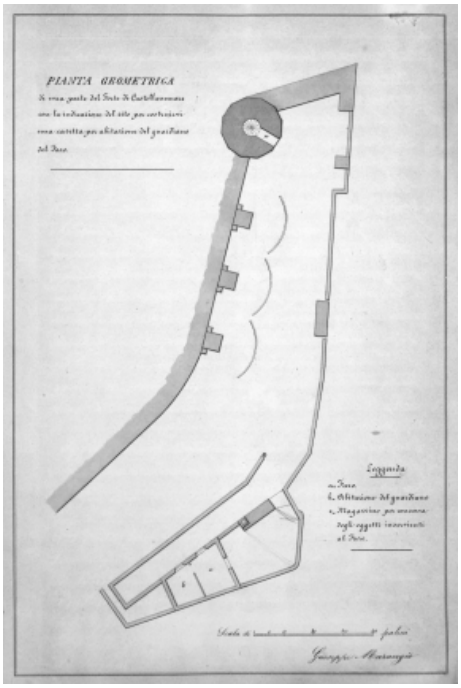


Fig.4 – G. Marangio, pianta di parte del forte di Castellammare
(ASN, Ministero Lavori Pubblici, 417)

dernità prevalevano su criteri funzionali e tecnici, per un sovrano che per la capitale del regno aveva programmi di grande prestigio.

Quando, nel 1857, a comporre la "Commissione dei Fari e Fanali" entreranno figure con differenti specialità, l'illuminazione delle coste del regno riuscirà a raggiungere una evidente sistematizzazione. Vi faranno parte: il Direttore dell'Osservatorio di Marina Mario Pa trelli, l'ingegnere geografo Giuseppe Marangio[33], il tenente di vascello Guglielmo Acton, il Direttore dell'Officio Topografico Fridolino Giordano[34] e, oltre al Presidente Pier Luigi Cavalcanti e a diverse figure militari, il Segretario Ercole Lauria e l'Ispettore di Acque e Strade Luigi Oberty[35], che a Ischia si era misurato col tema del faro nell'ambito degli interventi del nuovo porto voluto da Ferdinando II nel 1854[36] .

Il team di competenti, per un'organica direzione del piano - dall'isola di Ponza fino alle coste abruzzesi[37] - propose, per la prima volta, una classificazione dei segnali marittimi in base alla portata luminosa e alla funzione svolta da ciascun elemento nell'ambito dell'intera rete dei fari e, poi, nel 1860, grazie a Lauria e Marangio, redasse anche un *Regolamento generale* "da servire di norma alla Commissione per la edificazione dei Fari"[38]. Il loro *Piano generale per l'illuminazione sistematica delle coste de' Reali dominj di qua dal Faro*[39], pubblicato nel 1859, individuava tre tipologie: i "fari di scoverta", posti nei punti più sporgenti della costa, che emanano luce a notevole distanza; i "fari di riconoscenza" siti in prossimità dei porti; i "fari di richiamo" che indicano l'imbocco nel porto agevolando le manovre e diffondono luce a breve distanza. Collocando i fari di maggiore portata sui capi e sulle isole, quelli di portata moderata sulle punte secondarie e in prossimità degli ancoraggi quelli di minore "apparenza", delineavano una cintura luminosa di 67 elementi, de' quali esistendone solo 16 rimanevano da costruirne altri 51[40].

Il Decreto Reale del 24 marzo 1859, approvò la classificazione, concordò l'installazione di 41 dei 51 fari previsti, ma l' individuazione di un "grado d'importanza" fece sì che molti interventi si potessero rimandare.

L'assetto geografico delineato scaturì dal compimento di un viaggio intono al litorale del regno, il "giro d'ispezione de' porti del Regno" svolto nel 1858 dal Commissario di Marina Cavalier Camillo Quaranta, con la specifica indicazione di verificare "se le torri lungo il littorale de' Reali Domini continentali potessero ridursi a fari e come"[41]. Lo sfruttamento delle torri costiere era una consuetudine comune nella segnalazione dei confini terracquei sin dal Medioevo, quando ci si avvantaggiava di strutture turrite esistenti in funzione di fano[42] o di lanterna[43]. Nonostante le ripetute iniziative dei tecnici specializzati, nei venti anni di storia dei suoi fari, dall'esperimento di Nisida in poi, il regno di Napoli passò da una posizione di assoluto privilegio, a uno stato di totale svantaggio sia rispetto alla scena italiana che a quella mondiale, dovuta "non già all'opera nostra - scrisse Lauria per conto della "Commissione Permanente del Servizio de' Fari sulle Coste Continentali"- ma sibbene (al) ristagno cui imponevano la limitazione e ristrettezza delle Finanze"[44]. Le coste napoletane - dove mancavano ancora il faro di punta Carena a Capri, quello di Capo Miseno, quello di Pozzuoli sul ponte Caligola[45] - erano in grave ritardo sia rispetto allo scenario mondiale[46], sia rispetto all'Italia stessa, dove la Sardegna ne aveva 24, la Toscana 11, le Romagne ne presentavano 15 e la Sicilia "dal 1857 in poi ha illuminato l'intero suo littorale formando la universale ammirazione"[47].

Per recuperare lo scarto di questa porzione dell'Italia "signoreggiante nel

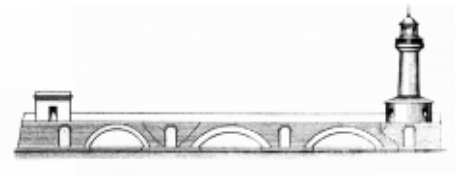


Fig. 5 – Faro di Nisida
(Album dei Fari, 1873)

mediterraneo", Lauria chiedeva di lavorare con rapidità ed economia sia delle torri sia degli apparecchi. L'imposizione di un diritto di "lanternaggio" come accadeva in molti paesi, garantirebbe la copertura economica; mentre per quanto attiene alle 53 fabbriche, consigliava una certa uniformità nelle torri, pur adeguata alle condizioni de' siti, l'uso di materiali presenti sui luoghi e, nei casi di scarsità di materie o di ampia distanza del sito (come già accadeva negli Stati Uniti, a Cuba, nelle Indie inglesi e della Turchia), si poteva adottare il "ripiego di costruire le torri in ferro"[48].

Lo squilibrio che caratterizzava il servizio dei fari italiani si risolse, poi, solo dopo l'Unità, quando fu istituita un'unica Commissione dei Porti, Spiagge e Fari, affidata al Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e, nel 1873, per palesare l'impegno del governo italiano nell'accrescimento dell'illuminazione delle coste e l'integrazione alla rete ancora poco uniforme dei sistemi esistenti, fu pubblicato il primo *Album dei Fari* del Regno d'Italia[49]. Un repertorio tecnico di fari italiani, esistenti o in progetto, composto suddividendo il vasto sistema di illuminazione costiero in quattro categorie tipologiche: "faro su fabbricato", "faro torre", "fuoco di porto" e "faro su for-

tezza". Un catalogo del patrimonio architettonico dei fari d'Italia, che mette in evidenza sia l'indubbia necessità di adattamento dei fari al sito di appartenenza, sia la prevalente adesione al linguaggio neoclassico.

L'eterogeneità degli esemplari presenti per il tratto di costa compreso tra Gaeta e Napoli (a torre alta, a torre bassa, a blocco basso e medio) risponde, certamente, alla premessa geografica poco omogenea, alla molteplicità di esigenze cui quel brano costiero doveva rispondere e alla diversa vicenda storica vissuta. Tra tutti si segnalano quelli di Nisida, singolare per la disposizione su molo a traforo, quello della Campanella, nella foggia realizzata col progetto di Lauria, e quello di Castellammare, a torre alta con "fusto" scanalato, secondo una reinterpretazione più fedele del modello dorico, che spettava, probabilmente, più alle prime sperimentazioni di de Fazio che alle elaborazioni di Lauria.

La prassi operativa ottocentesca, rielaborando la concezione teorica impostata da Laugier e Milizia, contemplava il principio della "invenzione" come "libera imitazione" che, attraverso l'uso razionale degli strumenti progettuali, si traduceva nella "invenzione ragionata" sostenuta da Pietro Valente[50]. In tal senso, il ricorso ai modelli formali e tipologici del repertorio monumentale classico passava a una fase analitica e interpretativa che, appropriandosi dello spirito, delle intenzioni del modello, giungeva ad una sua profonda comprensione. Il progetto dei fari, pertanto, in una fase ancora distante dall'approvazione di una veste squisitamente tecnica per manufatti come questi, secondo quell'iter progettuale, prediligeva involucri di stampo aulico recuperati dall'immaginario o dalla storia. Il modello di Alessandria d'Egitto prescelto per il suo effetto colossale, alimentava l'ideazione dei "fari a blocco", in cui la sovrapposizione di volumi quadrangolare, ottagonale, circolare e statua terminale, diveniva successione di alloggio per farista, torre, lanterna e sfera finale.

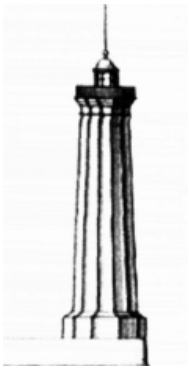


Fig. 6 – Faro di Castellammare (Album dei Fari, 1873)

La riproposizione dell'archetipo della colonna dorica nel "tipo a torre isolata", invece, accoglieva in sé valori legati al duplice valore di sostegno e di confine della colonna, in quanto tradizionale elemento di riferimento geografico per i naviganti, che nelle cosiddette "Colonne d'Ercole" individuavano il limite insuperabile delle terre note. L'espediente progettuale era passato attraverso la colta sperimentazione di Giuliano de Fazio per i fari di Nisida, Gallipoli e Pozzuoli, in cui, esasperando la funzione "classica" di sostegno, il fusto dorico diventò una

"colonna abitata" a supporto della lanterna con sistema lenticolare. Carelli ne fece un preciso principio progettuale, laddove suggerì che «per resistere all'urto delle onde, all'impeto del vento, ed a' continui passaggi dallo stato umido all'asciutto, la forma che a ciò meglio si convenga, si stima la conoidale, cioè sminuita sempreppiù ed irregolarmente dalla base alla cima, come quella del faro di Eddystone, ovvero di *colonna conica*»[51].

Anche la terminologia adoperata dai tecnici rievoca gli elementi canonici dell'ordine architettonico. Nella torretta di San Gennaro, Lauria, per installare il fanale lenticolare dovette "cambiare il capitello"[52] e "rafforzare il fusto"[53]; l'ingegnere Oberty, per il fuoco di porto sulla batteria di S.Maria a Gaeta, concepì una torre circolare su zoccolo di travertino, "in cima contornata da cornice dorica"[54]. L'ingegnere Marangio quando, con l'avallo di Lauria, nel 1861, predispose la sostituzione dei due fanali posti provvisoriamente all'imbocco del porto di Ischia[55], parlò della costruzione di due piccole torri tronco-piramidali con basamento decorato da "una semplice modanatura di fascia con toro", rifinite da "capitello" a doppio risalto[56]. Soluzioni classiciste che lasceranno il posto a configurazioni più sobrie e razionali, nelle forme e nei modelli, ammesse dallo spirito tecnicistico del secolo successivo.

[1] L'argomento dei fari italiani di recente si è dimostrato di notevole interesse, specialmente in relazione alla loro salvaguardia. Diversi i contributi, quindi, che gli studiosi vi hanno dedicato: F. FATTA, *Luci del Mediterraneo. I fari di Calabria e Sicilia. Disegni, rilievi e carte storiche*, Rubbettino, Soveria Mannelli (Cz) 2002, che costruisce una lettura, tra storia e mito, delle "sentinelle del mare" dislocate nel paesaggio costiero calabrese e siciliano; E. SIMONETTI, *Luci ed eclissi sul mare. Fari d'Italia*, Roma-Bari, Laterza, 2005, che ripercorre le coste italiane attraverso un suggestivo percorso fotografico e descrittivo di molte architetture esistenti; C. BARTOLOMEI, *L'architettura dei Fari Italiani*, Firenze, Alinea, 2005, invece, propone, oltre a una classificazione tipologica, un album di rilievi dei fari dell'Adriatico e dello Ionio. In relazione a questi studi, una tesi di laurea condotta da Giuseppina Esposito, da me seguita, nell'ambito del Laboratorio di Sintesi Finale coordinato dalla prof. C.Lenza, presso la Facoltà di Architettura della SUN, ha affrontato il tema dei fari in Terra di Lavoro durante il XIX secolo, offrendo lo spunto per questo lavoro.

[2] Cfr. A.Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Napoli, Electa Napoli, 1992, p.12.

[3] Cfr. la scheda di A. DI BIASIO, *Rapporto di Luigi Giura sul viaggio d'istruzione degli ingegneri di Ponti e strade in Francia (28 febbraio 1827)*, in *Scienziati-Artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, a cura di A.Buccaro, F.De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003, pp.259-260.

[4] Con l'applicazione degli studi dell'ottica alle lampade, nel 1819, A.J.Fresnel introdusse il sistema diottrico, caratterizzato da lenti e prismi circolari posti dinanzi alla sorgente luminosa per rifrangere i raggi di luce in tutte le direzioni. Il sistema catottrico, invece, produceva un singolo fascio di luce abbagliata con l'uso di specchi posti dietro alla sorgente luminosa. Le lenti di Fresnel, collegate a un

motore rotante, e variando la velocità del movimento, modificavano la luce in modo da darle significati differenti. Cfr. F. FARAONE, *Tecnica e funzione dell'ottica*, in *L'architettura dei fari*, cit., pp.74-75. Il sistema francese era apprezzato perché permetteva di "trar profitto dai raggi luminosi del faro, che sono diretti inutilmente altrove": M. MELLONI, *Alcune nozioni sui fari di rifrazione e sulla loro applicazione al Golfo di Napoli a proposito della nuova illuminazione del molo*, in «Lucifero», nn.9-10, 1843, p. 3. Successivamente la combinazione del sistema lenticolare di Fresnel alla luce elettrica "permise di ottenere vantaggi in termini di economia delle risorse e di potenza della luce rispetto a ciò che si aveva applicando le stesse lenti alle fiamme delle lampade a gas". Cfr. A. PETINO, *Tecniche e tecnologie*, in F. FATTA, *Luci del Mediterraneo*, cit., p.60.

[5] Macedonio Melloni (1798-1854) fisico noto per i pioneristici studi sul comportamento del calore raggiante, trascorse molti anni a Parigi e al ritorno in Italia fu nominato direttore dell'Osservatorio Vesuviano. Si rimanda a E. SCHETTINO, *Macedonio Melloni. Carteggio (1819-1854)*, Firenze, L.S. Olschki, 1994.

[6] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b.311, fs.14.

[7] Per gli interventi al porto di Nisida, oltre al citato lavoro di Buccaro, cfr. V. CARDONE, *Nisida. Storia di un mito dei Campi Flegrei*, Napoli, Electa Napoli, 1992.

[8] Cfr. G. CARELLI, *Ragguaglio di alcuni principali porti fari e lazzaretti de' Reali Dominii di qua dal Faro*, Napoli, Stabilimento Tipografico del Real Ministero dell'Interno, 1857, p. 51.

[9] A registrare con evidente competenza e precisione accadimenti e proposte in materia di fari, in quegli anni era Giuseppe Carelli "Ufiziale incaricato di queste e delle opere speciali nel Real Ministero de' Lavori Pubblici", il quale edotto e fornito della documentazione prodotta dalle prime istituzioni, ha costruito un utile racconto delle questioni affrontate tra 1855 e 1858. La sua produzione letteraria, pertanto, costituisce un imprescindibile supporto allo studio di queste tematiche; si segnalano: *Ragguaglio*, cit.; *Sommario di un reso-conto de' porti, fari e lazzaretti costruiti, in costruzione od in progetto ne' Reali Domini di qua dal faro a tutto l'anno 1855*, Napoli 1858; *Prospetto delle opere de' Porti fari e lazzaretti ne' Reali Domini di qua dal Faro a tutto il 1856*, s.d. ma 1857, Napoli, Tipografia del Cordellino.

[10] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b.311, ove l'Intendente Antonio Sancio (1840) per questi interventi insisteva affinché ufficiali di Marina "si combinino con i nostri Architetti per discutere bene l'Affare"; nonché E.C., *Nuovo sistema di fari nel regno*, in «Annali Civili del Regno delle Due Sicilie», XXXI, 1843, p.117. Il Lauria, ingegnere della generazione di Giura, Bausan, Luigi Giordano, operò molto nella realizzazione dei porti – Barletta, Gallipoli, Molfetta, Bari, Salerno – e nella prima ferrovia tra Napoli e Castellammare. Un riepilogo della sua attività per il sistema di illuminazione delle coste è in ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fs. 12, pp.44- 45.

[11] Lauria risulta presente nel Corpo di Ponti e Strade come "ingegnere aggiunto" nel 1834, di "seconda classe" dal 1841. Cfr. *La scuola di ingegneria in Napoli. 1811*-1967, a cura di G.Russo, Napoli, Istituto Editoriale per il Mezzogiorno, 1967, p.122, p.141. Sui legami con de Fazio si veda A. BUCCARO, *Opere pubbliche*, cit., p. 40 e *passim*.

[12] Era una lanterna decagonale di ferro fuso con colonnine in stile neogotico, illustrata nei disegni pubblicati in A. BUCCARO, *Opere pubbliche*, cit., p. 52, p.55, figg.37-38.

[13] I tecnici qui avrebbero desiderato due punti luminescenti: uno a punta Carena, verso ponente, uno rivolto verso le cosiddette "Bocche di Capri". I progetti del faro principale redatti e più volte modificati

dal Lauria, vennero "differiti ad altro tempo"; quando nel 1859 la questione riemerse per insediarvi un faro di 3° ordine, lo stesso Lauria, come rappresentante della Commissione Permanente, richiese "l'ispezione di un Ingegnere distinto" che individuò in Oberty, coadiuvato dall'ingegnere di dettaglio Martuscelli. Si rinvia ad ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 417, fs. 13.

[14] È documentato che qui il lavoro avviato dal Lauria all'inizio degli anni Quaranta, fosse completato dall'ingegnere Luigi Giordano, a quel tempo impegnato in costiera sorrentina anche per il collegamento stradale tra la città stabiese e Sorrento. Impreziosito dalla lapide con testo scritto da Camillo Quaranta in onore di Ferdinando di Borbone, committente della nobile impresa, venne corredato di alloggio per i guardiani nel 1861. Cfr. ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 417, fs. 1, ove è anche il grafico dal Marangio.

Per la precedente struttura a gas già posta nell'angolo occidentale del forte sull'estremità del molo si rinvia a C. VANACORE, *Castellammare di Stabia nel suo porto dalle origini al XIX secolo,* Napoli 1982, p.55.

[15] Il progetto del "molo isolato" del porto di Salerno con doppio faro terminale (1845) è in A. BUCCARO, *Opere pubbliche*, cit., pp.70-71, figg. 59-60.

[16] Si disse: "più perché ha egli acquistato in questo fatto conoscenze speciali, che perché ne abbia una nomina e destinazione formale"; *Relazione sullo stato dei porti e dei fari del Regno di Napoli*, verosimilmente del 1859, Ministero e Real Segreteria di Stato de' Lavori Pubblici, presso l'ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 329, fs.1, e trascritta da M.R.Pessolano, in *Sopra i porti di mare. II Il Regno di Napoli*, a cura di G.Simoncini, Firenze, L.S. Olschki, 1993, p.326, cui si rinvia anche per il saggio IDEM, *Il porto di Napoli nei secoli XVI-XVIII*, pp.67-123.

[17] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fs. 12, *passim*.

[18] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 331. Alla nomina della nuova Commissione seguì lo stanziamento nella nuova sede sita a Largo Dogana del Sale, n° 33, 4° piano.

[19] ASN, *Dettaglio presuntivo della Spesa per le Torri, le Macchine e per le Lanterne de' Fari del Golfo di Napoli*, elaborato dall'ingegnere Lauria e trasmesso dall'Intendente Sancio al Ministro degli Affari Interni il 15 dicembre 1841; ora in ASN *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, c.24.

[20] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 310, fs. 11.

[21] "Per lanterna si intende la porzione deputata a contenere l'apparecchio lenticolare; essa è chiusa da lastre, disposte in modo che gli uccelli marini non vi abbiano facile accesso, e conclusa da cupolino di rame con parafulmine che ripara dalla pioggia. Per eliminare ogni ostacolo possibile tra la luce e l'osservatore è negato l'uso di muri, colonne, imposte e consentito solo qualche fascia di bronzo per maggiore solidità della struttura". Cfr. G. CARELLI, *Ragguaglio*, cit., p. 48.

[22] Il motivo neo-egizio si ravvisava ne "i muri di forma a scarpa, e sormontati da una cornice di piperno di Sorrento, composta di una fascia, un tondino, un grande guscio con foglie e fondo tra esse"; cfr. *Descrizione Generale del Faro alla punta della Campanella*, 31 agosto 1862, redatta in occasione della consegna all'appaltatore Vincenzo Salvo per le opere di manutenzione, ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 417, fs 12.

[23] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fs. 6.

[24] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 312: la Commissione de' Fari e Fanali al Ministro dei Lavori Pubblici, 22 dicembre 1847.

[25] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 310, fs. 13.

[26] *Ivi*.

[27] *Ivi*.

[28] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 310, fs. 12.

[29] G. CARELLI, *Sommario*, cit., p.7. Il testo è corredato dello *Specchietto de' fari e fanali finora accesi sulle Coste de' Reali Dominii di qua dal Faro secondo le ultime ufiziali notizie pervenute al Real Ministero de' Lavori Pubblici*, che il Ministero dei Lavori Pubblici fece stampare il 10 luglio 1857 per distribuirlo sia nel regno che "allo straniero".

[30] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fs. 13.

[31] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 311, fs. 12.

[32] *Ivi*, c. 38.

[33] Su Giuseppe Marangio, ingegnere capitano dello Stato Maggiore dell'esercito italiano addetto alla Sezione Napoletana dell'Ufficio Topografico, entrato a far parte della commissione dei fari nominata con Real Rescritto del 3 Settembre 1857 come "Ingegnere Geografo", si rimanda alla scheda biografica in V. VALERIO, *Costruttori di immagini. Disegnatori incisori e litografi nell'Officio Topografico di Napoli (1781-1879)*, Napoli, Paparo, 2002, pp.116-117. Per i compiti svolti nell'ambito della Commissione dei Fari e Fanali cfr. ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 332, fs. 6.

[34] Fridolino Giordano fu direttore dell'Istituto Topografico Napoletano dal 1849 al 1860. Cfr. V. VALERIO, *Costruttori*, cit., *passim*.

[35] Il loro progetto culturale, illustrato nel *Rapporto*]*a S.A.R. il Conte di Aquila Presidente del Consiglio di Ammiragliato contenente il Progetto per un sistema generale d'illuminazione delle coste continentali del regno delle Due Sicilie redatto dalla Commissione nominata con Real Rescritto del 3 Settembre 1857 n°1150*, in ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 332, fs. 1, mirava a incentivare il commercio, rendere più sicura la navigazione, facilitare il compito della Marina Militare nella difesa del regno.

[36] Si rinvia, essenzialmente, al coevo saggio di B. QUARANTA, *Del nuovo Porto di Ischia aperto per comando di Sua Maestà Ferdinando II*, in «Annali Civili del Regno delle Due Sicilie», 53, fasc. 105, 1855, pp.13-17; a I. DELIZIA, *Ischia. L'identità negata*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1987, pp.231-232, nonché ad A. CARACOZZI, *Luigi Oberty e la diffusione del neoclassicismo nell'Italia meridionale*, Bari, Edipuglia 1999, pp. 33-36.

[37] Cfr. *Rapporto a S.A.R.*, cit., p.2.

[38] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 332, fs. 7. Lauria e Marangio nel 1861 si occuperanno anche "di ridurre ad uso di segreteria della Commissione dei Fari parte del locale dell'antico deposito di Leva (...) sito a Monteoliveto"; *ivi*. La corrispondenza inviata a questo gruppo di esperti registra i rispettivi domicili; Lauria risiedeva in Via S.Giuseppe de' Nudi 75, Oberty in via Monte di Dio 70 (*ivi*, fs.2).

[39] *Piano generale per l'illuminazione sistematica delle coste de' Reli dominj di qua dal Faro*, Napoli,

Stamperia del Vaglio, 1859, con introduzione di Carelli.

[40] Cfr. *Rapporto,* cit., p.31.

[41] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 312, fs.3.

[42] Per fano si intende una torretta costiera con sola funzione di proteggere i fuochi segnalatori. La torre di avvistamento, ben più grossa, poteva fungere anche da torre lanterna. S. Nucifora, *Punti di vista*, in F. Fatta, *Luci del*, cit., pp.35-37.

[43] Camillo Quaranta nel *Memorandum intorno ad un sistema d'Illuminazione delle coste dei Reali Domini di qua dal Faro ad uso dei Naviganti*, redatto il 9 febbraio 1858, suggerì di illuminare prima di tutto i "capi" della penisola inserendo fari nuovi a Vieste, a Capo S.Maria di Leuca, nell'isola di S.Andrea – da connettere allo specifico "lume" del nuovo porto di Gallipoli –, a S.Paolo vicino Taranto, a Capo Colonna vicino Crotone, a Punta Infreschi presso Sapri; sfruttando torri esistenti, invece, sia a capo S.Vito presso Taranto, che a Capo Spartivento, estrema punta della Calabria, dove furono subito spediti l'ingegnere Beniamino Trinchera e Augusto Bernard, commesso del costruttore Lepaute. Il fs. 3 della b. 312 del fondo *Ministero dei Lavori Pubblici*, riguarda il progetto del faro di Capo Spartivento, avviato "sulla base dell'antica e corrosa torre colà esistente, utilizzandosi non meno la sua pianta che il materiale risultante", nel febbraio 1859. L'ingegnere di Acque e Strade Beniamino Trinchera ipotizzava una torre circolare addossata al blocco di base, rifinito da fasce continue bugnate e cornice merlata.

[44] Cfr. *Relazione della Commissione Permanente pel servizio de' Fari al Dicastero dei Lavori Pubblici*, 29 Gennaio 1861, in ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 333, fs. 5.

[45] Nel 1860 si stava lavorando a questo faro; le descrizioni dell'Ingegnere di Ponti e Strade Beniamino Trinchera e del Tenente del Genio Giuseppe Marangio riportano che fosse composto dalla stanza per il custode sotterranea e dalla "torretta" circolare in parte "cavata nel pilone a simiglianza della casetta" e in parte "prolungata con fabbrica nuova", che "va restringendosi ad imbuto conico ... conterminato da un poligono ottagonale", su cui è posata la lanterna chiusa con lastre doppie"; in alto la calotta sferica, con una piccola palla; l'analisi minuta, fino alla elencazione degli strumenti e dell'arredo, è in ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 333; il grafico è anche in R. Parisi, *Luigi Giura 1795-1864. Ingegnere e architetto dell'Ottocento*, Napoli, Electa Napoli, 2003, p. 23.

[46] "Il littorale della Francia ne conta 280. In Inghilterra ascendono a 390. Nella Spagna un piano di illuminazione fatto nel 1850 trovasi completamente eseguito. Negli Stati Uniti d'America l'adozione del sistema lenticolare e la riorganizzazione di un sistema di fari la quale non rimonta che al 1853, è ora interamente compiuta, contando in sì breve tempo più di 400 Fari". ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b. 333.

[47] *Ivi,* nonché b. 312.

[48] *Ivi*.

[49] Ministero dei Lavori Pubblici del Regno d'Italia, *Album dei fari, illustrato dalle notizie intorno ai loro caratteri e posizione, non che da quelle intorno alle spese di costruzione ed impianto e di annuo loro mantenimento ed illuminazione*, Roma, Tipografia Laudi e Steffen, 1873.

[50] C. Lenza, *Monumento e tipo nell'architettura neoclassica. L'opera di Pietro Valente nella cultura napoletana dell'800*, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 1997, p.60.

[51] Cfr. G. CARELLI, *Ragguaglio*, cit., p. 48.

[52] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b.311, fs.9.

[53] Cfr. G. CARELLI, *Sommario*, cit., p.39.

[54] ASC, *Intendenza Borbonica*, *Bonifiche*, b.52, 203.

[55] Si trattava di candelabri in ferro su colonne di ormeggio, "rassomiglianti a quelli messi in via Toledo", a luce colorata per non confonderli col faro.

[56] ASN, *Ministero dei Lavori Pubblici*, b.417, fs.8.

MARCO GUERRIERI, ROBERTA MARINO, ALESSANDRO CRISAFULLI

La pianificazione stradale in Sicilia prima dell'Unità d'Italia

Introduzione

Il 5 aprile 1778 il Parlamento siciliano deliberava un "atto pianificatorio" in cui venivano individuati gli itinerari stradali necessari a favorire il commercio isolano.

Nell'aprile del 1808 venne istituita una Giunta preposta alla costruzione delle strade che, come primo atto, formulò delle istruzioni mirate alla classificazione delle strade rotabili. La carenza di fondi economici da destinare alle attività manutentive, indusse inoltre il Parlamento siciliano ad introdurre il pedaggio nelle strade principali.

Nel periodo compreso tra il 1778 ed il 1824 furono costruite 252 miglia di strade consolari, la maggior parte delle quali si dipartivano a raggiera da Palermo. Nella restante parte della Sicilia i collegamenti erano ancora sporadici e di modesta estensione a causa della carenza di fondi e per difficoltà di natura geologica ed orografica. Trascorso poco più di un decennio la rete viaria siciliana presentava, complessivamente, un'estensione di 505 miglia (anno 1838).

Il Decreto n. 4996 del 17 dicembre 1838 stabiliva che le strade da costruirsi fossero dichiarate d'interesse provinciale o comunale e che l'onere economico per la costruzione delle stesse sarebbe gravato sulle finanze delle Amministrazioni competenti, a cui lo Stato avrebbe concesso mutui esclusivamente per le "opere particolarmente meritevoli". Nel 1838 venne, inoltre, istituita la Cassa di Soccorso per le Opere Pubbliche con l'obiettivo di fornire prestiti alle Province e ai Comuni per accelerare le costruzioni stradali.

Nel successivo periodo, compreso tra il 1839 ed il 1852, furono completate circa 447 miglia di strade.

L'ultimo incremento costruttivo avvenne a seguito della costituzione della Commissione dei Lavori Pubblici (1850): infatti, il Luogotenente Generale del Ministero fu autorizzato, nel 1852, a completare 652 miglia di strade. Nel 1860 la rete viaria presentava una lunghezza totale di 1.505 miglia.

Le strade romane in Sicilia

Le strade romane presentavano requisiti tecnici ben precisi e opere d'arte che assicuravano la stabilità del corpo stradale, nonché sovrastrutture con caratteristiche funzionali idonee al transito dei mezzi di trasporto dell'epoca. La funzione principalmente assolta dalle infrastrutture era di tipo bellico. In Sicilia, già dal 241 a.c. furono individuati e costruiti dai Romani alcuni itinerari atti a favorire il rapido spostamento degli eserciti nelle zone in cui erano prevedibili attacchi da parte dei Cartaginesi e segnatamente, la strada Palermo-Agrigento, e la Messina-Palermo, che tagliavano lungo i versanti Nord-Sud ed Est-

Ovest l'isola. Seguirono a questi, ulteriori interventi atti a sviluppare una rete in grado di fornire i necessari collegamenti per imbarcare i prodotti della pastorizia e dell'agricoltura. Le principali fonti bibliografiche in grado di fornire un quadro esaustivo della viabilità dell'epoca sono l'*Itinerarium Antonini*[1] , redatto verosimilmente durante l'impero di Diocleziano e Costantino, e la *Tabula Peutingeriana*[2] , che mostra la Sicilia in forma allungata per evidenziarne la consistenza della rete stradale. Quest'ultima opera, che secondo le fonti più accreditate sarebbe stata elaborata da un monaco di Colmar nel XII o XIII secolo d.C., indica i nomi delle località che ciascun itinerario congiungeva e l'estensione dello stesso, espresso in miglia (1 miglio romano equivaleva a circa 1.480 m). Singolare è la rappresentazione rettilinea dei tracciati e della conformazione della Sicilia che appare affusolata e non presenta la classica forma a tre punte[3] .

In base all'Itinerarium Antonini si possono individuare i seguenti itinerari:

- Agrigentum -Panormo-Lilybeo[4] .
- Messina-Catania, con ramo verso Syracusis;
- Catania-Agrigentum;
- Catania-Agrigentum (itinerario diverso dal precedente)
- Lilybeo-Agrigentum-Syracusis (via interna);
- Drepanis-Messana;
- Agrigentum-Syracusis (via litoranea).

Molte delle strade costruite dai Romani ricalcavano i tracciati più antichi dell'isola. Per tale ragione la geometria era spesso particolarmente tortuosa e con forti pendenze, al contrario di quanto si verificava sulla viabilità della Penisola, in genere contraddistinta da lunghi rettilinei, pendenze adeguate agli standard dell'epoca, con formazioni di rilevati, talvolta molto alti, viadotti molto lunghi e trincee profonde. Le strade siciliane, a causa della conformazione dei territori attraversati presentavano, di frequente, elevate pendenze longitudinali (a volte superiori al 25%) che ne disincentivavano il transito a favore, ove possibile, di altre modalità di trasporto come quello via mare mediante barche adibite a cabotaggio di medio-corto raggio.

Il convincimento che l'attenzione del Governo centrale verso le infrastrutture siciliane fosse modesto, deriva anche dal non aver rinvenuto nell'isola tracce significative di infrastrutture romane; tale disinteresse, verosimilmente, aumentò dopo le guerre puniche, conclusesi con la distruzione di Caratgine.

La strada Agrigentum – Panormo, è probabilmente la strada più antica costruita dai Romani. L'itinerarium Antonini consente di tracciarne il percorso attraverso le stazioni che erano individuate nelle località di Agrigentum (Agrigento), Pitinianis (Aragona o Raffadali), Comicianis (Castronovo), Petrine (verosimilmente Lercara o Vicari), Pirama (probabilmente Mezzoiuso), Ponormo (Palermo).

È interessante osservare che l'unica testimonianza di questa infrastruttura, ma anche di tutte le strade romane in Sicilia, deriva da un "miliare" scoper-

to in località Zuccarone (Corleone) nel 1954. Diversamente dalla maggior parte di quelli rinvenuti in altre aree d'Italia, la forma del miliare è parallelepipeda e non cilindrica.

L'itinerario più importante era costituito dalla Via Valeria che congiungeva Messana con Lilybeo. Le stazioni erano individuate nelle seguenti località: Drepanis, Aquis Segestanis sive Pincianis, Parthenico, Hyccara, Panormo, Solunto, Thermis, Cefalodo, Haleso, Caleate, Agatinno, Tindaride, Messana, Trajectus.

I percorsi delle altre strade (via Pompeia, via Selinuntina, via Elorina, ecc..) sono desumibili dalla Figura 4.

Caratteristiche geometrico-funzionali delle strade romane

Le prime strade romane presentavano tracciati piuttosto tortuosi, andamenti altimetrici irregolari e pavimentazione costituita da ghiaia compattata. A seguito della spinta espansionistica e delle attività militari, si rese necessaria la costruzione di infrastrutture atte a permettere il rapido spostamento delle truppe ed il raggiungimento dei territori conquistati. In sintesi, in una prima fase le strade erano legate a funzione di pastorizia e transumanza del bestiame, successivamente vennero utilizzate per scopi bellici e commerciali.

La carreggiata delle strade principali presentava una larghezza di 14 piedi romani (4,1 m) in modo da poter permettere non solo la circolazione contemporanea dei veicoli nei due sensi di marcia (un carro era largo mediamente 1,10 m), ma anche il sorpasso di un carro lento o parcheggiato[5]. Ai margini della carreggiata erano presenti due marciapiedi in ghiaia compattata, ciascuno largo circa 3 m. Dunque, la piattaforma stradale risultava di circa 10 m.

Altre caratteristiche geometrico-funzionali, desumibili ad esempio dai resti dalla via Appia[6], evidenziano il grande progresso ingegneristico raggiunto dai Romani. Infatti, le strade più prestigiose presentavano:

- Tracciato planimetrico prevalentemente rettilineo;
- Carreggiata larga 4 m. La configurazione della piattaforma carrabile era a doppia falda, in modo da agevolare lo smaltimento delle acque meteoriche;
- Marciapiedi (crepidines) in terra battuta;
- Cordoli laterali (umbones) a delimitazione della pavimentazione;
- cippi e colonne a distanza di un miglio.

Inoltre, era consuetudine realizzare attraversamenti pedonali, costruiti mediante pietre rialzate (in modo da conferire uniformità altimetrica tra i marciapiedi), poste con interasse tale da non costituire ostacolo al transito dei carri.

Le sovrastrutture stradali[7] erano realizzate secondo la seguente tecnica: in una prima fase si asportava la coltre vegetale di terreno, quindi si approfondiva lo scavo sino al raggiungimento di un piano di posa sufficientemente stabile. Quest'ultimo veniva adeguatamente compattato mediante pestelli; nel caso di terreni molto compressibili si praticavano delle infissioni di tronchi d'albero

al fine di ottenere un'efficiente stabilizzazione del sottofondo. Sul piano così formato, veniva realizzato lo "statumen" costituito da pietrame di grossa pezzatura (spessore di circa 30 cm); ciascun elemento era posto di coltello (talvolta si ricorreva ad avviluppare il pietrame con malta). Al di sopra dello statumen, veniva realizzato uno strato chiamato "*ruderatio*", sempre in materiale sciolto ma di pezzatura minore. Il terzo strato, chiamato "*nucleus*", era realizzato con ghiaia assortita. Infine, al di spora del nucleus, si realizzava la "*summa crusta*" con del sabbione. La pavimentazione così formata presentava adeguata portanza, anche perché, ciascuno strato, prima della posa di quelli superiori, era sottoposto a costipamento meccanico, mediante battitura a mano o con rulli di pietra tirati da buoi. Lungo le vie di maggiore importanza si realizzava un ulteriore strato di completamento, dal nome "*saxum quadratum*", mediante un basolato di pietra quadrata in basalto o calcare compatto.

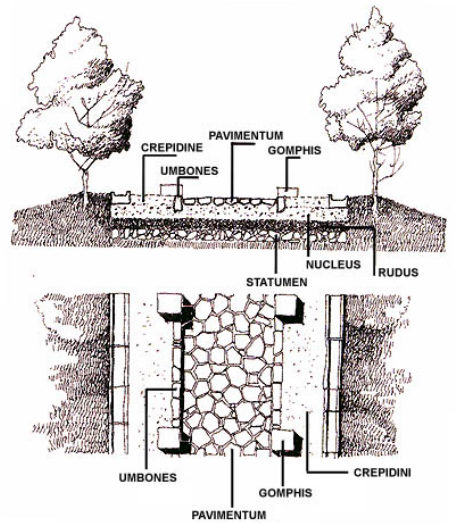


Fig.1 – Caratteristiche geometriche di una strada romana (fonte: www.viaflaminia.org) Periodo compreso tra il VI ed il XVII secolo

Le pavimentazioni stradali costruite con questa tecnica erano adatte al transito dei mezzi dell'epoca, in genere costituiti dal "*carrus*" a quattro ruote a raggi (*rotae radiatae*) trainato da muli o buoi. Talvolta, per lo spostamento delle persone si utilizzava la "carruca", in diverse configurazioni (ad esempio la "carruca dormitoria" veniva utilizzata per i lunghi viaggi).

Per quanto attiene la classificazione della viabilità, si può operare la seguente gerarchizzazione: le strade più importanti venivano chiamate *Viae Lapidibus Stratae* (presentavano pavimentate con i "basoli"); le strade secondarie erano le *Viae Glareatae stratae*, nelle quali lo strato superficiale della pavimentazione era realizzata semplicemente con ghiaia compattata (summa crusta); infine, vi erano le *Viae Terraneae*, in cui la pavimentazione era realizzata in terra battuta. Le dominazioni che si susseguirono in Sicilia nel periodo compreso tra la caduta dell'Impero Romano (VI secolo) e l'avvento dei Borboni (XVII secolo), diedero modesta importanza al miglioramento della rete stradale isolana.

Agli inizi del 1700 la popolazione era pari ad un milione di abitanti. A seguito dell'incremento del numero di comuni, verificatosi attorno al 1600, nel corso del tempo la popolazione si era sempre più spostata dalle aree interne verso le coste. Nonostante lo sviluppo demografico ed urbanistico, la maggior parte delle

viabilità era ancora costituita da sentieri privi delle necessarie opere d'arte per l'attraversamento dei torrenti o dei fiumi, che generalmente venivano attraversati a guado. Soltanto tra il 1400 ed il 1500 si registra la realizzazione di alcune strade nei territori della capitale. Tale arretratezza aveva implicazioni sia di natura economica, sia sociale. Quest'ultimo aspetto, secondo alcuni studiosi, spiegherebbe il carattere del siciliano dell'epoca che "*rimase poco comunicativo e soprattutto diffidente, poco disposto alle novità e verso le comunicazioni con il mondo esterno*"[8].

La viabilità nell'epoca borbonica

La dominazione spagnola in Sicilia comincia nell'estate del 1734 quando Carlo III di Borbone diviene Re di Napoli e di Sicilia, in seguito alla vittoria riportata dagli spagnoli sugli austriaci, nello stesso anno.

Durante i primi decenni di governo, non fu intrapresa alcuna pianificazione infrastrutturale con la conseguenza che i collegamenti stradali risultavano assolutamente antiquati e rappresentavano un fortissimo deterrente alla crescita economica della Sicilia. A tal proposito, un economista siciliano dell'epoca, Vincenzo Emanuele Sergio, pubblicò una "*Lettera sulla pulizia*[9] *delle pubbliche strade in Sicilia*" in cui venivano spiegate le ragioni per le quali la realizzazione di nuove strade avrebbe migliorato le condizioni socioeconomiche della regione. Tra queste furono menzionate: la riduzione dei costi di trasporto, la migliore accessibilità ai feudi da parte dei Baroni, la maggiore sicurezza per i viaggiatori che spesso morivano nell'attraversare i fiumi a guado, la migliore accessibilità ai territori interni ed il conseguente incremento della produzione agricola, ecc...

I primi interventi sulla viabilità degni di nota furono deliberati dal Parlamento siciliano in data 5 Aprile 1778. La delibera prevedeva la costruzione di una rete stradale principale (o l'adattamento delle strade esistenti al carreggio) che per la maggior parte si dipartiva da Palermo, in grado di favorire il trasporto di uomini e merce dal centro dell'isola verso la capitale ed i porti. Per le opere previste venne considerato un "donativo"[10] pari a 24.000 scudi. Gli itinerari programmati erano i seguenti:

1) Palermo-Girgenti con una diramazione verso il caricatore di Siculiana;
2) Palermo-Sciacca;
3) Palermo-Mazara, con diramazione per il caricatore di Castellammare e per quello di Piazza Armi di Trapani;
4) Palermo-Messina per le montagne con diramazione per il caricatore di Tusa ed uno per Cefalù;
5) Cefalù-Messina;
6) Palermo-Caltagirone con diramazioni per i caricatori di Licata, Terranova e per quello del Contado di Modica;
7) Caltagirone-Noto con un ramo per Piazza D'Armi di Siracusa e Agosta;
8) Palermo-Catania.

Nell'aprile del 1808 fu istituita una Giunta[11] preposta alla costruzione delle strade che in una prima fase si occupò della classificazione delle rotabili. Que-

ste furono suddivise in tre classi di importanza, segnatamente:

- 1° classe: *traverse consolari*, mettevano in collegamento la Capitale con un'altra città principale, o collegavano queste ultime;
- 2° classe: *traverse principali*, collegavano i centri minori con la capitale o con un'altra città principale oppure si immettevano sulle strade consolari o su altre strade principali;
- 3° classe: *traverse secondarie*, funzionali alla comunicazione tra i comuni minori.

Preso atto che le opere già realizzata con i finanziamenti previsti dalla delibera Parlamentare del 1778 erano solo una modesta parte di quelle programmate, la Giunta decise di stornare la rimanente aliquota dei contributi stanziati nel trentennio precedente per la costruzioni o il ripristino delle strade consolari. Per quanto attiene le traverse principali, gli oneri di costruzione e manutenzione sarebbero gravati sia sulle casse dei Comuni interessati, sia sui fondi limitrofi al "corridoio di passaggio" della strada, entro una fascia di sei miglia. La costruzione e la manutenzione delle traverse secondarie sarebbe stata finanziata esclusivamente dai fondi dei Comuni attraversati dalle strade.

Nel febbraio del 1810 venne istituito dal Parlamento il pedaggio sulle strade principali ma, a seguito del malcontento generale, il provvedimento fu ritirato nel giugno dello stesso anno. Nel mese di gennaio del 1814, furono nuovamente istituiti i balzelli sulle strade principali con l'intento di rimpinguare le casse dei Comuni carenti del denaro necessario per attività di costruzione e manutenzione stradale.

Il 10 Agosto 1824 il Parlamento emise un Decreto in forza del quale veniva ricostituita la carica del Soprintendente Generale di Strade e Ponti[12], soppressa nel 1819, il cui ruolo sarebbe stato quello di presiedere l'esecuzione delle opere e l'amministrazione con responsabilità diretta. Inoltre, lo stesso Decreto indicava che la costruzione e la conservazione delle strade regie[13] e dei ponti in Sicilia era affidata al c.d. Luogotenente Generale.

Nel periodo compreso tra il 1778 ed il 1824 furono costruite 252 miglia[14] di strade consolari, la maggior parte delle quali si dipartivano a raggiera da Palermo. Nella restante parte della Sicilia i collegamenti erano ancora sporadici e di modesta estensione a causa della carenza di fondi e per le molteplici difficoltà tecniche.

Nel 1824 le principali strade in esercizio erano:

- Palermo-Ficarazzi-Bagheria-Altavilla- Trabia-Termini;
- Palermo-Misilmenri-Marineo;
- Palermo-Misilmeri-Ogliastro-Villafrati-Roccapalumba-Vallelunga;
- Palermo-Altofonte-Piana degli Albanesi;
- Palermo-Monreale-Borgetto-Partinico-Valguarnera-Alcamo;
- Palermo-Capaci-Carini;
- Palermo-Capaci-Cinisi.

Era inoltre stata intrapresa la costruzione delle seguenti infrastrutture:

- Salemi-Marsala (costruite 4 miglia);

- Cainicatti-Campobello di Licata (costruite 4 miglia);
- Termini-Caccamo (costruito 1 miglio); Bivio Gigliotto-S. Michele;
- alcune tratte in vicinanza di Girgenti.

Trascorso poco più di un decennio la rete viaria siciliana presentava, complessivamente, un'estensione di 505 miglia (anno 1838). Ulteriori provvedimenti per il completamento della rete stradale si ebbero a seguito del Decreto n. 4996 del 17 dicembre 1838.

Questo documento stabiliva che le strade da costruirsi fossero dichiarate d'interesse provinciale o comunale e che l'onere economico per la costruzione delle stesse sarebbe gravato sulle finanze delle Amministrazioni competenti, a cui lo Stato avrebbe concesso mutui esclusivamente per le "opere particolarmente meritevoli". Inoltre, nel mese di dicembre dello stesso anno, fu istituita la *Cassa di Soccorso per le Opere Pubbliche* con l'obiettivo di fornire prestiti alle Province ed ai Comuni per accelerare le costruzioni stradali ed altre opere pubbliche importanti. A titolo esemplificativo, basti pensare che dal 1843 al 1849 la Cassa finanziò prestiti per la costruzione di strade della rete principale (come il collegamento Catania-Siracusa) e di quella secondaria (Canicattì-Comitini; Canicattì-Licata; Trapani-Marsala; Montelepre-Partinico). Ulteriori finanziamenti consentirono di procedere nella ultimazione di altre strade; a tal riguardo, è stato stimato[15] che tra il 1839 ed il 1852 le nuove strade realizzate raggiungevano un'estensione complessiva di 709 Km.

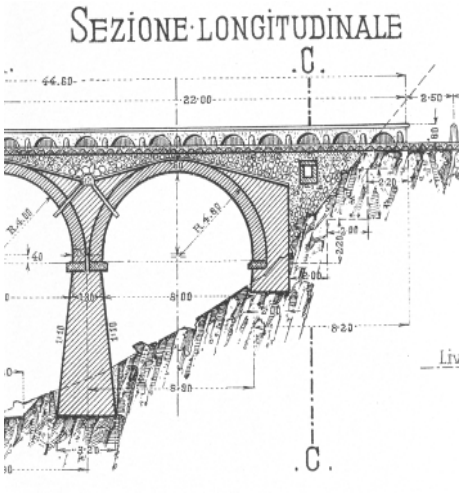


Fig.2 – Sezione longitudinale di un ponte (E. Miozzi, Manufatti stradali, *Hoepli 1929)*

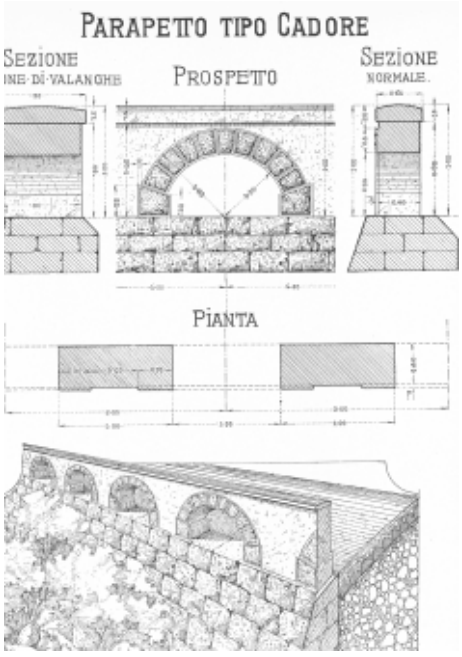


Fig. 3– Parapetto stradale (E. Miozzi, Manufatti stradali, Hoepli 1929)

La rete siciliana, al 1852, era stata integrata dai collegamenti: Siracusa-Floridia; Noto-Modica-Ragusa; Vittoria-Scoglitti; Comiso-Chiaramonte; Catania-Lentini-Siracusa-Noto-Pachino.

Con il Decreto del 7 febbraio 1850 venne affidata la supervisione dei Lavori Pubblici al Ministro presso il Luogotenente Generale; inoltre, con lo stesso atto si costituì la Commissione dei Lavori Pubblici, delle Acque e delle Foreste.

Nel 1852, il Luogotenente Generale del Ministero veniva ufficialmente autorizzato a compiere una trattativa con una Società per il completamento di 652 miglia di strade. Le principali opere individuate dal rescritto del 15 Aprile 1852, e l'estensione delle strade sono quelle riportate in *tabella 1*.

Nel 1860 le strade di Sicilia offrivano un aspetto singolare: moltissime erano iniziate, poche erano complete, in alcune mancavano i ponti, in molte poi le pendenze troppo forti e la mancanza di opere di sostegno e di completamento rendevano pressoché impossibile il traffico. Lo sviluppo complessivo delle strade isolane era di circa 2.200 km, corrispondenti.

Tale situazione di arretratezza della viabilità Siciliana e del Sud Italia, in genere, non era più tollerabile, se si considera che nel Centro-Nord Italia esisteva "*un normale sviluppo di strade e non rimaneva che a sistemarsi alcuni tronchi presso ai valichi alpini ed appenninici ed a rifarsi i ponti distrutti in gran parte nella ritirata degli austriaci*"[16].

ITINERARIO	ESTESA [miglia]
Fiumetorto-Gioiosa (PA-ME)	87
Cerda-Gangi	54
Gangi-Nicosia	10,5
Leonforte-Nicosia-Mistretta	35
Sant'Agata-Bronte	38
Patti-Randazzo	32
Caltanissetta-Piazza	28,5
Piazza-Castrogiovanni	18
Piazza-S.Michele-Caltagirone	16,5
Caltagirone-Vizzini-Floridia	56
Palagonia-Fondaco Primosole	20,5
Ragusa-Vittoria-Terranova	39
Terranova-Piazza	26
Comitini-Cast.mini-Torrente Saraceno	28
S. Giuseppe Jato-Corleone	20
Corleone-Sambuca-Sciacca	40
Sambuca-Partanna	21
Salemi-Marsala	12
Salemi-S.Ninfa-Castelv.no	11
Castelvetrano-Mazara	14
Mazara-Marsala	18

Tab.1 - Opere individuate dal rescritto del 15 Aprile 1852

[1] Si ritiene che il nome Antonimi si riferisca ad *Antonino Caracalla*. Il documento riporta oltre agli itinerari, le stazioni (mutationes) e le distanze in miglia.

[2] La carta, originariamente costituita da dodici fogli, è custodita presso la biblioteca Nazionale di Vienna. Il suo nome deriva dal Senatore Konrad Peutinger che l'aveva ricevuta in dono.

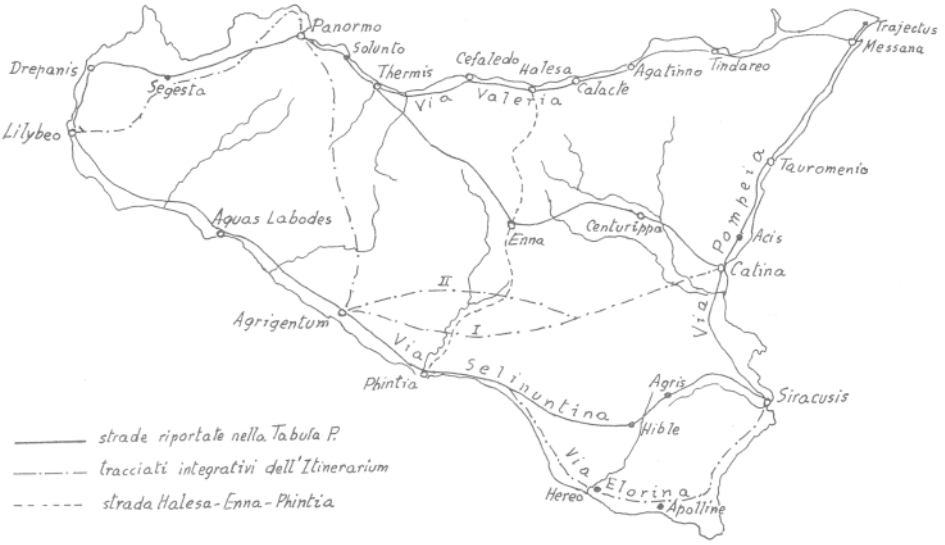


Fig.4 – Le principali strade romane in Sicilia (fonte: G. TESORIERE, Viabilità antica in Sicilia, dalla colonizzazione greca all'unificazione (1860), *Zedi Italia, 1993)*

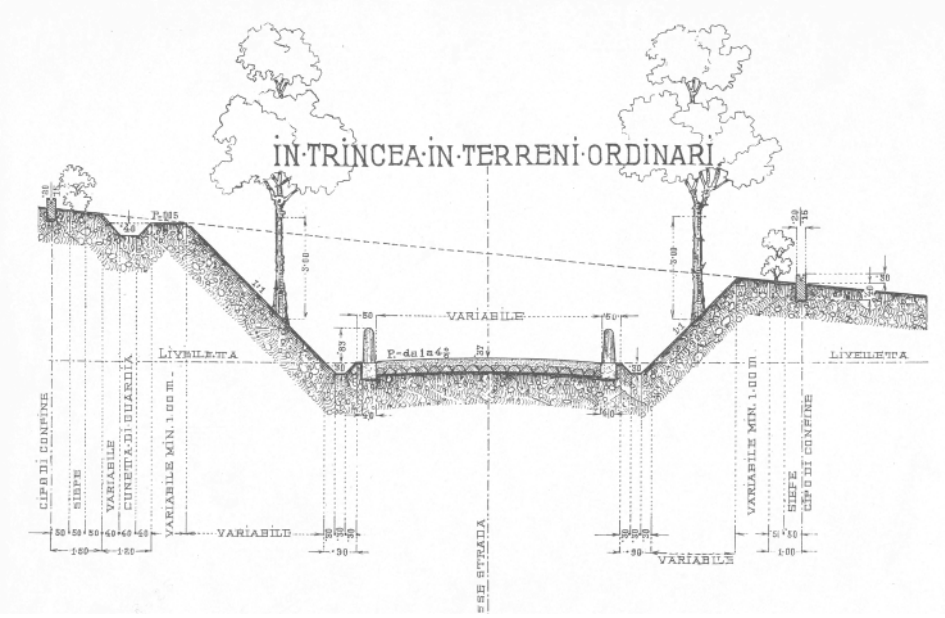


Fig.5– Sezione stradale tipo in trincea (E. MIOZZI, Manufatti stradali, Hoepli 1929)

[3] Sin dai tempi antichi la caratteristica forma le aveva fatto attribuire il nome di trinacria.

[4] Marsala.

[5] P. DI MASCIO, A. RANZO, *Le pavimentazioni delle strade romane*, «L'industria italiana del cemento», n.805, gennaio 2005.

[6] La via Appia fu costruita dal censore Appio Claudio nel 312 a.C. per collegare Roma con Capua. In seguito il tracciato stradale fu prolungato, contestualmente alle nuove conquiste romane, nel territorio dell'Italia meridionale. La strada raggiunse dapprima Benevento (colonia romana dal 268 a.C.), Venosa (colonia già dal 291 a.C.), Taranto (conquistata nel 272 a.C.) per aver termine a Brindisi, in modo da agevolare le comunicazioni militari e commerciali con la Grecia, l'Oriente e l'Egitto.

[7] Alle sovrastrutture stradali è demandata la funzione di trasmettere allo strato di sottofondo i carichi di traffico; inoltre, lo strato superficiale deve fornire valori adeguati di aderenza, che si manifesta in corrispondenza dell'area di contattato tra ruota e pavimentazione.

[8] G. TESORIERE, *Viabilità antica in Sicilia, dalla colonizzazione greca all'unificazione (1860)*, Zedi Italia, 1993.

[9] La parola "pulizia" indica "politica".

[10] Contributo annuale, denominato donativo perché si accordavano a richiesta del viceré al Parlamento.

[11] Il Soprintendente Generale fu il Conte di Priolo.

[12] Il primo Soprintendente fu il Conte di San Marco.

[13] Lo stesso Decreto indica che per *strade regie* devono intendersi quelle che collegano la Capitale con Messina, Catania, Girgenti, Siracusa e Trapani. La larghezza delle strade regie era fissata in 46 palmi (circa 12 m) comprensivi delle cunette per lo scolo delle acque di piattaforma.

[14] Un miglio borbonico equivale a 1480 m circa.

[15] G. PEREZ, *La Sicilia e le sue strade*, 1861

[16] Ministero dei Lavori Pubblici, *Cenni monografici sui singoli servizi*, vol. II: Le strade ordinarie nazionali, Roma 1878

MARIO MANGANARO

Infrastrutture ottocentesche della costa tirrenica orientale della Sicilia

Premessa

Alla fine del XIX secolo si completano una serie di infrastrutture[1] iniziate già in periodo borbonico ed in particolare si porta a termine (1895) la tratta ferroviaria Palermo-Messina (via Cerda), che aveva ceduto la precedenza alla tratta (via Vallelunga), che toccava i distretti minerari dell'interno e la città di Catania per raggiungere indi Messina per l'imbarco verso il continente.

La costruzione della strada Palermo-Messina per le marine aveva preceduto la tratta ferroviaria di quasi mezzo secolo, permettendo una continuità del percorso stradale costiero a lungo attesa e portata a termine solo nel 1859.

La difficoltà principale che si presentava obiettivamente per la costruzione delle infrastrutture sulla costa, oltre agli interessi politici dei centri che si trovano prossimi alla traiettoria e che tentavano di attirarla nelle proprie vicinanze, consisteva nel superamento delle asperità dei capi e dei promontori, che si protendevano numerosi sul mare e che imponevano gallerie e ponti, ambedue di notevole mole. La struttura delle strade rotabili in Sicilia si completa nel corso di quasi un secolo ed esattamente alla fine del governo borbonico. Nel periodo postunitario la rete ferroviaria dell'isola inizia il faticoso percorso, in ritardo rispetto alle altre regioni, per raggiungere un assetto compiuto alla fine del sec. XIX. In questo lavoro, pur facendo riferimento alla rete complessiva dell'isola, si tratta in particolare delle infrastrutture viarie e ferroviarie comprese nella zona costiera tirrenica della provincia di Messina.

Sulla rotabile PA-ME via marine

La storia moderna della rete stradale siciliana[2] ha praticamente origine nella seduta del 5 aprile 1778, in cui i tre bracci del Parlamento siciliano approvano il tracciato delle nuove strade rotabili: Palermo-Girgenti, Palermo-Sciacca, Palermo-Catania-Messina con numerose traverse. Inizia così a formarsi la nuova rete stradale dell'isola, che avrà una prima conclusione positiva alla vigilia dell'impresa dei Mille.

All'inizio del 1779 il governo incarica il conte colonnello Lorenzo Persichelli, ingegnere napoletano, per la progettazione del tracciato della rotabile Palermo-Messina per le montagne. Nello stesso anno s'iniziano i lavori da Palermo verso l'interno ed in alcuni punti di maggiore difficoltà, come ad es. a capo Taormina, dove vengono impiegati forzati per i lavori con le mine. Nonostante l'allontanamento del Persichelli, che alla fine di settembre del 1780 viene autorizzato dal re a ritornare in patria, i lavori in qualche modo continuano sotto la direzione dell'ing. Ferdinandi, tanto che nel 1783 vengono dati in ap-

palto i primi tratti della Palermo-Messina per le marine sotto la soprintendenza del barone Egidio Pucci Ioppolo.

Difficoltà si presentano dopo il terremoto del 1783, tanto che si dovette riparare numerosi ponti. Il maestro Silvestro La Farina infatti nel settembre del 1784 scriveva alla deputazione chiedendo il pagamento delle riparazioni per i ponti di Caronia e Zappulla. Dopo l'esposto dei giurati di S. Piero Patti furono date 20 onze a Francesco La Bua, capomastro della deputazione, per relazionare sul complesso dei lavori per il ponte S. Caterina, eseguiti nel 1789 dal maestro Basilio Oddo. L'ing. Cristoforo Cavallaro compilò per il governo (22 agosto 1787) una relazione sulle riparazioni ai ponti Rosmarino, Inganno, Furiano, Caronia, Pettineo e Tusa[3]. I reclami dei corrieri postali erano continui, tanto che prima (1745) il duca Alliata e poi D. Ignazio Branciforte, luogotenente dell'ufficio della Correria, avanzarono urgenti richieste al governo affinché non si perdessero i corrieri con i dispacci reali durante l'attraversamento dei *mali passi*[4].

Nonostante una riparazione dei *mali passi* effettuata nell'aprile 1788, l'inverno successivo il luogotenente della posta D. Francesco Artale faceva presente alla deputazione che il corriere Luciano Sparatore si era trovato in grave pericolo rischiando di perdere le valigie della staffetta nei pressi di Tusa.

Si continuerà così fino alla vigilia dell'Unità d'Italia, quando si completa la rotabile per le marine.

La richiesta, fatta nel 1787 al sovrano di far ritornare nell'isola l'ing. Persichelli, viene respinta allo stesso modo di quella, fatta al vicerè, per la venuta di un ingegnere o capomastro francese, che avesse diretto lavori stradali in Corsica. Il Villabianca infatti in una visita fat-

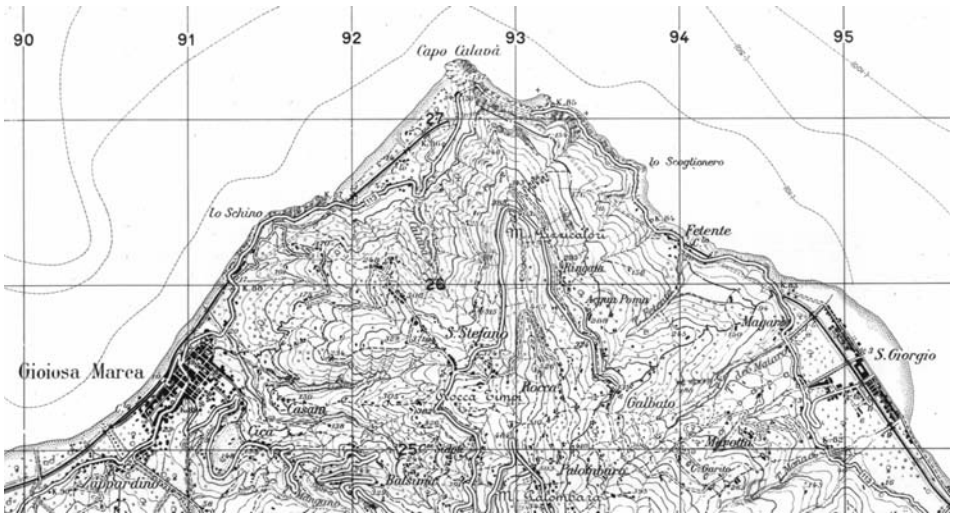


Fig. 1 - Stralcio della Carta I.G.M. di Capo Calavà nei pressi di Gioiosa Marea

ta in quell'isola riportava a modello la situazione stradale ivi trovata.

La deputazione per mancanza di manodopera specializzata sospende dal 1786 tutti i lavori fino al 1795, quando dopo una breve ripresa, per cause politiche e militari si viene a creare una situazione critica, per cui si bloccano i lavori per circa 20 anni. La svolta sopraggiunge con il regio decreto del 10 agosto 1824, che istituisce la *Soprintendenza di Strade e Ponti*, formata da un ispettore, un ingegnere capo, quattro architetti progettisti e direttori dei lavori, che sotto la guida del luogotenente generale dirige i lavori e amministra i fondi. Vengono nominati soprintendente il conte di S. Marco e ispettore il barone Fatta[5].

Nel frattempo l'ing. Andrea Arena che aveva effettuato nel 1821 la valutazione dell'intero tratto Messina-Tusa, appronta tra il febbraio 1823 e il marzo 1825 il progetto del primo tronco (Messina-Divieto) della Messina-Patti, che superava il tratto dei Peloritani corrispondente al colle San Rizzo. Nel settembre del 1830 la strada raggiungeva contrada Tavolazzi al margine del villaggio di Gesso; passando vicino al convento di S. Francesco di Paola con numerosi tornanti si perveniva al torrente Gallo e quindi all'abitato di Bauso.

Fu presentato dall'ing. Arena nel febbraio 1833 il progetto per il tratto da Bauso a Barcellona quasi del tutto pianeggiante. Nonostante l'impegno della popolazione che, mentre i mastri lavoravano ai ponti sui torrenti, collaborava attivamente ai riempimenti nel tratto fino al fiume Muto, si registrarono frequenti ritardi nei pagamenti, tanto che è documentata la minaccia di sciopero dell'ing. Arena, che chiede la paga dell'onorario.

La costruzione dei tratti Barcellona-Oliveri e Patti-Gioiosa risulta più diffi-

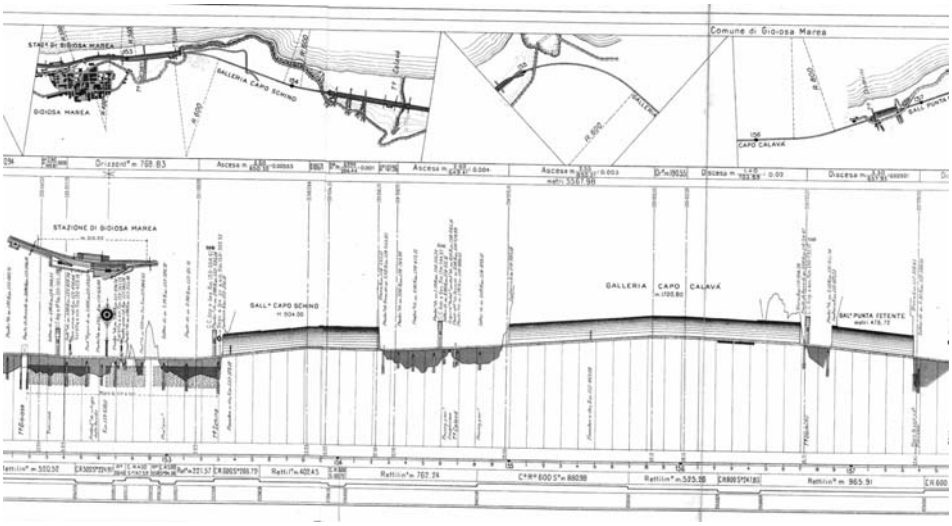


Fig. 2 - Stralcio progetto tratta ferroviaria nei pressi di Capo Calavà (arch. R.F.I. Messina)

coltosa incontrando sulla loro traiettoria numerosi *mali passi*. Nel 1835 il luogotenente generale ordina che la Barcellona-Tindaro si realizzi in piano ad un miglio dal mare senza tener conto degli esposti dei comuni collinari; così pure l'intendente di Messina, marchese della Cerda, risponde che la rotabile serve per la posta, per i militari e per l'accesso alla capitale.

Le difficoltà finanziarie proseguono. Nel 1836 gli ingegneri Arena e Palermo progettano la traccia per un percorso carrabile, che va dal fondaco del Tindaro al torrente Zappulla, evitando i *mali passi* del Tindaro, di capo Calavà, delle frane di Naso, ecc. Alle richieste dell'intendente di Messina, comm. De Liguoro, il governo temporeggia.

L'ispettore Camillo De Tommaso presenta una relazione sulla Tusa Patti, individuando per circa 48 miglia un percorso a ridosso dei colli che supera con vari ponti i torrenti Tusa, Caronia, Furiano, Inganno, Rosmarino, Zappulla, Naso, Brolo e Scinà e passa con un traforo Capo Calavà per raggiungere Patti (fig. 1).

Nel 1842 gli ingegneri Aurineta e Cassetta preparano i progetti esecutivi con alcune varianti migliorative e i lavori sono aggiudicati a D. Pasquale Lanzara. Nel marzo del 1845 l'intendente De Liguoro scrive che occorrono ancora 30000 ducati per completare la galleria di capo Calavà e che sono stati anticipati dal Lanzara. Il 31 novembre 1844 è ultimata la Messina-Patti. Tutto si fer-

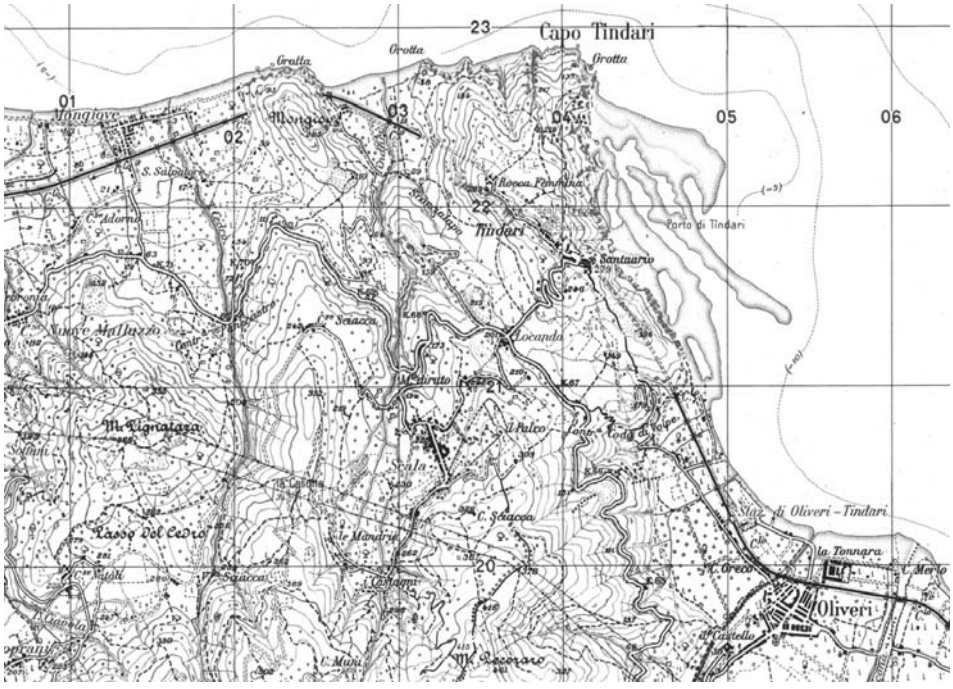


Fig. 3 - Stralcio della Carta I.G.M. di Capo Tindari nei pressi di Patti

ma durante la rivolta del 1848-1849. Ritornato sul trono Ferdinando II, viene approvato (5 aprile 1852) il nuovo piano di costruzioni stradali, che contiene al primo posto la costruzione del tratto Fiumetorto-Gioiosa di 89 miglia.

Finalmente nel 1856 nel tratto finale Gioiosa-S.Agata-Tusa dopo la conclusione della prima parte si lavora in direzione di Capo d'Orlando. Il 21 giugno 1859 la società Risitano completa il terzo e quarto lotto della rotabile e costruisce numerosi ponticelli sotto la direzione dell'ing. Gaetano Priolo. L'accelerazione dei lavori si ha a causa della cessione del tratto Furiano-S.Stefano dall'appaltatore F. Vita in subappalto al barone Don Giuseppe Risitano e soci. Tutta la strada è completata nel marzo del 1859.

Un discorso a parte meritano i ponti, che sono oltre alle gallerie i tratti di maggior difficoltà del tracciato stradale. Si trasformano gli antichi ponti da vetturali in carrozzabili e più spesso si spostano le rotabili verso monte per trovare terreno più solido per le fondazioni. Una commissione ha l'incarico di completare i lavori interrotti durante la rivolta; tutti i lavori pubblici (R.D. 7/2/1850), acque e foreste sono affidati al ministero presso il luogotenente generale.

Negli ultimi anni del regno borbonico si cerca di porre rimedio all'interruzione delle rotabili, a causa delle alluvioni e delle piene torrentizie, con la costruzione di nuovi ponti sulla Palermo-Messina per le marine.

Nel 1853 viene approvato il piano delle nuove strade (256 miglia) compresi i nuovi ponti. La commissione dei lavori pubblici chiama come consulenti di progetti e materiali i professori dell'università di Palermo.

Con la riorganizzazione dell'apparato si riesce a migliorare notevolmente la qualità delle costruzioni stradali[6]. Nel 1857 si ricostruiscono i ponti sul fiume

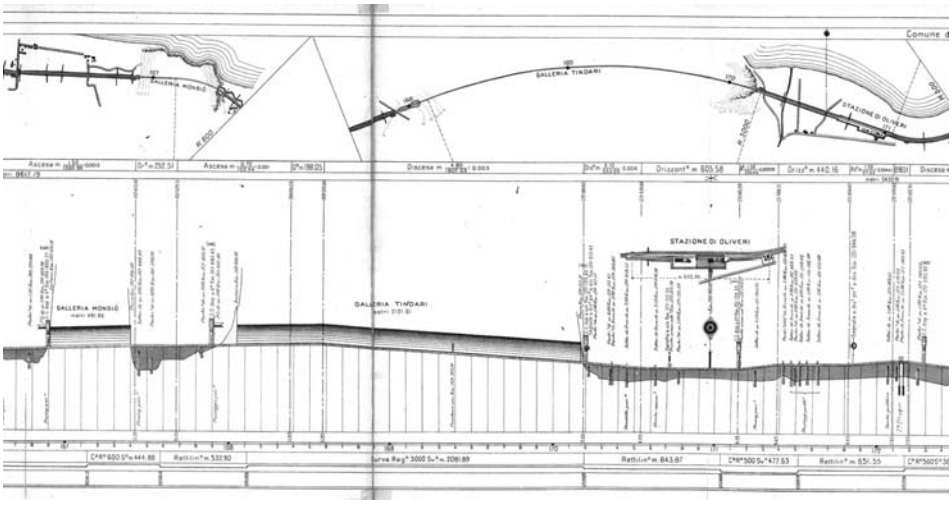


Fig. 4 - Stralcio progetto tratta ferroviaria nei pressi di Capo Tindari (arch. R.F.I. Messina)

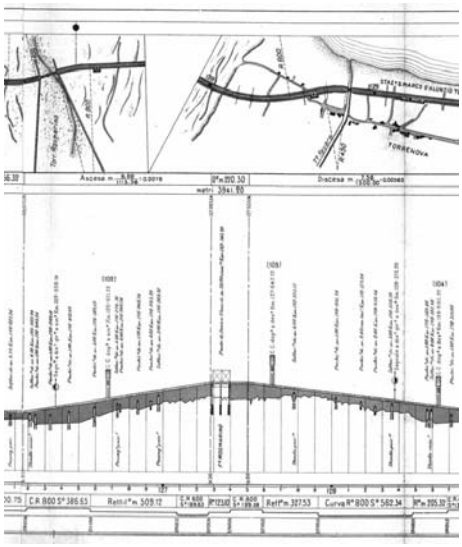


Fig. 5 - Stralcio tratto ferroviario sul torrente Rosmarino (arch. R.F.I. Messina)

Inganno e sul torrente Naso, tra Brolo e Capo d'Orlando, il primo a due archi in muratura e il secondo con robusti muri di argine per l'ampio alveo. Nel 1859 viene costruita una variante del tratto tra il torrente Caronia e il torrente Cammarata spostando il tracciato verso monte.

Nuove tecniche e materiali si sperimentano in funzione anche dei capitali a disposizione, che non sempre sono adeguati all'impresa. A Messina nel 1860 l'ing. Giuseppe Martinez, avvalendosi della collaborazione strutturale dell'ingegnere meccanico Guppy, prepara un progetto in ferro laminato per un ponte sul torrente Zaera. Vengono usate cure particolari per le fondamenta come nel ponte ad archi in ferro del 1846. Viene impiegato il sistema di ferro laminato a doppia T (come il ponte sul Sarno) e le pile sono realizzate in ferro fuso.

Sulla ferrovia Pa-Me via marine

La prima proposta concreta sulla rete ferroviaria è quella di Francesco Maggiore Perni, relativa al concorso per lo studio generale sulle ferrovie siciliane bandito dal *Real Istituto d'Incoraggiamento di Agricoltura, Arti e Manifatture di* Palermo (1859). Nel frattempo riveste un ruolo eminentemente promozionale la fondazione del periodico *Le Ferrovie Sicule*, pur nel suo breve arco di vita (luglio 1859 - marzo 1860). Altri tentativi sono promossi da aristocratici progressisti e borghesi colti con la fondazione della Compagnia Generale delle Ferrovie Sicule.

Tutti i piani variamente promossi (Maggiore Perni, Ciprì, Governo borbonico) prevedono i collegamenti Siracusa-Messina e Palermo-Catania, che si appoggia sul precedente per raggiungere Messina dalla costa ionica. Si dovrà aspettare quindi la realizzazione del tratto Palermo-Catania-Messina, perché si affronti il progetto della Palermo-Messina lungo la costa tirrenica.

Dopo l'Unità d'Italia il problema ferroviario risulta prioritario per il ritardo accumulato nei confronti del paese, tuttavia l'isola non ha al suo interno risorse imprenditoriali sufficienti per promuovere e gestire l'operazione complessiva; per questo in un primo momento compaiono società con capitali inglesi, francesi e belgi[7].

Nonostante la crisi che attanaglia le società ferroviarie si riesce a completare nel 1867 il tratto Messina-Catania, che raggiungerà Siracusa nel 1871. Il collegamento ferroviario tra Palermo e

Messina lungo la costa tirrenica[8], relegato ai margini degli interessi commerciali prevalenti in quel periodo e relativi alle attività estrattive dello zolfo, vede la luce solo nel 1895, dopo quindici anni di lavori.

Per le possibilità che finalmente si aprono concretamente, per la presenza del nuovo mezzo di trasporto, nella riconversione agricola delle campagne della Sicilia nord orientale, la ferrovia innesca un meccanismo di movimento della popolazione, che sempre più decisamente si sposta dai centri storici medievali arroccati sulle pendici dei Nebrodi e dei Peloritani verso gli insediamenti della costa, un tempo costituiti da piccoli borghi marinari. Il movimento demografico, più diretto ed evidente nella parte ionica, più lento ma altrettanto deciso nella zona costiera tirrenica, porterà ai giorni nostri ad una sorta di abitato lineare sviluppatosi senza soluzione di continuità lungo tutta la fascia costiera.

Nonostante le difficoltà incontrate durante la costruzione per la presenza di promontori che si protendevano sul mare, più numerosi e continui nel tratto ionico, la ferrovia costituisce un segno nuovo e dinamico nel paesaggio dell'isola, che si arricchisce di innumerevoli gallerie e viadotti, attraversati ritmicamente dai vagoni e dalle locomotive, un tempo sbuffanti.

Il piano ferroviario dell'isola risente comunque delle nuove politiche. Garibaldi infatti sostituisce la società dei Rotschild con un gruppo livornese, che prende l'impegno di costruire tutta la rete

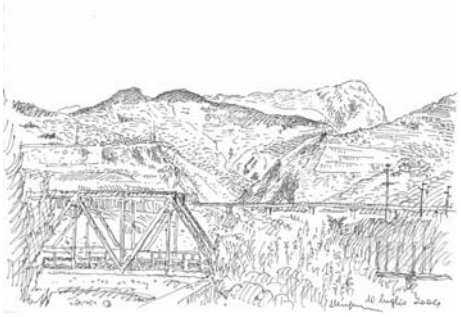


Fig. 6 - Schizzo del ponte in ferro sul torrente Rosmarino

ferroviaria meridionale. Cavour provvederà in seguito a spartire i lavori tra i vari gruppi di imprese e a quello livornese toccheranno le ferrovie calabro-sicule[9].

Forse, più che con la realizzazione della strada rotabile, è con la costruzione della ferrovia che s'innesca il meccanismo irreversibile di spostamento della popolazione dai borghi collinari verso la costa.

All'inizio dell'unità d'Italia le ferrovie meridionali furono costruite con una certa velocità per l'afflusso di capitali esterni, ma la loro esecuzione è legata ad un metodo che ricorda quello usato per collegare su una carta, nel modo più semplice, due punti mediante un segmento, sperando in sviluppi futuri e senza guardare, se non affrettatamente, alla realtà, su cui si operava, e alla sua evoluzione. In genere i centri delle zone agricole erano situati all'interno nella zona collinare[10], che degradava verso il mare dalle montagne dei Nebrodi o dei Peloritani. Sulla costa, eccetto rare eccezioni, erano presenti poveri borghi di pescatori e contadini. La traccia ferroviaria fu disposta in generale in prossimità della linea della spiaggia per ridur-

re al massimo l'incontro con i rialzi del terreno in corrispondenza delle pendici collinari, eccetto alcuni capi, come ad es. Tusa, Capo Calavà, Tindari e Capo d'Orlando, dove la collina si protende alta fino al mare.

Note conclusive

Dopo tanti anni dalla conclusione di questa tormentata vicenda[11], l'ammodernamento necessario della rete, l'ampliamento con numerose varianti della sede stradale ed il tentativo ancora parziale del raddoppio del binario ferroviario, oltre alla costruzione dell'autostrada (ultimata di recente), hanno portato novità nella funzionalità dei tracciati e nello stesso tempo il necessario abbandono di alcuni tratti.

Numerose opere di notevole mole ed impegno schiettamente ingegneristico si trovano ora abbandonate e prive di manutenzione. La conoscenza attraverso il rilievo e la documentazione dei manufatti più significativi è un primo passo affinché essi non siano cancellati dalla memoria, accelerando così il degrado naturale del tempo, e parimenti possano ridiventare elementi attivi della storia del territorio e del suo complesso paesaggio in un quadro di riferimento più articolato.

Le stazioni scalo hanno costituito nella generalità dei casi un piccolo polo di smistamento, che nella mancanza di servizi dell'intorno, ha segnato un sicuro riferimento territoriale, che nel tempo, con minore o maggiore velocità e intensità, è stato il nucleo motore di un nuovo sviluppo urbano, interessando oggi praticamente tutta la costa.

Molti fattori hanno giocato secondo le vocazioni e le tipicità dell'intorno e le nuove frazioni, nate attorno agli scali ferroviari, risulteranno poli per le nuove urbanizzazioni, centri per lo sviluppo di strutture commerciali, industriali e turistiche, spostando la popolazione dagli antichi borghi collinari verso la costa con un processo, che all'inizio lento si è andato man mano accelerando diventando inarrestabile.

[1] Il sistema viario dell'isola all'inizio del sec. XIX si poteva classificare in: a) Strade vetturali di larghezza di circa 8 palmi per i trasporti commerciali con muli o di persone con lettighe; b) Antiche strade chiamate a secondo delle località "consolari" o "reali"; spesso durante i mesi invernali erano impraticabili per l'ingrossamento dei torrenti e le cattive condizione dei ponti e dei *mali passi*; c) Trazzere larghe in origine di canne 18,2 per il passaggio degli armenti; la loro larghezza si contrasse nel tempo per le usurpazioni dei privati. Cfr. S. CUCINOTTA, *Sistema viario nel comprensorio dei Nebrodi. Strada rotabile Palermo-Messina per le marine (1824-60)*, in P. BISCUSO (a cura di), *Storia dei Nebrodi - 2*, Marina di Patti, Pungitopo Editrice, 1991, pp. 33-53.

[2] Per la storia delle strade isolane cfr. S. CUCINOTTA, *Sicilia e Siciliani. Dalle riforme borboniche al "rivolgimento" piemontese. Soppressioni*, Messina, Edizioni Siciliane, 1996, ed in particolare il cap. VII (*Trazzere e strade rotabili in Sicilia*), pp. 301-73. Il Cucinotta si avvale di un studio accurato delle fonti presso gli archivi della Deputazione del Regno (costruzione strade), del Dipartimento lavori

pubblici (1819-1865) del Ministero e della real segreteria di stato presso il luogotenente generale e della commissione dei lavori pubblici presso il Ministero dei lavori pubblici (1848-50). Cfr. anche G. Tesoriere, *Viabilità antica in Sicilia. Dalla colonizzazione greca all'Unificazione (1860)*, Palermo, Zedi Italia, 1994; C. Cardamone, *Contributo agli studi sulla viabilità siciliana: saggio di bibliografia*, in M. Giuffrè (a cura di), *Città nuove in Sicilia, XV-XIX sec.*, Palermo, Ed. Vittorietti, 1979; O. Cancila, *Il problema stradale sino all'unificazione*, in *Storia di Sicilia*, II, Palermo, 1978; C. Trasselli (a cura di), *Un secolo di politica stradale in Sicilia*, Caltanissetta, Ed. S. Sciascia, 1962; R. Giuffrida, *Il problema delle strade in Sicilia e la Cassa di Soccorso per le Opere Pubbliche dal 1843 al 1883*, "Economia e Storia", XV, 1968, 1.

[3] Il 27 marzo 1826 il soprintendente ordina il riattamento del ponte sulla fiumara di Caronia, il cui muro di destra dopo la prima luce era caduto (danni per ducati 587). L'architetto Risitano per 550 onze progetta un nuovo ponte a distanza di 1040 palmi dal vecchio a due archi tra Mistretta e Castelluccio. Il ponte Inganno a due archi fu riparato nel 1838 e già nel 1846 si poneva la questione se ripararlo nuovamente o costruirne uno nuovo. L'ing. Cassetta fu incaricato della perizia e, su suggerimento dell'ispettore De Tommaso, il direttore di ponti e strade di Napoli, suggerì di costruirne uno nuovo. Il ponte di Pettineo, situato a 5 miglia dalla foce, ad un solo arco circolare in pietra da taglio, di corda palmi 78,50 e di larghezza palmi 19,50, era considerato indispensabile per il commercio tra i comuni della zona. Un altro ponte in disuso era ad un miglio e mezzo dalla foce. L'ing. Cassetta nel 1846 propose di riattivarlo con una spesa di 100 ducati prima di procedere alle riparazioni complete del ponte di Pettineo. La decisione del consiglio degli ingegneri di Napoli fu di approntare i progetti, il primo a carico dei comuni, l'altro per un quarto sui fondi provinciali e gli altri tre quarti ai comuni e ai proprietari di terre a destra del torrente. Cfr. S. Cucinotta, *Sistema viario* , cit., pp. 35-37.

[4] Sono considerati *mali passi* per la difficoltà delle condizioni orografiche, relativamente alla zona in esame: Capo Oliveri (Tindaro), Passo S. Giorgio, Capo Calavà, Pietraperciata (infame passo), Torcicoda, Lavanche di Naso e Brolo (tratto detto "La poverella"), Discesa della Scafà di Naso. Sono note le difficoltà incontrate in Sicilia dai viaggiatori fino all'inizio del XIX secolo, documentate dai resoconti di viaggio (Vivant Denon, Houel, Goethe, Münter, ecc.). Nei punti più difficili, come i guadi di alcuni corsi d'acqua, vi erano uomini addetti alla guida delle carovane; Goethe nel suo viaggio in Sicilia riferisce anche della situazione delle strade ed in particolare di uomini robusti che guidavano gli animali da trasporto nella corrente del fiume Salso. Cfr. J.W. Goethe, *Viaggio in Italia*, trad. di E. Castellani, Milano, ed. Mondadori, 1983, p. 316. Con il decreto del 1778 il parlamento siciliano delibera finalmente un primo piano d'intervento sulla viabilità dell'isola, ma bisognerà aspettare il 1838 per l'inaugurazione del primo servizio postale con vetture passeggeri tra Palermo e Messina. Per le vicende più recenti cfr. S. Cucinotta, *Sicilia e Siciliani*, cit., pp. 301-373.

[5] Cfr. S. Cucinotta, *Sistema viario* , cit., p. 45.

[6] Cfr. G. Tesoriere, *Viabilità antica*, cit., pp. 113-120.

[7] Cfr. G. Dato, *I nuovi scenari urbani della Sicilia postunitaria*, in M. Aymard, G. Giarrizzo (a cura di), *Storia d'Italia. Le Regioni dall'unità d'Italia ad oggi - La Sicilia*, Torino, Giulio Einaudi editore, 1987, pp. 1021-46; e anche G. Arcidiacono, *Il treno del barocco*, Messina, ed. EDAS, 1999; in quest'opera, che si occupa della rete ferroviaria del val di Noto, risultano anche particolarmente accurati i riferimenti alle infrastrutture viarie e ferroviarie dell'intera isola ed in particolare i capitoli, che parlano dei collegamenti stradali e navali del sec. XVIII (pp. 21-34), del progetto delle strade nella prima metà del sec. XIX (pp. 71-84) e delle prime realizzazioni ferroviarie (pp. 85-102). Inoltre la rendita fondiaria trasferisce i suoi interessi verso il campo dei trasporti terrestri ed in particolare verso le ferrovie, utilizzando un modo tradizionale di investimento sui titoli delle compagnie ferroviarie. Così si comporta la Società italiana per le strade ferrate della Sicilia (1885) con capitali dei Florio e di

altri gruppi siciliani. Dopo la nazionalizzazione (1906) infatti la società usufruisce di un riscatto di 5 milioni, che lo Stato si impegna a versare per sessant'anni come riscatto. Un uso più interessante dei capitali dal punto di vista industriale è quello che fanno i gruppi di imprese investendo per la costruzione e l'esercizio delle ferrovie secondarie e a scartamento ridotto, escluse dalla nazionalizzazione. Tra queste la ferrovia circumetnea (Catania-Randazzo-Riposto di circa 114 Km) è gestita dalla Società siciliana di lavori pubblici, che annovera tra i suoi esponenti l'ing. Chauffourier, direttore della società tranviaria franco-belga di Catania e diversi esponenti dell'aristocrazia isolana; per questo cfr. G. BARONE, *Egemonie urbane e potere locale*, in M. AYMARD, G. GIARRIZZO (a cura di), *Storia d'Italia. La Sicilia,* cit., p. 233.

[8] Cfr. I. INSOLERA, *L'urbanistica*, in "Storia d'Italia", V (*I documenti*), Torino, Einaudieditore, 1973, pp. 457-59; A. I. LIMA, *Genesi e dinamica delle stazioni in Sicilia. Territorio, città, architettura*, in E. GODOLI - M. COZZI (a cura di), *Architettura ferroviaria in Italia. Ottocento,* Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2004, pp. 395-426; A. ALTADONNA, M. MANGANARO - A. NASTASI (a cura di), *Trasformazioni urbane. Analisi e rilevamenti nella provincia di Messina*, Messina, ed. Sicania, 2007. Importante è stato il ritrovamento negli archivi delle Ferrovie di Messina di una copia del progetto di completamento della rete ferroviaria siciliana, risalente agli anni tra la fine del sec. XIX e l'inizio del XX. Alcuni brevi stralci di essa sono riportati nelle figg. 2, 4, 5.

[9] Negli anni '70 del sec. XIX il sindaco di Catania (Tenerelli) auspicava il completamento della linea ferroviaria Palermo Catania; cfr. E. IACHELLO, A. SIGNORELLI, *Borghesie urbane dell'Ottocento*, in M. AYMARD, G. GIARRIZZO (a cura di), *Storia d'Italia. La Sicilia,* cit., p. 142. Fra le cronache di quegli anni, che colpirono l'immaginario popolare, viene ricordato l'arrivo a Catania nel settembre del 1876 della salma del compositore Vincenzo Bellini, che (a quarant'anni dalla morte) proveniente da Parigi (cimitero Père Lachaise) fu trasportata in treno fino a Reggio Calabria, da dove fu imbarcata sulla nave da guerra *Guiscardo*, per essere trasportata nella città etnea.

[10] Per il drenaggio della popolazione, a causa delle strade costiere e della ferrovia, dai borghi collinari verso le "marine", come sdoppiamento degli antichi centri, cfr. G. BARONE, *Egemonie urbane,* cit., p. 194.

[11] L'ultimo tratto dell'autostrada A 20, di recente ultimato, corrisponde in buona sostanza all'ultimo tratto della Palermo-Messina per le marine (Acquedolci-Finale); cfr. G. TESORIERE, *Viabilità antica*, cit., p. 111. La storia si ripete allo stesso modo per l'autostrada come fu per la strada rotabile Palermo-Messina per le marine, che seguì la costruzione della Palermo-Messina per le montagne e altrettanto come fu per la ferrovia costiera, che seguì la costruzione di quella interna.

Orazio Giuffrè, Marco Guerrieri, Anna Granà

La via della Libertà a Palermo

L'idea di progetto

"*Che a conciliare le due idee di dar lavoro al popolo e di adornare la città, sarà aperta la linea di strada tante volte, e in tante epoche proposta, e non mai eseguita, che per unica retta mette in comunicazione la campagna meridionale con la settentrionale di questa città, prolungando dall'uno e l'altro lato la Strada Nuova che da una parte si estende al perimetro dello girato di Villafranca, e dall'altra al Ponte della Guadagna*." (Deliberazione del quarto comitato dell'interno, istruzione pubblica e commercio, Palermo 16 Marzo 1848).

Può a prima vista apparire sorprendente, se si tiene conto dell'impatto che la decisione ha avuto sullo sviluppo urbanistico successivo della città di Palermo, l'essenzialità delle motivazioni che portarono il Governo Rivoluzionario del '48 a deliberare sull'apertura della "Strada della Libertà" ("*di dar lavoro al popolo e di adornare la città*").

Essenzialità ma non superficialità; lo stesso testo della deliberazione sopra richiamata porta ad escludere che possa essersi trattato di un'idea estemporanea, legata all'euforia del momento particolare della vita cittadina.

Deve supporsi, al contrario, che la decisione trovi una sua intima giustificazione nella cultura urbanistica del tempo, che aveva inglobato l'idea di una espansione della città storica oltre il limite delle sue porte.

Non si ha notizia documentaria dei precedenti momenti in cui si è proposta l'apertura della nuova strada[1]; certo è che sul piano della storia urbanistica di Palermo l'idea di una proiezione della città oltre le mura antiche, lungo la direttrice nord, è già presente sul finire del XVIII secolo in quella operazione che va sotto il nome di "addizione del Regalmici".

Anche in questo caso, come avverrà per la Strada della Libertà all'inizio del secolo, è la "Strada Nuova" (oggi via R. Settimo, oltre la porta Maqueda, verso il piano di S. Oliva sulla quale, a metà circa del percorso si innesta ortogonalmente lo "Stradone dei Ventimiglia" - oggi, via M. Stabile - che collega il piano di S. Francesco di Paola con il mare) a sostenere l'espansione della città, in coincidenza di una trasformazione sociale che proprio alla fine del settecento faceva registrare, sia pur timidamente, una maggior presenza, nella vita pubblica della città, della borghesia urbana[2].

È stato osservato come la stessa edificazione lungo i fronti della via R. Settimo testimoni l'incipiente tramonto della classe sino ad allora dominante, laddove, per le mutate condizioni sociali e finanziarie, la costruzione di diversi edifici, avviata da un proprietario, o non si completò mai o venne portata a ter-

mine da altri, subentrati nella proprietà[3]. Altro elemento che sicuramente contribuì a consolidare l'idea di una espansione della città verso nord fu rappresentato dal parco della Favorita che agli inizi del XIX secolo si arricchiva del complesso architettonico ideato dal Marvuglia per la palazzina reale (la cosiddetta palazzina cinese), accrescendo il prestigio di tutta un'area (la piana dei colli) già scelta, per le sue caratteristiche di salubrità e di amenità, quale villeggiatura della nobiltà palermitana.

Al momento della decisione del Governo Rivoluzionario circa la realizzazione dello "Stradone" oltre il Piano di Sant'Oliva, la configurazione della città (e della sua viabilità, in particolare) è quella scaturita dal piano di "addizione" di fine Settecento, le cui realizzazioni si protrassero fino al primo decennio del nuovo secolo.

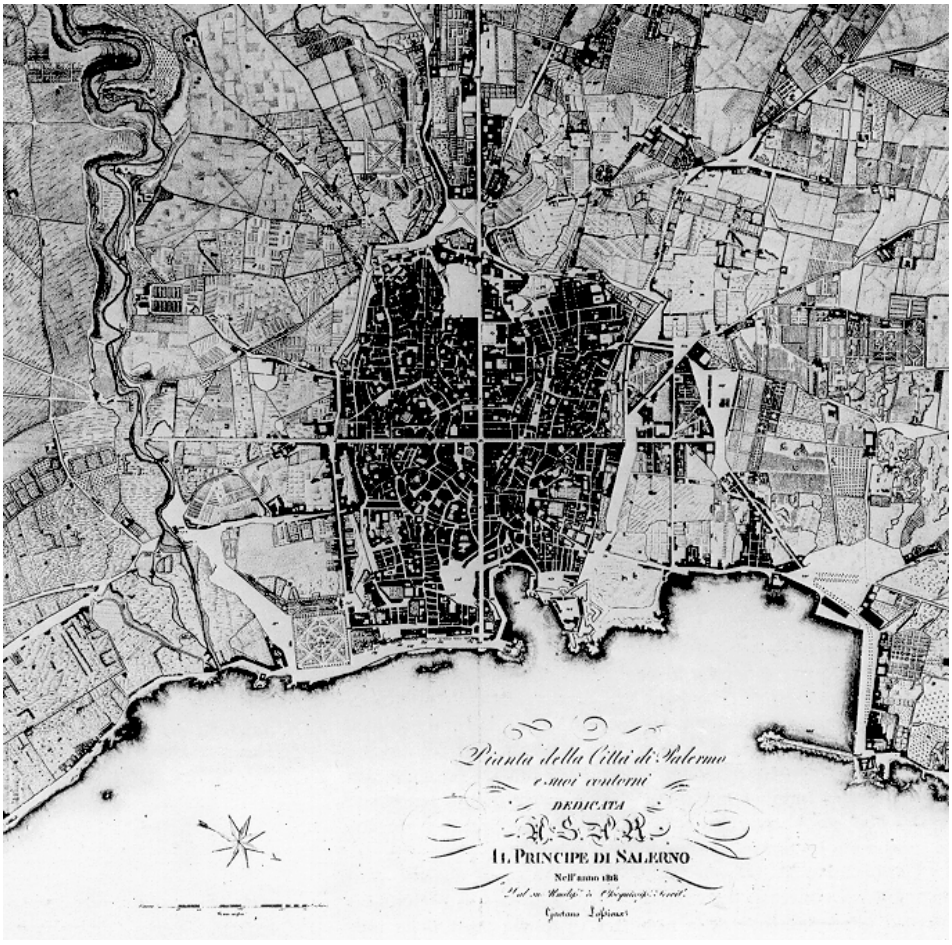


Fig. 1 – Pianta della città di Palermo e suoi contoni, redatta da G. Lossieux nel 1818. Il progetto della strada della libertà e la realizzazione del 1° tronco

È utile al riguardo, il confronto fra la pianta della città (e dei sui dintorni) redatta dal Lossieux nel 1818 (Fig. 1) e quella delineata in epoca successiva (1846) da anonimo redattore.

L'esame dei due documenti mette in evidenza un altro elemento peculiare della concezione della strada della Libertà; vale a dire la sua indeterminatezza nello spazio; l'estesa del nuovo asse, non definita a priori nell'atto deliberativo, è da mettere in relazione, non tanto ad un preciso terminale preesistente nella campagna settentrionale, ma, piuttosto, alla funzione per esso sin dall'inizio individuata ("*che per unica retta mette in comunicazione la campagna meridionale con la settentrionale di questa città.... "*).

Né ulteriori dettagli circa l'estesa della nuova strada si traggono da documenti successivi; lo stesso Presidente della Commissione istituita per la realizzazione dell'opera, nel rivolgersi, nell'Aprile 1848, al Ministro dei Lavori Pubblici, fa ancora riferimento al "*progetto della strada retta fuori Porta Maqueda verso la contrada dei Colli*" ovvero alla "*prolungazione sino alla Contrada dei Colli della bella rotabile di Porta Maqueda*"[4].

D'altro lato, l'aver postulato per la nuova strada un andamento rettilineo lungo la direzione degli assi preesistenti (caratteristica, questa, ritenuta assolutamente inderogabile per tutto il pur lungo corso della sua realizzazione[5]) rendeva agevole una progettazione per stralci successivi, l'unico vincolo essendo costituito dal mantenimento delle quote in comune, per dar luogo ad un profilo altimetrico soddisfacente[6].



Fig. 2 - Fotografia non datata della "Strada della Libertà" (Pietro Nicolosi, Catania, Ed. Greco, Catania, 1990)

Il primo di questi stralci prevedeva la costruzione di un miglio di strada, corrispondente al tratto che va dal Piano di Sant'Oliva alla proprietà Carini (situata all'incirca all'altezza dell'attuale piazza A. Gentili/via Notarbartolo).

Le notizie che si hanno di tale progetto di primo stralcio derivano essenzialmente dai seguenti documenti conservati presso l'Archivio Comunale di Palermo (Fasc.n.1537 anni 1848/49):

- Condizioni per lo Appalto dei lavori di costruzione del primo miglio della nuova strada, che sarà detta della Libertà, nel territorio di questa Capitale, ed avrà principio nel Piano di Sant'Oliva nella Sezione Molo (7 fogli a stampa, firmati dalla Commissione degli Ingegneri, datati 3 Aprile 1848),
- Relazione dei Signori Ingegneri per la costruzione della nuova Strada della Libertà (8 fogli manoscritti, firmati dalla Commissione degli Ingegneri, datati 3 Aprile 1848),
- Ragguaglio al Signor Ministro dei Lavori Pubblici sul progetto per la co-

struzione della nuova Strada della Libertà (4 fogli manoscritti, non datati e non firmati).

Ulteriori notizie di dettaglio possono apprendersi da altri documenti contenuti nel citato fascicolo conservato presso l'Archivio Comunale, ed in particolare dalla corrispondenza tra il Ministro dei LL.PP. Butera ed il Duca della Verdura, presidente della commissione architettonica per la strada della Libertà. Dall'insieme degli atti citati (i principali dei quali annotati in calce) si ricava che:

- l'origine della strada è fissata in corrispondenza del Piano di Sant'Oliva, all'altezza di due sedili preesistenti;
- i terreni di impianto della strada e della campagna circostante (tufi calcarei "ricoperti da un leggero strato di terra vegetale") non ponevano l'esigenza di particolari opere di bonifica;
- lungo il percorso (un miglio, pari a circa 1500 m) i punti più difficili erano costituiti:
- dalla presenza di dislivellamenti di entità non trascurabile (relativamente alle tecniche allora disponibili) nell'attraversamento dei terreni del "firriato di Villafranca", per il superamento dei quali era previsto un rinterro di circa 12 palmi (3 ml circa) con materiali provenienti da demolizioni (quelle operate qualche tempo prima per le badie del Palazzo Reale e per la costruzione delle Nuove Carceri, nonché di quelle da operarsi lungo il tracciato),
- la necessità di provvedere alla demolizione (parziale) del fabbricato delle Croci (già Villa Cifuentes), all'epoca adibito a reclusorio,
- la necessità di un ulteriore rinterro subito dopo le Croci (a causa della presenza di ampie cavità dovute alla coltivazione di cave per l'estrazione di pietra da costruzione) da realizzarsi con gli stessi materiali provenienti dalla demolizione del Reclusorio;
- la sezione trasversale della strada prevedeva una carreggiata larga 40 palmi (10,80 ml), fiancheggiata su entrambi i lati da marciapiedi (passeggiatoi) ciascuno largo 20 palmi;
- la raccolta e lo smaltimento delle acque piovane era assicurata da "acquedotti" in superficie (probabilmente le cunette laterali in pietra calcarea ancora oggi visibili parzialmente).

Particolare attenzione era stata rivolta all'aspetto architettonico della strada, che i progettisti vogliono conforme alla "*magnificenza che merita una strada di primo ordine, in una delle città grandi d'Italia, nella più grande città di quest'Isola*...", e, sui quali deve aver influito la volontà del Comitato Rivoluzionario di confrontarsi, in questa realizzazione, con le Capitali europee.

Ciò è evidente già nella scelta della sezione trasversale ("*Le strade di primo ordine in tutti i Paesi han la larghezza di pali 20 che noi abbiamo adottato*....") e di quanto ulteriormente si propone per la "decorazione":

- i *passeggiatoi*, arricchiti da un doppio filare di alberi ed arredati di numerosi sedili di pietra;
- le piazze (quella iniziale e quella prevista a metà percorso) e le opere d'arte previste oltre che i monumenti celebrativi disposti lungo il tracciato[7].

Alla ricercata magnificenza architettonico fa riscontro, nel progetto di 1° stralcio, l'attenta cura nella scelta dei materiali e delle modalità esecutive: "*La qualità dei lavori e dei materiali dovrà essere ottima, poiché non si ammetteranno quelli che pure potessero meritare la classe di mediocri*".

La tecnica di costruzione della carreggiata è quella della migliore regola dell'arte dell'epoca:

- il corpo della sovrastruttura era per intero previsto in materiale lapideo a spigoli vivi, steso e compattato entro guide marginali realizzate con masselli parallelepipedi[8];
- lo strato più superficiale (*copertura*) doveva realizzarsi con pietrisco (la cui qualità era assicurata dall'indicazione di provenienza, con non più del 10% di fino ed assolutamente privo di elementi piatti), steso e compattato in due strati successivi ed in tempi differiti in modo da assicurarne buone caratteristiche di regolarità superficiale;
- il rivestimento dei marciapiedi doveva eseguirsi con detrito di cava, preventivamente selezionato granulometricamente e privo di ogni componente estranea.

Di pregio la pietra scelta per i muri e per le opere di intaglio, la cui provenienza era tassativamente indicata ("saranno ricavate dalle cave di Portella di mare o di quelle di S. Flavia e dell'Aspra") e la cui posa in opera non tollerava irregolarità di sorta.

Notevole doveva apparire l'impegno economico connesso alla realizzazione della strada (5.000 onze circa con esclusione della sistemazione delle piazze e della piantumazione delle alberature), se gli stessi progettisti sentono la necessità di giustificarne l'entità, richiamandosi, da un lato, alla difficoltà ed alla completezza dell'opera, facendo presente, dall'altro, la necessità di valutare la spesa occorrente per la realizzazione del primo stralcio nel complesso dell'impegno economico prevedibile per l'intero progetto[9].

La Strada della Real Favorita e il Giardino Inglese

La restaurazione borbonica trova la Strada della Libertà già realizzata per un primo tratto (fino al Reclusorio delle Croci) e tracciata nel tratto immediatamente a nord fino al "Casino Carini" (all'altezza del limite nord di quello che sarebbe stato il parterre del Giardino Inglese). Il nuovo governo della città, nonostante il significato celebrativo associato alla realizzazione del '48, ne decide comunque la prosecuzione con la nuova denominazione di "Strada della Real Favorita", ma ne nega di fatto i contenuti originari.

Il nuovo tronco della strada verrà, infatti, delimitato da due cancellate di estremità e resterà inglobato nella sistemazione del Giardino Inglese del quale costituirà il largo viale centrale.

Incaricato della sistemazione del "Giardino di delizia" è il giovane architetto Giovan Battista Filippo Basile; la presenza della strada e le caratteristiche dei luoghi giocano un ruolo di primo piano nel disegno generale del Giardino che "*resta naturalmente diviso in due*

parti distinte, di cui l'una molto accidentata, più estesa [...]*; mentre l'altra, piana e di pianta curvilinea, è stata ridotta ad un regolare parterre lasciandovi da una parte un piccolo boschetto che lo fiancheggia*"[10].

Non ci soffermeremo sugli aspetti architettonici propri della realizzazione del Giardino[11] e su quelli particolarmente interessanti della sua composizione vegetale[12]; con riferimento ai rapporti strada/giardino ci si limiterà ad osservare come il progetto del Basile, preservando il tracciato della strada, abbia di fatto reso possibile, dopo l'Unità d'Italia, la sua prosecuzione lungo la direttrice originaria sino al Parco della Favorita.

Parallelamente alla realizzazione del Giardino Inglese, è il governo borbonico a consentire il completamento delle opere già avviate nel '48 ed il prolungamento della strada sino alla "Casa Bettola", subito dopo il giardino. Viene, infatti approvato[13] e realizzato il progetto di rialzamento di un tratto della strada (localizzabile tra le attuali Piazza Castelnuovo e via Siracusa); vengono eseguite le opere di arredo programmate originariamente (sedili, fanali, etc.), viene dato corso ad un massiccio intervento di manutenzione della carreggiata e dei marciapiedi; si completa[14] la piantumazione dei platani e degli Ibiscus lungo il viale.

Il completamento tecnologico del tratto Castelnuovo/Croci è fatto risalire al dicembre del 1850[15], ma già nel marzo dell'anno successivo si ha traccia di un sollecito per l'approvazione dell'estimativo relativo alla prosecuzione della strada oltre il Giardino Inglese, sino alla cosiddetta Bettola, di proprietà di tale Prestigiacomo[16].

L'istruttoria per il proseguimento della strada doveva, tuttavia, essere già matura se in data 20 Maggio 1851 ritroviamo l'avviso per l'appalto del tronco di strada appena due mesi prima sollecitato[17].

In particolare, dalla cartografia originale, si può rilevare come alla data del 1859 doveva essere ancora realizzato il tronco in prosecuzione al parterre del Giardino Inglese.

Le tappe del completamento

Gli anni successivi all'annessione al Regno d'Italia costituiscono una battuta di arresto nella realizzazione della strada secondo l'originaria indicazione. Riacquistata la denominazione di "Strada della Libertà, la via oltre Porta Maqueda va consolidando il suo ruolo di asse di espansione della città nuova fino ad entrare di diritto, nel 1895, nelle previsioni del Piano Giarrusso: prolungata secondo la direzione inizialmente impostata sino alla borgata Resuttana, si concludeva con una piazza circolare di 120 m di diametro, sulla quale era previsto l'innesto di una strada trasversale di collegamento alla Favorita. Veniva in tal modo sancita l'idea originaria di progetto, anche se per le concrete realizzazioni dovranno attendersi i primi anni del nuovo secolo[18].

Il prolungamento della via Libertà, quale lo conosciamo oggi, fu in effetti interessato da un piano di ampliamento



Fig. 3 - La "Strada della Libertà nel 1920 circa in una cartolina illustrata



Fig. 4 - La "Strada della Libertà nel 1920 circa in una foto di Giuseppe Cappellani

di iniziativa privata, regolato da apposita convenzione, riguardante i terreni del Sig. Alberto Monroy, Principe di Formosa, ricadenti tra l'asse della strada e la via Sampolo, tra la villa Amato a Sud ed il Piazzale Ranchibile a Nord[19]. La lite giudiziaria seguita al diniego del proprietario di eseguire le opere di sterro per la strada, così come previsto nella convenzione, determinò sul finire del secolo (1889) un ulteriore ritardo nell'attuazione delle previsioni di Piano.

Proprio gli ultimi anni del secolo riservano alla via della Libertà l'occasione per affermare definitivamente il proprio ruolo di primo piano nella definizione urbanistica della città, allorché una vasta area a monte di essa, estesa circa 12 ettari nel cosiddetto "Firriato di Villafranca", fra le piazze Castelnuovo e delle Croci, è prescelta per ospitare i padiglioni dell'Esposizione Nazionale (dal Novembre 1891 al Maggio 1892).

I terreni a monte della via Libertà, ceduti gratuitamente dal proprietario, Principe di Radaly, furono livellati a cura dell'Amministrazione fino alla quota della strada, utilizzando a tal fine i materiali scavati per la realizzazione del Teatro Massimo, creando le premesse per l'edificazione successiva secondo le maglie quadrangolari previste dal Piano.

Protagonista indiscusso di questa operazione fu Ernesto Basile, al cui talento è dovuto lo splendore, oggi in gran parte perduto, di questo tratto della via Libertà.

Il completamento della strada, pur previsto tra le opere da realizzarsi in occasione dell'Esposizione Nazionale, verrà portato a termine e concluso con la realizzazione del monumento (La Statua), inaugurato nel 1911, sotto la spinta della ricorrenza del cinquantenario dell'Unità.

[1]Potrebbe trattarsi di due date cruciali nella storia siciliana e di Palermo, il 1812 ed il 1821, entrambe identificate dalla cultura del tempo con i segni della Libertà (cfr. Pirrone G., *Palermo, una Capitale*, Electa, Milano 1989).

[2]Le iniziative del Regalmici, che pur trovarono ampio consenso nella popolazione, non furono esenti da critiche e da polemiche anche aspre da parte di chi le riteneva velleitarie e sproporzionate rispetto

alle esigenze di sviluppo della città ed alle sue risorse economiche; interprete autorevole di tale dissenso fu l'abate Meli che non esita a definire "parigine" le idee del Regalmici in materia urbanistica.

[3]Cfr. S. M. INZERILLO ; *Urbanistica e società negli ultimi duecento anni* - Palermo, quaderno dell'Istituto di urbanistica e pianificazione territoriale della facoltà di Architettura di Palermo, 1980.

[4]La non precisa definizione dell'estesa della strada, se può apparire poco comprensibile sul piano tecnico, può trovare, tuttavia, una motivazione in chiave ideale particolarmente suggestiva. Così A. J. Lima (*Palermo: via Libertà 1848/51*, in Storia dell'Urbanistica, nn. 2/3, 1980): "La sua ideologia rispecchia gli albori di una democrazia e di una volontà indipendentista di autogoverno, la ricerca di un alternativo modello di vita da parte di una borghesia in divenire; l'esigenza infine di creare una nuova città fondabile su un sistema gestionale diverso. Al di là del fatto celebrativo la strada ...si colloca fra quegli interventi non basati su una reale esigenza di crescita urbana ma propositivi di un modello di sviluppo secondo una precisa direzione; diviene quindi programma complessivo di riorganizzazione urbana da attuarsi, anche se in mancanza di un organico piano, attraverso un'idea di città di lunga durata... ."

[5]Ne è testimonianza la "Relazione dei Signori Ingegneri per la Costruzione della Nuova Strada della Libertà" (3 Aprile 1848, A.C.P. fasc. 1537, anni 1848/49): "Sarebbe nostro obbligo in questa memoria che dir si puote l'iniziazione al piano d'arte che ci si commise per la strada in parola, lo dimostrarsi l'andamento da noi prescelto e la ragion che all'adozione di esso ci aveva condotto ma trattandosi di asse rettilineo, secondo l'assunto di questa città, era inevitabile la scelta dei luoghi". Né l'idea di costituire il nuovo asse secondo una linea retta è messa in discussione dalla preesistenza lungo il tracciato di edifici di rilievo storico, ma, anche, di notevole mole: "Il secondo lavoro è la demolizione del fabbricato delle Croci ed il taglio della roccia che gli sta di base. *Ciò è indispensabile per la dirittura della strada*" (Ragguaglio al Signor Ministro dei Lavori Pubblici sul progetto per la costruzione della nuova Strada della Libertà, A.C.P., C.C.V.L. fasc. 1537, anni 1848/49).

[6] Qualche problema di quote dovette essere trascurato nella prima realizzazione della strada (1848), se già due anni dopo, a restaurazione borbonica consolidata, il Decurionato, "ritenendo la necessità di rettificarsi il livello della Strada della Favorita per essere troppo visibile il difetto di avvallamento che essa presenta", era costretto a provvedere alla spesa di onze 487 per l'esecuzione dei lavori.

[7] "Una piazza aprirà l'ingresso a siffatta strada che, decorata come nel tipo di progetto si vede, mostrerà il nome di essa nei Geni della Libertà che sormontano le due colonne terminali, e la riconoscenza della Patria ai Magnanimi che la rigenerarono, nelle iscrizioni dei monumenti che la fiancheggiano. Indispensabile abbiamo riconosciuto il bisogno di un'altra piazza, dopo un mezzo miglio di distanza, ivi presso le difficoltà del terreno la rendevano difficile ed ivi presso il taglio della roccia ove incassar doveasi la strada, molto scemava quella vaghezza a cui miriamo. Dall'una e dall'altra causa siamo determinati a fare in questo sito, che corrisponde nel locale delle Croci, la piazza ellittica che vedesi; riguardandosi come secondaria crediamo sufficientemente adornata di un sedile ricorrente nel perimetro e da due piedistalli di riscontro nel mezzo" (Relazione dei Signori Ingegneri per la Costruzione della Nuova Strada della Libertà, 3 Aprile 1848, A.C.P. fasc. 1537, anni 1848/49).

[8]Successivamente, in occasione di un primo intervento di manutenzione deliberato nell'ottobre 1850, la copertura verrà realizzata secondo il procedimento macadam che andava affermandosi anche in ragione della ridotta manutenzione richiesta: "E la commissione dividendo siffatto parere per tutt'altre opere, ha considerato in quanto al proposito selciato per ossatura del capostrada, la solidità, comodità ed economia di spesa nella futura e perpetua manutenzione da sperimentarsi seguendosi il metodo Mac-Adam, cioè con farsi adoperare il brecciame in strada in un palmo di spessore da spandersi in tre riprese, ciò che ben potrebbe servire di continuazione da capostrada della parte della

strada compiuta" (Commissione dei LL.PP. e delle Acque e Foreste presso il Ministero e Real Segreteria di Stato - Estratto della deliberazione della Commissione nella tornata del 26 Ottobre 1850, A.S.P., M.R.S.S., Rip. LL. PP., Vol. n. 1370, n. 36, 4 fogli manoscritti datati 28 Ottobre 1850 e firmati)

[9] "Sembrerà per avventura forte la spesa risultante in onze 4928.25.10 ma noi vi riportiamo alle sopra enumerate difficoltà che scaturiscono dagli accidenti del terreno, ed alla completezza dell'opera che abbiamo dovuto proporre, ed infine giova il far riflettere che non uguale spesa si troverà bisognevole nei tratti avvenire e che in opere di tal natura non si decide mai sulla erogazione particolare di alcuno dei suoi tratti, ma nella spesa complessiva distribuita all'intera lunghezza e riferita all'ottimità della riuscita" (Relazione dei Signori Ingegneri per la Costruzione della Nuova Strada della Libertà, 3 Aprile 1848, A.C.P. fasc. 1537, anni 1848/49). Le previsioni di progetto risulteranno, tuttavia ottimistiche in sede di consuntivo dei lavori: "Però le onze 6.000 approntate non bastarono nel corso dei lavori, ma altre onze mille e rotte si son supplite dai fondi comunali ...per occorrere alla continuazione, compresi nella cifra complessiva di tali spese i compensi ai proprietari ed onze 200 pagate al Reclusorio delle Croci per effetto di una convenzione stipolata" (A.C.P., Deliberazioni del Decurionato, del. n. 48/ 1849).

[10]Foglio di delucidazioni al progetto del Giardino da eseguirsi nel sito delle Croci nella nuova strada della Real Favorita (Archivio di Stato di Palermo, Rip. LL.PP., vol. 1370 n.37, 1850)

[11]vedasi in proposito Pirrone G.: Palermo, una Capitale, op. cit. (Miti e riti della passeggiata: la Strada della Libertà ed il Giardino Inglese).

[12]cfr. Lima A.J.: Palermo: via Libertà 1848/51, op. cit.(La qualificazione estetica del Giardino attraverso la sua vegetazione).

[13]cfr. in allegato Deliberazione del Decurionato n.15/1850, avente per oggetto la strada della Favorita (A.C.P., Deliberazioni del Decurionato).

[14]Secondo alcune fonti (cfr. Lima A., J, op. cit.), i platani messi a dimora con l'intervento del '48 sarebbero stati successivamente rimpiazzati in quanto non più esistenti al 1850.

[15] È nel mese di dicembre che la Direzione dell'Orto Botanico (incaricata della realizzazione del Giardino Inglese) comunica che è stata ultimata "la piantumazione dei Platani, degli Ibischi, delle Rose e dei Castagni indiani rosei nel grande stradone, ponendovi in ciascheduno i tutori". Tenuto conto dell'ordine razionale dei lavori, da quanto sopra è stata dedotta l'avvenuta ultimazione dei lavori interessanti il 1° tronco (cfr. Lima A. J., op. cit., pag. 15).

[16] "Il Pretore di questa Capitale mi ha fatto tenere la rilazione della spesa bisognevole per portarsi a compimento il tratto della strada Real Favorita dal punto del Reclusorio del Monte sino dopo la Bettola. Questa relazione è stata redatta sul foglio di osservazioni dal Direttore del Genio Sig. Tenente Colonnello D'Aritaria ed è accompagnata da un foglio di riflessioni dell'architetto Comunale. Io rassegno a V.E. qui annesso tanto il progetto della spesa, che il foglio di riflessioni dello Architetto Comunale perché valutandosi quest'ultime dalla superiore saggezza del Governo si possano emettere le opportune disposizioni. Dalla parte mia credo convenevole sommettere a V.E. che trovo assai utile la esecuzione delle proposte opere poiché ritengo che la continuazione di questa magnifica strada almeno sino al punto in cui traversa il giardino inglese sia necessaria anche per conservare la intera uniformità della strada medesima sotto tutti i rapporti. Ciò in altro modo non potrebbe ottenersi a mio parere se non col compimento del tratto già tracciato sino al divisato punto. Per le quali considerazioni non credesi adottabili quei risparmi che ne diminuiscano il bello o non ne conservino la pari formità sotto tutti i rapporti..." (L'Intendenza della Provincia di Palermo A Sua Eccellenza Principe

di Satriano Luogotenente Generale, Palermo 8 Marzo 1851 - A.S.P., M.R.S.S., Rip. LL.PP., Vol. n. 1429, 2 fogli manoscritti firmati e datati).

[17] "Dovendo eseguirsi ad appalto le opere per la continuazione della strada R. Favorita fino alla Bettola dopo il Reclusorio delle Croci ascendenti alla somma di ducati 5198,97 giusta la relazione preventiva dell'architetto comunale coi prezzi corrispondenti; S.E. Pretore Signor Principe di Manganelli dietro analoga superiore autorizzazione previene il pubblico di aver designato il giorno 28 corrente per I'aggiudicazione preparatoria in persona del miglior dicitore alle ore 11 a m sul solito locale del Palazzo Senatorio con tutti i patti stabiliti nel quaderno delle condizioni che trovansi ostensibile in cancelleria centrale riunita alla suddetta relazione preventiva." (A.S.P., M.R.S.S., Rip. LL.PP., Vol. n. 1429, I foglio a stampa datato 20 Maggio 1851 e firmato Principe di Manganelli, Pretore della città)

[18] Un ulteriore tratto della via Libertà era stato avviato già nel 1877 (cfr. Inzerillo S.M., Urbanistica e Società negli ultimi duecento anni a Palermo, op. cit.); scarsa, tuttavia è la documentazione relativa a questa fase di realizzazione, presumibilmente di portata assai limitata.

[19] In virtù della convenzione dell'11.08.1887 "il municipio ha il diritto di costruire, quando crede, tutte le strade di quel rione; e questo diritto si muterà in obbligo, quando le strade saranno per intero fiancheggiate da fabbricati in ambo i margini. In queste strade però il Principe di Formosa è tenuto ad eseguire a sue spese i lavori di sterro, di rinterro ed anche di arginatura se occorra."

MARCO GUERRIERI, ANNA GRANÀ, ALESSANDRO CRISAFULLI

Dalla relazione Possenti ai primi provvedimenti postunitari per il completamento e l'adeguamento della rete stradale siciliana

Introduzione

La rete stradale siciliana, in gran parte realizzata sotto il governo borbonico, alla data dell'unificazione dell'Italia, risultava carente sia per estensione, sia per caratteristiche geometrico-funzionali dei suoi rami. Questi erano spesso contraddistinti da livellette d'elevata pendenza e dall'assenza delle necessarie opere d'arte principali e secondarie.

Il Ministro dei Lavori Pubblici, sen. Stefano Jacini, nel 1864 incaricò l'ispettore del Genio Civile, ing. Carlo Possenti, di condurre un accertamento sullo stato delle strade in esercizio, sulle attività manutentive e sull'avanzamento dei progetti di ponti e strade in Sicilia.

A seguito delle ispezioni svolte nel corso degli anni 1864 e 1865, il Possenti predispose un documento che fu quindi presentato al Ministro in data 20 luglio 1865. La consistenza della rete, aggiornata al 1862, risultò essere di 2159 km.

L'arretratezza rispetto alle altre regioni italiane era preoccupante (80 m di strade per kmq di territorio, contro 613 m per kmq nelle regioni del nord), al punto che il Possenti indicava che "*i bisogni della Sicilia possono ottenere sufficiente soddisfacimento… in ragione di 300 metri per chilometro quadrato di superficie*" (livello di densità raggiunto soltanto nel 1905). Il pregio della Relazione Possenti è dovuto, anzitutto, alle indicazioni programmatiche in essa contenute: scelta dei collegamenti, itinerari stradali, modalità costruttive, schemi tipo per il dimensionamento dei ponti, ecc.

Alcuni dei provvedimenti per il completamento e l'adeguamento della rete stradale siciliana, contemplati nella relazione Possenti, furono immediatamente intrapresi anche se in misura non adeguata alle effettive esigenze del territorio. Ciò è testimoniato dall'inchiesta parlamentare sulle condizioni della Sicilia (1875-1876) dalla quale si deduce, ad esempio, che nei dieci anni successivi al deposito della relazione stessa, dei 105 ponti previsti dal Possenti ne erano stati costruiti soltanto 52.

La relazione Possenti

Lo stato della rete stradale siciliana nel periodo immediatamente successivo all'unificazione d'Italia risentiva della cattiva gestione borbonica del territorio isolano. Numerosi erano i difetti costruttivi delle infrastrutture stradali, spesso derivanti da tracciati non adeguati alle reali esigenze della mobilità. Le critiche alle scelte tecniche erano state denunciate in più occasioni sin dalle fasi progettuali[1] in quanto, sovente, si era verificato che:

- erano state scelte livellette eccessivamente pendenti, sulle quali i carri più pesanti (a quell'epoca a trazione anima-

le) non riuscivano ad "arrampicarsi";
- per limitare i costi di costruzione non erano state previste tutte le necessarie opere d'arte in corrispondenza dei fiumi o torrenti, con la conseguenza che molti corsi d'acqua dovevano essere attraversati a guado;
- le opere d'arte secondarie (tombini, cunette, ecc.) spesso erano mancanti, con la conseguenza che il solido stradale era esposto a fenomeni erosivi, o di scalzamento, e nel corso del tempo, si manifestavano immancabilmente fenomeni franosi, soprattutto in prossimità di terreni argillosi.

Il divario infrastrutturale rispetto alle regioni dell'Italia settentrionale era ormai divenuto preoccupante sia sotto il profilo dell'estensione della rete, sia per ciò che attiene la tecnica stradale. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, basti considerare che regioni come Piemonte, Lombardia e Toscana si erano già da tempo dotate di strade progettate, e poi manutenute, secondo i criteri razionali suggeriti dalla scuola francese di Ponts et Chaussèes[2]. Inoltre molti collegamenti tra importanti centri dell'isola non erano stati ancora realizzati, o risultavano incompleti.È questo il caso della strada Palermo-Sciacca[3] e della Via Palermo-Messina per le marine, rimasta a lungo interrotta in corrispondenza della sua parte mediana, dopo Cefalù (PA).

Preso atto di questa arretratezza, il Governo Centrale del Regno d'Italia ritenne indispensabile attuare i necessari provvedimenti per migliorare, completare ed integrare la rete borbonica allora in esercizio. Il primo obiettivo da raggiungere non poteva che essere quello di determinare il quadro esatto dell'intero sistema infrastrutturale siciliano e quindi, di redigere una programmazione delle opere strategiche atte ad eliminare i fattori di arretratezza della rete; fattori che già da tempo costituivano un forte deterrente alla crescita economica e sociale della regione.

Nel 1864, quindi l'allora ministro dei Lavori Pubblici, sen. Stefano Jacini, dette formale incarico all'ispettore del Genio Civile, ing. Carlo Possenti, di condurre un accertamento straordinario al fine di mettere in luce "*sul luogo, il vero stato dei lavori, in conto nazionale ed i progetti in corso, tanto per ponti e strade quanto per porti e spiagge e fornendo speciale attenzione a tutto ciò che concerne il mantenimento delle strade*".

L'ing. Possenti, partì da Torino il 4 Febbraio 1864 e giunse a Palermo l'8 dello stesso mese. Lo stesso Possenti nella sua relazione dichiara di aver dimorato in Sicilia 114 giorni, percorrendo più di 1.800 chilometri tra strade esistenti ed in costruzione su terreni naturali o alvei di torrenti. L'ing. Possenti fece ritorno da Trapani il giorno 01/06/1864.

La strategia utilizzata dal Possenti fu quella di segnalare al Ministro le opere necessarie allo sviluppo del territorio, ritenute meritevoli di essere realizzate sulla scorta delle visite di sopralluogo effettuate durante il corso della trasferta. A titolo esemplificativo, basti pensare che già in data 11 febbraio (dopo appena tre giorni dall'arrivo in Sicilia) predispose e inviò una documentazione re-

lativa al tronco di strada tra Cerda e Caltavuturo, che produsse l'immediato effetto di ottenere dal Parlamento un incremento di stanziamento di fondi, pari a £. 100 per il solo 1865.

Procedendo secondo questo approccio il Possenti inviò al Ministro ben ventinove rapporti che generarono effetti simili a quello prima descritto. A conclusione della trasferta, venne chiesto all'ispettore di redigere una nota conclusiva in grado di rendere organico il lavoro svolto sino a quel momento. A seguito di tale invito l'ing. Possenti relazionò sul lavoro svolto[4], sulle documentazioni inviate in precedenza ed integrò quanto già fatto con ulteriori dati statistici. La viabilità siciliana venne distinta, Provincia per Provincia, in strade "nazionali" (secondo quanto appositamente previsto da una legge del 30 marzo 1862), "provinciali mantenute provvisoriamente dallo Stato", "provinciali e comunali mantenute dalle Province e dai Comuni". Un'ulteriore classificazione era la seguente:

A) strade aperte al carreggio e mantenute fino dal 30 marzo 1862;
B) costrutte, in costruzione od appaltate dopo il 30 marzo 1862;
C) strade decretate per legge o per deliberazione dei consigli comunali o provinciali, ma non ancora appaltate, o per le quali i progetti sono già allestiti, o si trovano in studio o non sono ancora stati predisposti.

Le principali infrastrutture stradali all'epoca in esercizio erano[5]:

1) La strada Palermo-Trapani, per Alcamo;
2) La strada Palermo-Girgenti per Corleone e Bivona;
3) La strada Santa Caterina-Siracusa-Noto per Caltanissetta e Caltagirone;
4) La strada Termini-Taormina per Nicosia con diramazioni rispettivamente per Caltanissetta e Milazzo.

Il Possenti mette in evidenza che gran parte della viabilità "secondaria", o di accesso al territorio era costituita dalle cosiddette "trazzere", contraddistinte da percorsi presenti sul terreno naturale nudo, o destinato al pascolo, o decespugliato, della larghezza originaria di 146 palmi siciliani[6], ma che col passare del tempo esse erano diminuite in larghezza per via dell'estensione delle coltivazioni.

Venne messo in evidenza che lungo le trazzere il trasporto a soma era tollerabile, almeno nelle stagioni estive, laddove la pendenza longitudinale delle stesse fosse inferiore al 6-8%. Talvolta su dette strade si verificava la percorrenza di carri ad assi leggeri trainati da un cavallo. Durante la stagione invernale, le piogge rendevano la piattaforma impraticabile al transito anche con il semplice trasporto a soma.

La criticità della rete derivava, tra l'altro, dal fatto che il bacino d'utenza delle trazzere corrispondeva ad "*un terzo e più della popolazione dell'isola*". Inoltre, cosa ancor più grave, risultavano prive di collegamenti stradali 4 capoluoghi di circondario, 63 capoluoghi di mandamento, e 177 comuni. Al 30 marzo 1862 la densità della rete era di 84,50 m/kmq di superficie territoriale, ovvero 0,914 m/abitante. Gli stessi pa-

rametri, valutati con riferimento alle province settentrionali del Regno d'Italia risultavano essere, invece di 612,63 m/kmq e 6.148 m/abitante. Col convincimento che tale divario fosse incolmabile, almeno nell'immediato futuro, il Possenti indica nella propria relazione, che "*i bisogni della Sicilia possono ottenere sufficiente soddisfacimento anche colla sola metà di quella misura, ossia in ragione media di 300 m per chil.q.to di superficie , e di 3 metri per abitante; la quale corrisponde a circa 7.400 chilometri di sviluppo stradale.*" L'onere economico necessario all'incremento dell'estensione della rete stradale, stimato dal Possenti in ragione di quindici milioni di lire (avendo assunto un costo unitario di 35 £/km) avrebbe dovuto gravare, come da lui suggerito, in parte sulle casse statali ed in parte su quelle dei Comuni isolani. A questi ultimi, veniva suggerito di stornare i fondi destinati ad altre attività onde evitare che:

- venisse ritardata la costruzione della rete, essenzialmente provinciale;
- la rete provinciale diventasse, "*nel corso degli anni futuri, viziosissima*";
- fosse prolungata indefinitamente l'epoca del perfezionamento della rete generale dell'isola.

Sotto il profilo tecnico, venne indicato dal Possenti che lo stato delle strade era complessivamente buono o mediocre nelle province di Siracusa, Caltanissetta, Catania e Messina; mediocre o cattivo nelle province di Girgenti, Palermo e Trapani. Il Possenti riconosceva tuttavia che non mancavano eccezioni a quanto indicato nell'uno e nell'altro caso. Tra le tratte in condizioni peggiori, vengono citate, ad esempio, la Palermo-Trapani e quella sulla Sella di Domingo fra Alcamo e il confine della provincia di Palermo.

Fu messo inoltre in luce che, ad esclusione delle "*tratte di cattivo transito*", le strade siciliane erano praticabili meglio di quanto si ritenesse. Infatti, in genere, non erano presenti le solcature e gli ormaiamenti frequentemente constatabili lungo le infrastrutture del Nord Italia.

Ciò, come sottolineato dal Possenti, non era imputabile a sistemi costruttivi particolarmente rigorosi, oppure a frequenti attività manutentive ma derivava, verosimilmente, solo dai ridottissimi carichi di traffico veicolare. Infatti, la stragrande maggioranza delle vie esaminate veniva percorsa da carovane di bestie da soma e da un limitato numero di carrozze, a due ruote, trainate da un cavallo e caricate in modo da non superare carichi massimi di otto quintali (in media cinque).

Pertanto risultava evidente che un traffico con composizione equivalente a quello transitante sulla viabilità del Settentrione, costituito da veicoli pesanti tra dieci e cinquanta quintali (e talvolta di più) avrebbe in breve tempo arrecato danni talmente gravi da rendere impraticabile quella viabilità, la cui sovrastruttura (pavimentazione) in prima analisi appariva migliore di quella riscontrabile sulle strade del Nord Italia.

I principali difetti costruttivi riscontrati dall'ispettore del ministro, erano i seguenti:

- la piattaforma stradale presentava una "sola ala"[7], di otto e più metri di larghezza, spesso orizzontale; a ciò doveva ascriversi la formazione di valli e dossi ed il cattivo smaltimento delle acque di piattaforma;
- la carreggiata era larga soltanto 4,20 m, in genere separata mediante due cordoli in ciottoli dai passeggiatori (banchine), sovente realizzati in terra marnosa, cretosa o argillosa. Il transito simultaneo di due veicoli con provenienza opposta necessitava che uno, o entrambi, oltrepassassero il cordolo con conseguente formazione di ormaie sulle banchine non adeguate a sopportare i carichi di traffico;
- il sistema con cui venivano realizzate le banchine produceva, in inverno la formazione di pozzanghere che impedivano il passaggio ai pedoni;
- mancavano i fossi di scolo o erano in cattivo stato;
- i tombini erano in numero insufficiente rispetto a quello necessario per consentire l'attraversamento delle acque scolanti lungo gli impluvi naturali del terreno;
- mancavano quasi del tutto i ponti sui torrenti e fiumi con alvei di ampiezza superiore ai 5-6 metri. Tale carenza imponeva una limitazione o, più frequentemente, la sospensione del traffico durante le piene. Inoltre, durante i tentativi di attraversamento a guado (anche con l'ausilio di operai traghettatori) si verificavano numerosi incidenti con perdite di bestiame e non di rado di vite umane;
- la realizzazione delle massicciate stradali era spesso inadeguata rispetto ai canoni costruttivi del tempo.

Sotto il profilo statistico, il Possenti predispose, per ciascuna provincia siciliana, un elenco delle strade costruite, in costruzione o appaltate dopo il 30 marzo 1862, e per alcune di esse riepilogò l'avanzamento dei lavori. Sotto il profilo economico le informazioni reperite riguardavano l'importo dell'appalto, gli stanziamenti già inseriti in bilancio per i lavori appaltati fino a tutto l'anno 1865 e le somme effettivamente erogate per ciascun tronco stradale. Inoltre, considerato che in forza della legge del 30 marzo 1862 le opere appaltate riguardanti la costruzione di ponti lungo le strade provinciali dovevano gravare su fondi statali, furono reperite ed approfondite informazioni di natura tecnico – economica sulle stesse. In base ad esse, venne messo in luce un significativo ritardo sui lavori appaltati tra il 1862 ed il 1865 per i quali fu stanziato un finanziamento complessivo di £. 5.317.502,03.

Tale ritardo era attribuibile a diverse cause, tra le quali risultano degne di menzione quelle prospettate nel sottostante elenco:
- mancanza di appaltatori locali professionalmente validi. In genere, le attrezzature a disposizione delle imprese siciliane erano in numero limitato e spesso non adeguate alle tipologie dei lavori in appalto.
- carenza di manodopera specializzata che sovente doveva essere ricercata nelle vicine Calabrie, con conseguente aumento dei costi;
- gli appaltatori siciliani, in genere, erano avvocati e notai "*più intenti ad impiantare questioni che edifici*";

- il personale del Genio Civile era in numero insufficiente per eseguire lavori di rilievo e la redazione dei nuovi progetti.

In più, i locali uffici del Genio Civile si occupavano di numerose altre attività che necessitavano di ben più ampie risorse rispetto a quelle richieste per la riqualificazione (manutenzioni e nuove progettazioni) del sistema stradale.

A tal proposito basti pensare che le funzioni principali a cui l'Ufficio del Genio Civile assolveva riguardavano: porti, fari, fabbricati demaniali e provinciali come carceri, tribunali, chiese di regio patronato, caserme dei Carabinieri, ecc.

Nonostante la gravità della situazione, il Possenti esprime le proprie perplessità circa i rapporti tra ente appaltante ed appaltatore, e propone alcune alternative procedurali alla consuetudine del tempo di far redigere i progetti alle Società assuntrici dell'appalto a forfait. T

ra queste, quella più lungimirante prevedeva che l'imprenditore si accollasse anche i costi di manutenzione dell'infrastruttura di cui si era aggiudicato l'appalto, quantomeno per il ventennio successivo alla messa in esercizio dell'opera, ad un canone annuo fisso senza supplementi per qualsivoglia evento. È evidente che tale idea sia in contrasto con l'orientamento attuale di far redigere i progetti da tecnici qualificati in grado di svolgere progettazioni di ottimo livello che, a fronte dei maggiori costi iniziali, forniscono migliori garanzie sulla funzionalità delle opere.

TIPO	PROV.	LUNGHEZZA IN KM		
		NAZ.	PROV.	COM.
A - aperte al carreggio e mantenute fino al 30.3.1862	Calt.tta	50,7	173,0	5,7
	Catania	35,3	374,4	12,5
	Girgenti	-	164,0	-
	Messina	27,9	174,3	83,0
	Palermo	115,3	309,9	37, 0
	Siracusa	76,9	290,1	-
	Trapani	58,6	150,2	20,5
	TOT.	**364,7**	**1635,8**	**158,7**
B - costruite o appaltate dopo il 30.3.1862	Calt.tta	41,0	27,4	-
	Catania	80,4	186,3	4,0
	Girgenti	-	32,7	-
	Messina	22,0	33,0	-
	Palermo	22,6	11,3	24,0
	Siracusa	18,4	260,2	-
	Trapani	15,4	43,6	26,0
	TOT.	**199,7**	**594,5**	**54,0**
C - in progetto-decretate per legge	Calt.tta	15,0	-	-
	Catania	55,3	122,5	-
	Girgenti	89,0	-	-
	Messina	73,6	-	-
	Palermo	95,0	64,8	15,5
	Siracusa	-	72,1	-
	Trapani	-	39,4	-
	TOT.	**327,9**	**298,7**	**15,5**
Totale A + B + C		**892,3**	**2529,0**	**228,2**

Tab. 1 - Estensioni delle strade Nazionali, Provinciali e Comunali (relazione Possenti)

Il caso della strada provinciale da Messina a Palermo e a Catania per le marine

In conformità a quanto previsto dalla legge del 30 marzo 1862, il finanziamento dei ponti progettati in seno ai tracciati delle strade Messina-Palermo e Messina-Catania avrebbe dovuto gra-

vare integralmente sui fondi statali. L'onere economico risultava straordinario, considerato che sulla sola strada Palermo-Messina erano previsti oltre 52 ponti, dei quali 15 con luci comprese tra i 10 ed i 33 metri (media di 25 m), 9 con luci comprese tra 45 e 75 m, 3 da 180 m e 2 da 160 m.

Il costo delle opere d'arte maggiori risultava di £. 5.200.000 per l'itinerario Palermo-Messina e di £. 4.800.000 per il tracciato della strada Messina Catania, sul quale i ponti erano in numero di 30.

Oltre alle difficoltà legate alla realizzazione di opere d'arte particolarmente complesse per le tecnologie disponibili all'epoca, si aggiungevano quelle relative alle modalità di approvazione dei progetti. Infatti, quelli dei ponti con luci comprese tra i 5 m ed i 200 m, dovevano essere approvati dal Ministro, previo esame e parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, limitatamente a quelle opere il cui costo superasse la soglia di £. 4.000; in caso contrario, era bastevole il "*parere di un solo Ispettore*".

Tale sistema generava enormi lungaggini sui tempi necessari a ottenere l'approvazione di progetti, che spesso richiedevano due o tre riforme, con ulteriori perditempo, considerati, tra l'altro, l'enorme mole di lavoro gravante sui dipendenti del Consiglio Superiore dei LL.PP., spesso impegnati in numerose commissioni relative a costruzioni di infrastrutture ferroviarie, di canali, e di porti, con conseguenza facilmente immaginabili.

Interventi proposti

Numerose sono le considerazioni tecniche che il Possenti esprime in merito a diversi tronchi stradali, soprattutto per quelli attraversanti terreni morfologicamente instabili. A titolo esemplificativo, in questa sede, viene considerato il caso della strada Nazionale n. 4 (congiungente le località di Termini e Taormina), limitatamente al tronco compreso tra Cerda e Caltavuturo. In tale tratta si erano manifestati in passato seri fenomeni gravitativi con preoccupanti cedimenti del corpo stradale. Tale tronco venne portato come esempio della frequente inopportuna scelta di molti tracciati siciliani: "*Gli eventi di questo tronco devono aversi ben presenti dagli ingegneri progettanti d'altre tratte di strada in terreni di questa natura e pur troppo frequenti in quasi tutte le province siciliane. Loro prima cura nel tracciare la linea di progetto deve essere quella d'assicurarsi della stabilità del terreno…non sarebbe giusto che il movimento generale dovesse essere sacrificato con frequenti interruzioni e pericoli di transito…*".

Per altre opere come la strada nazionale n. 2 da Palermo a Girgenti per Corleone e Bivona, la diramazione della strada nazionale n. 4 per Milazzo, ed alcune provinciali, l'approfondimento viene spinto al punto da suggerire i migliori tracciati da adottarsi, tenuto conto delle condizioni geomorfologiche dei terreni, della lunghezza dei percorsi, nonché dei collegamenti con i principali centri isolani e con la rete stradale già in esercizio.

Modalità di finanziamento (Legge 20 marzo 1875)

La legge del 20 marzo 1875 aveva l'obiettivo di classificare le strade in base alla funzione assolta e di attribuire a specifici Enti o Amministrazioni le competenze - con onere di spesa - per la costruzione e manutenzione delle strade. Le attribuzioni funzionali e le modalità di finanziamento delle opere, sono quelle indicate di seguito:

- una *strada nazionale* non poteva collegare due centri del territorio già serviti da linea ferrata, ad eccezione di tronchi stradali attraversanti le catene montuose appenniniche ed alpine;
- lungo le strade nazionali veniva soppresso il pedaggio; con l'eccezione dell'attraversamento di fiumi con chiatte o ponti rotanti;
- per il solo periodo di ammortamento delle spese di progettazione e costruzione, l'Amministrazione Provinciale, al fine di rimpinguare le risorse economiche fino al completo indennizzo dei costi affrontati, avrebbe istituito il pedaggio per le strade provinciali, la cui tariffa doveva essere approvata con Decreto Reale;
- gruppi di Comuni potevano consorziarsi in guisa da cofinanziare la costruzione, manutenzione o sistemazione di strade comunali o vicinali d'importanza intercomunale;
- Alla stessa stregua delle Province, i Comuni, qualora le spese per gli interventi sulle rete viaria fossero state superiori ai budget sostenibili, potevano introdurre il sistema di pedaggio - con tariffa approvata dalla Deputazione Provinciale - limitatamente al periodo strettamente necessario a rimpinguare le casse Comunali.

Provvedimenti di completamento ed adeguamento della rete stradale

Lo stato della rete stradale siciliana non mutò sensibilmente a seguito della relazione dell'Ing, Possenti. Infatti, com'è desumibile da un'altra importante indagine, promossa dagli onorevoli Franchetti e Sonnino, relatori di una *Inchiesta sulle condizioni della Sicilia*, (secondo il disposto dell'Art. 2 della Legge 3 luglio 1875), a dieci anni di distanza dall'indagine voluta dal sen. Jacini continuavano a persistere gravissime carenze infrastrutturali, soprattutto nel sistema stradale. A tal proposito, basti pensare che al 31 dicembre 1875, ben 102 comuni non avevano alcun allacciamento stradale e che la rete siciliana presentava una densità di 139 m per kmq di superficie e 1,57 m per abitante.

Per quanto attiene i lavori relativi alle opere stanziate dallo Stato prima con la legge del 30 marzo 1862 e quindi con quella del 25 giugno 1866, occorre dire che dei 605 km di strade nazionali e 105 ponti previsti, erano stati completati, al 31 agosto 1875, 485 km di strade (mentre erano in stadio di completamento 135 km) e 52 ponti (9 in fase di completamento), mentre ve ne erano da appaltare ancora 44.

Per quanto concerne invece le strade provinciali, la situazione era positiva per alcune province, e molto preoccupante per altre. In sintesi, risultava che:

- a fronte di prestiti molto onerosi (con-

tratti attorno all'anno 1865) le realizzazioni stradali erano state praticamente nulle per le Province di Girgenti e di Caltanissetta;

- nella provincia di Messina furono realizzati solo pochi chilometri di rete, ma, considerato il territorio orograficamente complesso, lo Stato si accollò la costruzione di 85 ponti;
- nella Provincia di Palermo era già in esercizio una rete di 420 km, in costruzione 49 km ed in progetto 156 km;
- nella Provincia di Trapani si registrava, proprio nel 1875, l'emanazione di una legge che attribuiva allo Stato il compito di finanziare un'importante infrastruttura che metteva in collegamento i Comuni di Trapani, Castelvetrano, Sciacca e Porto Emedocle;
- la situazione delle province di Catania e Siracusa era talmente buona da risultare confrontabile, secondo quanto scritto dagli onorevoli Franchetti e Sonnino, con quella delle Province continentali.

Statistiche successive (cfr. Tab.2), consentono di concludere che, nonostante le nuove realizzazioni, ancora nel 1904 la Sicilia presentava una rete stradale di ridotta estensione. Infatti, le densità (estensione rete/superficie territoriale) riscontrabili nelle diverse aree italiane erano rispettivamente di 0,68 km/kmq per il settentrione, 0,57 km/kmq per l'Italia centrale, 0,34 km/kmq per il meridione e solo 0,29 km/kmq per la Sicilia.

TIPOLOGIA STRADA [km]	Costruite fino al 1862 - Possenti	In fase di costruzione o applatate al 1865 - Possenti	Costruite tra il 1862 ed il 1875 - Franchetti e Sonnino	Costruite al 1875	Costruite al 1904
Nazionali	349	200	458	807	727
Provinciali	1636	594	594	2230	4411
Comunali	160	54	705	865	2206
TOTALE	2145	848	1757	3902	7344

Tab. 2 – Consistenza della rete stradale siciliana

[1] G. Perez, *La Sicilia e le sue strade*, Palermo 1861, ristampato con introduzione di C. Trasselli dall'Editore S. Sciascia, Caltanissetta – Roma, 1962.

[2] G. Tesoriere, *Le strade e le ferrovie in Sicilia*, Zedi Italia, Palermo, 1995.

[3] L'itinerario Palermo – Sciacca oggi è costituito dalla strada statale S.S. 624, con caratteristiche geometrico – funzionali proprie di una strada extraurbana secondaria, ai sensi del Codice della Strada e del D.M. 5/11/2001.

[4] La relazione integrale è consultabile sul sito internet *www.storiamediterranea.it.*

[5] Ministero dei Lavori Pubblici, *Cenni monografici sui singoli servizi*, vol. 2, Strade ordinarie nazionali, Roma 1878.

[6] Corrispondenti a 37,63 metri.

[7] Oggigiorno la piattaforma stradale è sistemata sui rettifili con configurazione a schiena d'asino, con falde della pendenza del 2,5%, mentre in curva la falda è ad unica pendenza di valore commisurato all'ampiezza del raggio.

MARCO GUERRIERI, TULLIO GIUFFRÈ, ALESSANDRO CRISAFULLI

La prima pianificazione postunitaria della rete ferroviaria della Sicilia

Introduzione

Il 3 ottobre 1839, sotto il governo, veniva inaugurato il primo tronco ferroviario italiano tra Napoli e Granatello di Portici.. Nella percezione dell'opinione pubblica l'opera appariva prodromica alla costruzione di una rete ferroviaria ben ramificata nel territorio dell'Italia meridionale e in Sicilia.

La realtà fu ben diversa. Infatti, dopo il decreto di Francesco II di Borbone del 1859, che prevedeva la costruzione di un'organica rete estesa anche alla Sicilia, soltanto con i Decreti del 25 giugno e del 17 agosto 1860, emanati dal Governo provvisorio (prodittatore della Sicilia Depretis), si iniziarono gli studi per la realizzazione delle prime tre linee ferroviarie siciliane, la cui finalità era principalmente commerciale.

Il primo tronco ferroviario fu quello inaugurato nel 1863 tra Palermo e Bagheria esteso, l'anno successivo, sino a Trabia. Nei seguenti anni le intense attività di cantiere consentirono di realizzare diverse linee, in conformità alla pianificazione intrapresa. Nel 1885 erano stati realizzati ben 796 km di infrastrutture ferroviarie con scartamento ordinario. Circa contemporaneamente fu intrapresa la costruzione di linee a scartamento ridotto nettamente meno costose delle linee ordinarie che, al contrario (in ragione delle difficoltà orografiche), avrebbero richiesto la realizzazione di numerose ed imponenti opere d'arte. La rete secondaria ebbe un consistente sviluppo tanto che, attorno alla prima metà del XX secolo, raggiunse gli 811 km. Nei successivi decenni la realizzazione delle infrastrutture ferroviarie isolane continuò alacremente, fino a raggiungere nel 1905, anno di costituzione dell'Azienda delle Ferrovie dello Stato, un'estesa di 1218 km.

La nascita del sistema ferroviario

Il 27 settembre 1825, la locomotiva ("Locomotion"), guidata dal suo ideatore e progettista Giorgio Stephenson, inaugurava la prima corsa della storia ferroviaria ai viaggiatori, lungo la linea ferrata Stockton - Darlington (32 km) in Scozia. Il treno, costituito da una ventina di vagoni a due assi (realizzati modificando ed arredando opportunamente alcune benne da carbone prelevate dalla vicina miniera di Witton Park), riusciva a trasportare ben 600 passeggeri, rimorchiando un carico complessivo di 69 tonnellate. Il nuovo sistema di trasporto ebbe eccezionale successo perché più vantaggioso rispetto ai metodi tradizionali sotto ogni punto di vista: velocità, quantità di merce e di persone trasportate, comodità del trasporto, ecc. La ferrovia si diffuse perciò abbastanza velocemente in Europa.

Nel 1836 una Società costituita dai tre fratelli Bayard de la Vingtrie, propose al Governo del Regno delle due Sicilie una concessione per la costruzione di una strada ferrata fra Napoli e Nocera, chiedendo come corrispettivo l'usufrutto per un periodo di novantanove anni, trascorsi i quali l'infrastruttura sarebbe divenuta proprietà totale dello Stato. Il Re Ferdinando II accolse favorevolmente la domanda e la rimise all'esame del ministro per gli affari interni. Quest'ultimo dette parere positivo di "*trattare direttamente col signor Bayard dei patti e condizioni, sotto l'osservanza delle quali doveva farsi la concessione, onde garantire la convenienza e la sicurità dell'impresa*"[1] . Con Decreto del 19 giugno 1836, modificato poi con quello del 3 febbraio 1838, fu accordato al signor Bayard la facoltà di attuare la strada ferrata da Napoli per Portici, Torre del Greco e da Torre Annunziata a Nocera, con un ramo per Castellammare, e con la previsione di prolungarla verso Salerno, Avellino ed altri siti. La concessione prevedeva, tra gli altri, i seguenti patti: a) il Bayard avrebbe dato una garanzia di tremila ducati di rendita o cinquantamila ducati di denaro effettivo; b) la strada sarebbe stata costruita a doppio binario; c) i lavori dovevano durare non più di quattro anni; d) il Re, dopo l'esame degli elaborati di progetto, avrebbe dato la sua definitiva approvazione affinché l'opera si realizzasse; e) la concessione sarebbe stata di ottanta anni, durante i quali all'impresario era accordata la facoltà di riscuotere il "*nolo di un posto o delle mercanzie dai passeggeri e dai negozianti, secondo una tariffa che stabiliva i prezzi che potevano essere diminuiti, ma non aumentati*"[2].

Approvato il progetto dal Re, dopo i necessari esami svolti da un'apposita Commissione Tecnica, ed eseguiti i lavori, in data 3 ottobre 1839 venne inaugurata la linea Napoli-Portici, la cui estesa era di 7,250 km. Le locomotive "Vesuvio" in esercizio sulla tratta erano state progettate sul prototipo di Stephenson; esse presentavano una potenza di 65 HP ed erano capaci di trainare convogli del peso di 46 tonnellate alla velocità di 50 km/h. Il 19 maggio 1844 fu ultimato, e aperto al traffico, anche il tronco congiungente Portici e Torre Annunziata e la diramazione per Castellammare; le linee costruite presentavano una lunghezza e pari a 12 e 7 km, rispettivamente. Il 1° agosto 1860 entrò in esercizio anche la tratta Torre Annunziata-Vietri, di lunghezza pari a 29 km.

La zelante iniziativa del Re Ferdinando II non corrispose, tuttavia, alla naturale aspettativa della popolazione: la realizzazione di una rete infrastrutturale adeguata a fornire il necessario impulso per lo sviluppo socio-economico di un territorio contraddistinto da un'economia sin troppo depressa. A tal proposito, basti pensare che all'atto dell'unificazione, il Piemonte e la Lombardia avevano già intrapreso la costruzione di diversi itinerari ferroviari, mentre nell'ex Regno delle due Sicilie le costruzioni si limitarono:

- ad un'estesa di 53 km in esercizio e 4 km in costruzione, concesse alla

società Bayard de la Vingtrie;

- a 88 km in esercizio e 152 km in costruzione a cura del ministro dei lavori pubblici per esigenze militari.

Il quadro legislativo postunitario

La concessione, la costruzione e l'esercizio delle strade ferrate nel Regno d'Italia furono regolate dalla legge del 20 novembre 1859, fino al 1865, e dopo tale data dal Titolo V della legge sulle opere pubbliche del 20 marzo 1865 che differiva dalla precedente normativa, principalmente per le seguenti ragioni: *a) introduzione dell'obbligo alle Società di un servizio cumulativo; b) facoltà attribuita al Governo di rinunciare alla compartecipazione degli utili derivanti dall'esercizio di una linea ferrata, a cui aveva diritto quando questi, per un determinato numero di anni, eccedevano il 10%, imponendo al concessionario una riduzione di tariffa; c) le strade ferrate erano suddivise in private e pubbliche; d) le strade pubbliche potevano essere concesse esclusivamente per legge. Inoltre, viene chiarito che le strade ferrate pubbliche costituivano "opere di pubblica utilità", con la conseguenza che trovavano applicazione tutte le disposizioni di legge sull'espropriazione per pubblica utilità.*

Il Titolo V della L. 20/3/1865 individuava le disposizioni della concessione. In particolare, veniva indicato che: 1) gli atti di concessione dovevano essere basati su un Capitolato preventivamente approvato per legge o stipulato dal Ministro per promuovere la sanzione legislativa della concessione; 2) il Concessionario doveva fornire una cauzione a garanzia dell'adempimento della "assunta impresa"; 3) la concessione era accordata per un tempo prefissato, alla scadenza del quale, lo Stato sarebbe subentrato al Concessionario potendo riscuotere, in tal modo, gli utili. I Concessionari rimanevano proprietari degli oggetti mobili come locomotive, veicoli, mobili delle stazioni, attrezzi, ecc.; 4) compiuta la linea, prima di essere aperta all'esercizio doveva essere collaudata da una Commissione Governativa in contraddittorio col Concessionario. Nel caso fossero state trovate "mancanze" sulle opere eseguite veniva imposto al Concessionario di porvi riparo, diversamente il Governo avrebbe provveduto d'ufficio; 5) i Concessionari avevano l'obbligo di mantenere le linee esercite ed il materiale rotabile in buono stato. Nell'interesse della regolarità e sicurezza del servizio, era previsto che il Governo avrebbe potuto compiere, in qualsiasi momento, tutte le ricognizioni e le prove atte a giudicare lo stato delle linee concesse; 6) negli atti di concessione venivano stabiliti i prezzi massimi delle tariffe che potevano essere aumentati soltanto a seguito di autorizzazione governativa. Detta autorizzazione era necessaria anche nel caso in cui il Concessionario avesse voluto ribassare i prezzi ed il Governo avesse avuto la compartecipazione negli utili; 7) per esercitare i propri diritti, il Governo aveva a disposizione commissari tecnici ed amministrativi; i primi erano incaricati della sorveglianza dei lavori di costru-

zione, della buona manutenzione dell'infrastruttura, del materiale fisso e mobile e di vegliare sulla regolare condotta dell'esercizio; i secondi dovevano vigilare sulla corretta applicazione delle tariffe, sulle modalità con cui venivano realmente effettuate le convenzioni col Governo o con altri concessionari e sull'osservanza delle leggi e dei regolamenti di polizia e di ordine pubblico.

La rete italiana negli anni 1839-1878

La consistenza del settore delle costruzioni ferroviarie pubbliche italiane sino al 1878, può essere meglio compresa considerando l'evoluzione dell'estensione della rete ferrata.

Durante i primi dodici anni, dal 1839 sino al 1850, si costruirono complessivamente 609 km di linee. Nei successivi dieci anni se ne costruirono 1580, passando in tal modo da una media di 50,75 km/anno (1839-1850) al valore di 158 km/anno. Le infrastrutture sino al 1861, erano a servizio dei singoli Stati, pertanto le linee risultavano perlopiù disgiunte tra loro.

Soltanto dopo il 1861 si tentò di conferire una migliore organicità al sistema ferroviario e, allo stesso tempo, si intrapresero nuove costruzioni. Infatti, nel decennio 1861-1870 si aprirono all'esercizio 4044 km (mediamente 404 km/anno) e sino alla fine del 1877 altri 1980 km. Sinteticamente si può osservare che la densità della rete ferroviaria italiana passò da 7 m per chilometro quadrato di territorio e 87 km per milione di abitanti del 1860, a 28 m per chilometro quadrato di territorio e 296 km per milione di abitanti del 1878. Nonostante tali valori fossero indicativi di un'arretratezza rispetto alle medie dei Paesi più sviluppati d'Europa, le opere d'arte presenti su alcune tratte costituivano l'emblema dell'elevatissima cultura ingegneristica raggiunta dai tecnici italiani. A tal proposito basti pensare ai numerosi ponti sul fiume Po, costruiti nei territori di Piacenza, Mezzanacorti, Bogoforte ed al traforo italo-francese del Frejus. Gli ingegneri del Genio Civile Nicola Coletta e Cesare Rota scrivevano che "*innanzi all'abbagliante successo della superba galleria, ricorre alla mente l'erculeo lavoro che fu necessario per attraversare le viscere delle Alpi, onde bene a ragione se ne ammirava lo splendido compimento leggendo al sommo dell'ingresso le belle parole* PERRUPIT ACHERONTA HERCULES LABOR".

Le tramvie

La prima tramvia fu realizzata a Torino e venne concessa alla Società Carattisti e compagni. La linea, della lunghezza complessiva di 3.500 m (collegava Piazza Castello alla barriera di Nizza), fu messa in esercizio nel gennaio del 1872.

Per quanto risulta dagli atti ministeriali, nel 1875 erano in esercizio o in costruzione le seguenti linee: Roma 2,980 km in esercizio, 28,600 in costruzione; Milano 35,936 km in esercizio; Torino 26,600 km in esercizio; Napoli: 13,100 km in esercizio e 14,400 km in costruzione; Genova 9,185 km in esercizio; Cuneo 7,930 km in esercizio; Rimini 2,300 km in esercizio.

Con riferimento alla Sicilia, è documentato che a Palermo era in costruzione una piccola rete tramviaria che avrebbe avuto uno sviluppo di oltre 13 km. Sino al 1878, in Italia erano già stati costruiti 98,031 Km di linee Tramviarie e si stavano completando i lavori di nuove infrastrutture per complessivi 57,000 Km.

Gli interventi in Sicilia

Il Governo borbonico, essendo scettico sulla remunerativitá degli investimenti ferroviari e poco propenso ad aggravare il deficit pubblico, fino al 1859 non considerò la possibilità di costruire ferrovie in Sicilia. In quell'anno, tuttavia, l'*Istituto di incoraggiamento di agricoltura, arti e mestieri* di Palermo, bandì un concorso per una monografia su un'ipotetica rete ferroviaria.

Col Decreto 28 aprile 1860 n. 809, Francesco II di Borbone statuiva lo studio di una vasta rete comprendente anche le linee Palermo - Messina e Catania-Girgenti-Terranova (Gela).

Il primo vero atto pianificatorio della rete ferroviaria siciliana avvenne con i decreti del 25 giugno e del 17 agosto 1860[3]. Il governo provvisorio, di cui era proditttatore Depretis, avviò lo studio per la costruzione di tre linee ferrate (Palermo-Termini-Lercara, Messina-Catania e Caltanissetta Licata), successivamente confermato dal nuovo Governo centrale. Quest'ultimo emanò alcuni provvedimenti legislativi aventi per obiettivo lo sviluppo coerente di un'efficiente rete nazionale. Considerato l'enorme onere economico che avrebbe dovuto gravare sulle casse statali, la realizzazione delle linee già progettate venne affidata ad alcune società private, per lo più con partecipazione di capitale straniero, che si accollavano la costruzione delle opere, a patto di essere remunerate con i proventi derivanti dal futuro esercizio delle linee stesse. Si trattava chiaramente di una gestione ed esercizio delle linee in regime di concessione.

Il primo tronco ferroviario siciliano, inaugurato nel 1863, congiungeva le località di Palermo e Bagheria. Il successivo anno la linea fu estesa per ulteriori 18 km, in modo da raggiungere il territorio di Trabia; negli anni seguenti, come previsto vennero raggiunti Termini Imprese e Lercara.

Gli itinerari in fase di realizzazione durante il primo decennio posteriore all'unificazione d'Italia erano mirati soprattutto allo sviluppo economico dell'isola. Infatti, in genere le linee mettevano in collegamento le miniere di zolfo (esportato in grandi quantità verso paesi come la Francia e l'Inghilterra) con i principali porti commerciale della regione. L'importanza dello zolfo per l'economia siciliana può essere ben compresa se si pensa che, prima dell'introduzione del metodo estrattivo Frasch (brevettato nel 1891), le miniere siciliane riuscivano, da sole, a coprire la quasi totalità della domanda mondiale del minerale. La relazione Borsani-Bonfadini "*sulle condizioni sociali ed economiche della Sicilia e sull'andamento dei lavori pubblici*" redatta, ai sensi della legge 3 luglio 1875, n. 2579, da una giunta composta da nove membri (dei quali tre no-

minati dalla Camera dei deputati, tre dal Senato del regno, e tre con Decreto Reale, sentito il Consiglio dei ministri), aveva messo in luce come le province produttrici di zolfo come Palermo ed Agrigento erano servite da linee ferrate (Palermo-Lercara, Lercara-Girgenti) ed interessate da nuovi progetti che prevedevano itinerari in grado di metterle in collegamento con ulteriori porti, mentre quelle non produttrici (Trapani, Messina e Siracusa) non videro seri studi di linee ferrate.

Per quanto attiene le modalità di scelta delle linee, da quanto emerge dalle dichiarazioni di un eminente esperto dell'epoca, ing. Sebastiano Mottura (ingegnere capo del Corpo delle Miniere a Caltanissetta), i tracciati principali furono predisposti dalle Società concessionarie e specialmente dalla Società costruttrici Vitali, Charles, Picard. Quest'ultima costruì subito le linee più facili da Messina a Catania-Siracusa, da Catania a Leonforte, da Palermo a Cerda; inoltre, tenuto conto che il costo di costruzione era stato fissato al chilometro, indipendentemente dalla tipologia di opere d'arte eventualmente necessarie, furono ridotte al minimo il numero delle gallerie e la loro estensione. Da ciò si comprende la regione per la quale a seguito del subentro del Governo per il completamento delle opere non ancora realizzate, il costo complessivo delle linee si triplicò rispetto a quanto preventivato in sede di concessione.

Oltre alle infrastrutture previste con i già citati decreti del 25 giugno e del 17 agosto 1860, negli anni compresi tra il 1865 ed il 1875, erano in corso di realizzazione anche le linee Agrigento-Canicattì-Caltanissetta e Palermo-Catania, il cui tracciato risultò di non facile scelta per le difficili situazioni orografiche dei territori attraversati.

Per quanto attiene le tempistiche di realizzazione, occorre considerare che le tratte in costruzione attraversavano territori che nel XIX secolo erano frequentemente acquitrinosi, insalubri e dunque si prestavano a divenire ricettacolo di molteplici malattie, spesso dalle gravi conseguenze. Le statistiche dell'epoca ci forniscono un quadro esaustivo delle difficoltà incontrate dalle imprese di costruzione. Nel 1872, in Sicilia ed in Calabria erano impiegati nel settore delle costruzioni ferroviarie mediamente 12.143 uomini al giorno; di questi ben 10.949 contrassero la malaria e dunque divennero inabili a proseguire le attività lavorative[4]. È evidente che tale circostanza, sommata alla necessità da parte delle Imprese di assumere manovalanza specializzata proveniente da altri parti d'Italia, determinava da un lato un cospicuo incremento dei tempi di costruzione, dall'altro maggiori costi per le Società, costrette, per ragioni contrattuali, a pagare ingenti penali determinate dallo slittamento della consegna dei lavori.

Alla fine del 1885 la rete ferroviaria siciliana, a scartamento ordinario (1435 mm), presentava un'estensione complessiva di 796 km. Le linee in esercizio erano: Palermo C.le-Fiumetorto-Caltanissetta Xirbi-Bicocca-Catania C.le; Messina-Catania-Siracusa; Roccapa-

lumba-Lercara-Aragona-Caldare-Girgenti; Palermo C.le-Alcamo- Castelvetrano-Marsala-rapani; Roccapalumba-Lercara-Aragona-Caldare-Girgenti; Aragona-Caldare-Canicattì; Caltanissetta-Xirbi-Caltanissetta C.le-Canicattì-Licata.

Le ferrovie urbane: il caso della linea stazione di Palermo-Porto

La linea costituiva una diramazione dell'itinerario Palermo-Girgenti. Il tracciato, che partiva dalla stazione centrale di Palermo, lambiva il tessuto urbano della città, giungendo al porto, dopo aver attraversato la piazza della Vicaria, detta dei Quattro Venti. L'infrastruttura presentava una lunghezza complessiva di 7 chilometri; le sezioni erano quasi sempre in trincea della profondità media di 10 m, scavate nel tufo calcareo alluvionale pliocenico, di cui è costituita la conca di Palermo.

Il tracciato presentava 7 rettifili e 7 curve di raggio minimo pari a 300 m, per uno sviluppo complessivo di 2600 m. Il profilo longitudinale presentava livellette con pendenza massima del 24,20 ‰. Il piano del ferro si trovava a una quota massima di 28,40 m s.l.m. e minima (al porto) di 1,75 m s.l.m. Le principali opere d'arte erano costituite da: un ponte sul torrente Oreto, a tre archi in muratura; galleria Turchesi (42 m) e Porta di Castro (283 m); 25 attraversamenti con cavalcavia (uno dei più importanti era quello obliquo in via Libertà, della lunghezza, tra le spalle, di 26,20 m); 5 sottovia e 13 passaggi a livello. Inoltre, erano presenti numerose opere d'arte secondarie, tra le quali: 17 "acquedotti a sifone", 10 acquedotti scoperti e 3 ponti-canale.

La relazione di Adolfo Billia

Un documento conservato presso l'Archivio di Stato di Palermo, permette di documentare la condizione della rete ferroviaria isolana e le attenzioni che gli ambienti ministeriali rivolgevano alla pianificazione del sistema dei trasporti siciliano[5]. Si tratta della relazione, datata giugno 1877, dell'ingegnere Adolfo Billia (capo direttore del Circolo Ferroviario d'Ispezione), indirizzata al Ministro dei Lavori Pubblici. Essa, permette di comprendere quali fossero le previsioni degli organi tecnici locali e centrali circa il futuro assetto della rete siciliana, ed il peso dato dall'ambiente politico alla già citata relazione Borsani-Bonfadini.

La relazione Billia si soffermò sulle linee principali Catania-Leonforte (variante per la valle del Simeto) e Palermo-Girgenti via Corleone e Bivona, e su quelle secondarie Giardini-Randazzo-Motta, Leonforte-Nicosia-Cefalù, Caltanissetta-Caltagirone-Gerbini, Siracusa -Noto-Licata, Porto Empedocle-Marsala, Marsala-Corleone-Palermo, Corleone-Sciacca, Trapani-Castellamare e Piazza Armerina-stazione di Valguarnera, eseguendo per ciascuna di esse uno studio di massima ed un calcolo dei costi sulla base dei confronti con quelli delle linee siciliane già costruite e della rete nazionale (valori del 1875). Con riferimento alla Catania-Leonforte l'ing. Billia obiettò che la variante proposta dal-

la Giunta presieduta dal senatore Bersani, aveva il pregio di lambire i centri abitati ma, di contro, comportava maggiori costi di costruzione e non era funzionale ad accogliere i volumi di traffico generati dall'industria solfifera. Per quanto attiene le linee secondarie, fu proposto di costruirle o adeguarle secondo il modulo a scartamento ridotto, il cui pregio principale era quello dell'economia nella realizzazione e nella manutenzione delle linee. Per altro, si deve considerare che in quel periodo era in corso un dibattito pubblico (tecnico e politico) che tendeva ad accreditare le linee a scartamento ridotto come valide alternative alle linee con scartamento ordinario (1435 mm).

Alla data di pubblicazione della relazione Billia erano già in esercizio diverse linee a scartamento ridotto tra le quali la Monteponi-Porto Vesme (inaugurata il 1° gennaio 1876), probabilmente la prima ad adottare lo scartamento ridotto "italiano" di 950 mm. In ogni caso, sia l'ing. Valsecchi, sia numerosi altri esperti (tra cui gli ingg. Mottura, Siben ed Imperatori) sostenevano che "*tutte le linee siciliane avrebbero dovuto presentare lo scartamento ridotto, anche se ormai era troppo tardi*". In seno, nella relazione Billia è riportata una stima per la realizzazione dell'intera rete isolana, così come prevista dalla Commissione parlamentare d'inchiesta, nell'ipotesi che questa fosse realizzata integralmente a scartamento ridotto. La stima fu operata sulla scorta dei costi relativi alla linea di Vallelunga e della Racalmuto-Caldare. Si ottenne la cifra di £. 163.009.510,68 e di £. 119.643.688,37 ipotizzando la costruzione delle sole linee "*designate come necessarie per completare la rete attuale*". Talvolta i costi di costruzione furono ulteriormente ridotti a scapito della funzionalità delle tratte. È questo il caso della linea Palermo-Corleone che secondo il Billia avrebbe dovuto avere raggi di curvatura minimi di 150 m, mentre la Società Trewhella utilizzò raggi minimi di 60 m e pendenze sino al 39 ‰.

La nascita delle FS

Il sistema delle concessioni aveva generato la nascita di numerose società di gestione di linee ferroviarie. Quelle più note nel territorio nazionale erano: Ferrovie Alta Italia, Ferrovie Romane, Ferrovie Meridionali, Società Vittorio Emanuele per le Ferrovie Calabro-Sicule, Ferrovie della Sardegna. In seguito ai dissesti finanziari in cui si erano venute a trovare diverse Società operanti nel territorio nazionale, lo Stato fu costretto a riscattare parte della rete ferroviaria. In una prima fase le Società private in attività furono rispettivamente la Società per le Ferrovie del Mediterraneo (linee in gestione per complessivi 4.000 km), Società per le Ferrovie Meridionali (rete estesa per 4.100 km) e Ferrovie della Sicilia (linee in gestione estese complessivamente 597 km). In seguito, con la Legge n. 137 del 22/4/1905, fu costituita l'Azienda Autonoma delle Ferrovie dello Stato (F.S.) che riscattò gran parte delle linee in gestione privata e si trovò ad esercire sul territorio nazionale 12.465 km, di cui 1.120 nella sola Sicilia.

Le linee a scartamento ridotto

Le caratteristiche orografiche del territorio siciliano, soprattutto nel suo entroterra, limitavano la possibilità di realizzare linee ferroviarie ordinarie a meno di costruire numerosi ponti e viadotti con costi che, il più delle volte, sarebbero stati proibitivi e certamente non giustificati dalla domanda di trasporto. Al fine di ovviare a tali inconvenienti, per numerosi itinerari si ricorse all'adozione delle c.d. linee a scartamento ridotto, la cui configurazione planoaltimetrica si contraddistingueva da pendenza elevate (talvolta anche superiori al 40 ‰), e raggi di curvatura modesti (100-150 m); inoltre, la sovrastruttura presentava un armamento (rotaie, traverse ed organi di attacco) leggero che permetteva il transito ai soli convogli di modesto peso e con locomotori di ridotta potenza. Le linee a scartamento ridotto (distanza tra le due rotaie pari a 950 mm) si estesero con gran rapidità oltre che in Sicilia anche in Basilicata e in Sardegna. Il primo tronco ferroviario a scartamento ridotto realizzato in Sicilia fu quello della linea Palermo-Corleone, con stazione e deposito ubicata a S. Erasmo, nei pressi della foce del fiume Oreto. L'itinerario si sviluppava lungo la costa fino ad Acqua dei Corsari, per poi deviare verso Villabate, Misilmenri, Marineo e Corleone. In seguito, la linea fu prolungata fino a S. Carlo Burgio (1903) e Sambuca, S. Margherita Belice, Salaparuta, Partanna e Castelvetrano.

L'estensione delle linee a scartamento ridotto raggiunse quota 500 km nel 1927. Oltre alla Palermo-S. Carlo Partanna la rete era costituita dalle seguenti direttrici:

- Castelvetrano-Sciacca-Ribera-Siculiana-Porto Empedocle (1923);
- Girgenti Bassa-Naro-Canicattì (1921);
- Lercara Bassa-Filaga-S. Stefano Quisquinia-Bivona-Alessandria della Rocca-Cianciana-St.ne Magazzolo (1922);
- Dattilo (stazione sulla linea Pa-Catania) per Piazza Armerina-Caltagirone (1923) e per Assoro (con sistema a cremagliera) e poi Leonforte;
- Circumetnea (Catania-Paternò-Adrano-Bronte-Randazzo-Linguaglossa-Giarre);
- Siracusa-Vizzini-Ragusa.

Inoltre, nel periodo 1930-1935 fu intrapresa la costruzione della linea Palermo-Monreale-Altofonte-Piana degli Albanesi-San Cipirello-Camporeale, il cui corpo stradale fu integralmente realizzato, mentre l'armamento venne ultimato soltanto sino a Monreale.

Nello stesso periodo era in esercizio una funicolare che congiungeva la parte terminale del Corso Calatafimi (la Rocca di Palermo) a Monreale mediante due vetture tranviarie, una adibita alla salita, l'altra alla discesa, trainate da motrici a fune con scambio intermedio (sistema Abt). Complessivamente le linee a scartamento ridotto raggiunsero un'estensione complessiva di circa 811 km, di cui 563 km gestiti dopo il 1905 dalle F.S. e 248 km concesse a Società private. Come si può ben comprendere da quanto rappresentato, la costruzione delle linee ferroviarie non seguiva una scrupolosa programmazione; pertanto, si

verificarono frequenti inefficienze valutabili con coefficienti di esercizio (rapporto costi / ricavi) molto elevati per le linee ordinarie e addirittura preoccupanti per quelle a scartamento ridotto (valori anche superiori a 3).

Invero, nel frattempo, aveva avuto un consistente sviluppo il trasporto pubblico su gomma che garantiva buoni livelli di confort ed elevate velocità commerciali, ben superiori a quelle delle linee a scartamento ridotto che si attestavano soventemente a non oltre 20 km/h; ciò, soprattutto per le linee della Sicilia centrale eccessivamente tortuose e con livellette d'elevata pendenza (fino al 35-40 ‰ in aderenza naturale e 75‰ a cremagliera). Per tali motivi, ben presto si passò alla soppressione di talune linee in forte passività come la Palermo-S. Carlo-Poggio-reale, ed il collegamento Agrigento-Naro-Canicattì.

Nel 1957 risultavano ancora in esercizio le seguenti linee a scartamento ridotto: Castelvetrano-Sciacca-Ribera-Siculiana-Porto Empedocle; Castelvetrano-Partanna-Gibellina-Poggioreale; St.ne Lercara Bassa-Filaga-Bivona-Alessandria della Rocca-St.ne Magazzolo (con deviazione da Filaga per Palazzo Adriano).

Nel 1980 l'unica linea rimasta in esercizio era la Castelvetrano-Ribera, soppressa con D.M. del 1° luglio 1986.

[1] Ministero dei Lavori Pubblici, *Cenni monografici sui singoli servizi*, vol. 4: Le strade ferrate, Roma 1878.

[2] *Ivi*, p. XII, XIII, XIV.

[3] G. TESORIERE, *Le strade e le ferrovie in Sicilia*, Zedi Italia.

[4] P. M. KALLA-BISHOI, *Mediterranean Island railways network*, Abbott&Charles, 1969.

[5] A. CRISAFULLI, *Il sistema ferroviario siciliano e l'inchiesta Borsani-Bonfadin*i, «Ingegneria ferroviari», 7/2000.

NINA MARIA MARGIOTTA

Sviluppo urbano della città di Campobasso dopo l'Unità d'Italia: l'edilizia pubblica e il ruolo degli ingegneri

Lo sviluppo della città di Campobasso nel periodo postunitario, è strettamente legato all'aumento demografico; di questo aspetto si era avuta percezione già nel corso del XVIII secolo a causa della crescita della produzione agricola e al conseguente aumento dei guadagni. Tuttavia la crescita urbana è connessa anche al ruolo di capoluogo che la città assume agli inizi del XIX secolo: il nuovo ruolo amministrativo del nucleo urbano comporta la creazione di sedi ufficiali adeguate allo scopo, ma anche la costruzione di nuove residenze. Le aree sulle quali realizzare tali costruzioni sono rese disponibili dalla confisca dei beni ecclesiastici che portano all'acquisizione, da parte del Comune, dei conventi e dei terreni necessari alla crescita urbana. L'istituzione di Campobasso come capoluogo di provincia consente, quindi, grandi trasformazioni sia di carattere urbanistico sia di taglio collettivo; queste ultime vedono l'emergere di nuove classi sociali in relazione all'aumento della popolazione borghese.

Nel periodo preunitario, lo sviluppo della città molisana[1] era stato lento, anche se seguiva le direttive del piano urbano dell'architetto Bernardino Musenga[2]; il centro cittadino raggiungerà una rilevante crescita solo nella seconda parte dell'Ottocento. L'espansione avviene anche grazie alla costruzione di importanti strade di collegamento. Questo permette un processo di crescita accompagnata dal relativo decentramento della città: si formano ulteriori insediamenti ad andamento tentacolare, determinando un grande incremento edilizio attraverso la realizzazione di edifici significativi.

La città registra, in sostanza, due espansioni differenti, una minore ad andamento curvilineo attorno al borgo medioevale, l'altra maggiore ad andamento tentacolare che comporta una crescita della città nelle aree circostanti con la formazione di nuovi nuclei urbani. In questo modo la città, di fatto, esce dall'isolamento urbano attuando un particolare sviluppo ad isolati, i quali si dispongono lungo la maglia ortogonale definita dal Musenga[3]. Questa forma urbana rappresenta il punto di partenza per un futuro incremento urbano: la fisionomia è quella della città giardino con edifici modesti, strade ampie e parallele che si innestano nel territorio. Si definisce il nuovo baricentro cittadino, il cui ruolo deve la sua importanza ai cambiamenti sociali a seguito della formazione della nuova classe media emergente.

Fino al 1859 la città mostra la sua crescita secondo tre direzioni dominanti: ad est, a sud-est e a sud-ovest; si attesta, dunque, lungo le direttrici principali che si dipartono dalla Piazza Mag-

giore. In seguito, continua la sua espansione secondo le linee generali previste dal piano regolatore redatto dall'ingegner Rosalba intorno al 1865: in realtà questo è un piano dal taglio prettamente edilizio, anche se sono chiare le intenzioni di ampliamento. Esso, così come è strutturato, è in linea con la legge del 24 giugno dello stesso anno, in base alla quale si forniscono le linee guida da seguire per attestare lungo le strade gli edifici, per effettuare le demolizioni e le ricostruzioni, per costruire il reticolo viario pubblico necessario all'accessibilità delle costruzioni. Proprio in questa occasione si fissano le regole relative all'esproprio per pubblica utilità del centro cittadino. Tale regolamento edilizio[4] ha come obiettivo principale quello di ricomporre al meglio l'immagine unitaria della città, stabilendo le regole di allineamento e di decoro; per non vanificare le buone intenzioni si costituisce una Commissione per analizzare ogni singolo caso, rendendo operative le norme stabilite.

Subito dopo l'Unità d'Italia[5] inizia un costante, ma crescente incremento edilizio, che aveva subito una battuta d'arresto nel periodo della restaurazione borbonica; questo è il momento in cui si costruiscono sedi adeguate per i nuovi apparati di controllo. La realizzazione degli edifici pubblici contribuisce, oltre che alla crescita di Campobasso, anche a definire un'immagine urbana attraverso la qualità formale delle facciate. Sicuramente, un altro aspetto apprezzabile, che concorre a determinare le linee di decoro della città, è rappresentato dal verde che contribuisce, da un lato a celare la disorganicità urbana riempiendo i vuoti, dall'altro a rendere la città vivibile. Grande rilevanza, nel processo di sviluppo della città, assume la costruzione di nuove infrastrutture di trasporto ferroviario che permettono il collegamento della città con i centri di maggior prestigio e al tempo stesso garantiscono trasformazioni rilevanti nel territorio. Intorno al 1883 si completano i tronchi ferroviari verso Termoli e Napoli che favoriscono nuovi incrementi edilizi, soprattutto in direzione di via Novelli e della strada denominata Corso Nuovo; nel frattempo si costruisce all'interno degli isolati esistenti. Proprio nel periodo post-unitario la città raggiunge una certa stabilità amministrativa: il costante incremento demografico favorisce lo sviluppo urbano delle aree adiacenti la stazione, infatti, vengono urbanizzati i terreni agricoli per dare spazio ad una serie di infrastrutture e di edifici.

Il piano regolatore della città di Campobasso del 1865 redatto dall'ing. Rosalba, oltre a regolamentare le scelte edilizie, stabilisce le linee guida del futuro sviluppo urbano della città, insieme alle norme relative all'esproprio per pubblica utilità. La nascita degli organi di controllo porta, inevitabilmente, alla realizzazione di una serie di edifici rappresentativi delle funzioni amministrative, che costituiscono anche i poli della futura espansione della città. Queste costruzioni devono essere realizzate seguendo i precetti del decoro, inoltre, devono localizzarsi all'esterno del borgo antico sia per distinguersi dalla tipologia

edilizia già esistente sia per garantire, attraverso una dislocazione strategica, un maggiore controllo. La localizzazione degli edifici avviene, quindi, in parte nel centro cittadino, ma soprattutto lungo le principali direttrici su cui si attesta l'espansione: ad essi è affidata la nuova immagine della città, che si esplicita con l'assunzione di quei valori formali che prendono spunto dal repertorio classico e dai revivals storici.

Gli edifici pubblici, realizzati nella seconda metà dell'Ottocento, diventano l'espressione formale della città che si esprime nell'accoglimento di quelle istanze culturali che sono maturate in ambienti più prestigiosi e che certamente non mancano di influenzare l'area molisana. Il gusto verso la classicità, tipico dell'epoca, ha larga influenza sia sui progettisti governativi sia sui costruttori d'origine molisana, coinvolgendo persino la manovalanza locale. Il Palazzo Municipale e il Collegio Nazionale "Mario Pagano", ad esempio, insieme con altri importanti edifici pubblici, sono realizzati nel periodo postunitario su idee progettuali di ingegneri la cui esperienza indiscussa si desume dai progetti, in cui l'uso attento degli elementi architettonici, di chiara matrice neoclassica, mostra la loro spiccata propensione per un'architettura moderna e monumentale, dove anche il dettaglio gioca un ruolo basilare. Alla fine del XIX secolo e nei primi anni del XX la città molisana si espande e, nel frattempo, cresce l'esigenza della presenza di poli urbani capaci di soddisfare le mutate necessità della popolazione. Si costruiscono, per questo motivo, su incarico dell'amministrazione ad ingegneri e più di rado ad architetti, diversi edifici i quali ancora oggi rivestono notevole importanza nel centro cittadino, come la Prefettura, il Palazzo delle Poste e dei Telegrafi, la Camera del Commercio, l'Istituto Tecnico "L. Pilla", il Teatro "Sociale" oggi Savoia e la Casa degli Orfani di Guerra.

Il Palazzo della Prefettura, ad esempio, che sorge nell'antica Piazza Mercato dove si collocava il monastero delle carmelitane, fu fondato intorno al 1729 da un ricco signore Agostino Santellis che ne dettò anche le regole di vita; esso ebbe durata breve, tanto che inaugurato nel 1735, fu chiuso pochi anni più tardi. Da quel momento la costruzione fu adibita ad usi diversi, ad esempio scuola di abbecedario e albergo per le truppe di passaggio. Dopo essere stato luogo di pena nel 1856 si decise di realizzare un palazzo per la Regia Prefettura: il progetto fu affidato all'architetto Oscar Capocci che lo presentò nel 1861 e lo completò, dopo opportune modifiche, l'anno successivo. Tuttavia l'edificio fu oggetto di numerose discussioni circa l'opportunità o meno di elevare un altro piano, a causa dell'inadeguatezza distributiva e costruttiva. Il palazzo rimase incompleto per lungo tempo; in seguito, un'apposita Commissione, accertata la sua solidità, decise di sopraelevarlo. I lavori, sospesi nel 1874, furono portati a termine soltanto nel 1884. L'edificio è di forma rettangolare, caratterizzato da due ingressi di cui quello principale ha un imponente portale con balconata so-

vrastante che corrisponde all'altezza di due piani. L'atrio è piuttosto ampio e conduce ai due cortili interni di dimensioni diverse. Il prospetto presenta al primo livello finestre leggermente arcuate; nel secondo livello le finestre della parte centrale sono dotate di timpani, le laterali rettangolari sono come quelle del terzo livello. Un ampio scalone interno conduce agli ambienti destinati ad uffici ed all'appartamento di rappresentanza.

Un altro edifico, che riveste un ruolo centrale nella vita del città di Campobasso, è il Municipio o Palazzo S. Giorgio il quale nasce come convento intorno al 1290; la sua costruzione si deve a Pietro del Morrone che lo fondò prima di essere eletto. Il monastero era affidato ai padri celestini che possedevano anche una vasta area destinata a giardino; in seguito ai frequenti terremoti subì ingenti danni e, con la soppressione dell'ordine nel 1809, crollò qualche anno dopo ed il terreno fu trasformato in orto botanico. Ricostruito dai fedeli solo nella seconda metà dell'Ottocento, fu trasformato in quello che adesso è l'odierno Municipio; per volere delle autorità del tempo la parte terminale destra del palazzo fu destinata a chiesa. La costruzione fu realizzata su progetto dell'arch. Gherardo Rege tra il 1874 e il 1877. Proprio perché rappresentava la prima autorità cittadina, doveva essere di sufficiente grandiosità. L'edificio è di forma rettangolare con tre corpi ad esso ortogonali che racchiudono cortili interni; la facciata è interrotta da un portale centrale inquadrato da due colonne di ordine ionico su alti basamenti che immette in un ampio androne anticamente carrozzabile. Il prospetto presenta al primo livello diverse finestre con timpano; al piano superiore le bucature sono rettangolari con coronamento superiore su mensole. Inglobata nel prospetto è la chiesa non visibile esternamente. Il palazzo, oltre alla partizione orizzontale, presenta anche quella verticale, con lesene poste in corrispondenza dei pilastri del portico sottostante che inquadrano le finestre.

All'interno di quanto avveniva nel centro cittadino, anche il Collegio Sannitico "M. Pagano" è interprete del suo tempo. Nato come convento tenuto dai frati francescani, subì ingenti danni nel 1807 in seguito ad un tremendo terremoto. Con la soppressione degli ordini voluta dal regime napoleonico, il convento fu adibito prima a caserma e poi trasformato nella sede del Real Collegio Sannitico chiamato nel 1865 Convitto Nazionale "M. Pagano". Già nel 1816 era stata affidata all'architetto Musenga la trasformazione del convento a collegio per l'educazione e l'insegnamento. Nel corso del tempo il collegio fu oggetto di diverse modifiche a causa di numerose controversie e lungaggini burocratiche. Soltanto sul finire del 1874, in seguito al proposito di allargare sempre più l'istruzione, fu redatto un nuovo progetto dall'ingegnere Giulio De Angelis a cui si deve la definitiva configurazione dell'istituto. La costruzione iniziò nel 1879 e fu ultimata, fatta eccezione per l'angolo sud-ovest, solamente sul finire del XIX secolo. Si tratta di un imponente edificio di 61m di larghezza, a tre pia-

ni nella parte centrale e due nelle ali laterali. Dopo aver attraversato l'ampio portale che immette in un vasto atrio e in larghi corridoi con volte a crociera, si accede ad un'ampia scalinata che conduce al piano superiore dove è ubicato l'Oratorio con pareti affrescate. Accanto all'Oratorio si trova l'aula magna, in luogo dell'antico teatro in legno; essa è collocata sopra il refettorio. La luce proviene dall'esterno e dai cortili interni, uno dei quali è destinato a palestra. Esternamente ha una serie di finestre arcuate al pianterreno, con arco a tutto sesto al primo piano, di cui quelle centrali sono più grandi.

Nel 1915 si sottoponeva al Consiglio Superiore dei LL.PP. il progetto esecutivo dell'edificio delle Poste e dei Telegrafi della città, un altro palazzo indispensabile per la vita del centro, visto anche il ruolo che esso ricopriva dal punto di vista amministrativo. Il Comune aveva l'obbligo dell'acquisto dell'area necessaria e cederla allo Stato; il Municipio, di conseguenza, fece redigere, dall'ing. De Capoa, il progetto definitivo del palazzo destinato a sorgere sul suolo al centro dell'abitato ed a breve distanza dagli altri edifici pubblici. L'edificio non aveva dimensioni molto grandi, ma risultava, comunque, sufficiente allo scopo, rispondendo in modo razionale alle esigenze dei vari servizi. I lavori furono iniziati solo a demolizioni avvenute e dopo aver provveduto all'appalto dei lavori mediante licitazione privata. Alla fine del 1923 i lavori si interruppero a causa della sopraggiunta disposizione da parte del Ministero della soppressione del secondo piano. Una tale decisione comportò la redazione di un nuovo progetto per le modifiche da apportare alle strutture, alla distribuzione degli ambienti ed alla composizione della facciata per la quale fu disegnato un nuovo prospetto. Soltanto nel 1924 fu comunicata la decisione di costruire l'edificio completo di tre piani. Nel pianterreno furono ubicati tutti i servizi postali, in modo che nel salone centrale si aprirono per il pubblico gli sportelli destinati alla distribuzione e all'accettazione. Nel primo piano furono distribuiti tutti i servizi e gli uffici telegrafici definendo l'ingresso per il pubblico dalla scala di destra del prospetto, mentre quello degli impiegati fu organizzato dall'altra scala principale; nel secondo piano trovarono sede tutti gli uffici postali e d'ispezione. La sistemazione del sottotetto consentì di ricavare una serie di ambienti, da adibire ad uffici o ad alloggi a seconda delle disposizioni del Ministero. Nel 1926 l'edificio era quasi completato ad eccezione di piccoli lavori di rifinitura. Il prospetto principale è molto decorato ed è in stile neoclassico, con zoccolatura in pietra da taglio ed ornamenti in pietra artificiale, a perfetta imitazione della locale pietra calcarea con fondi di stucco. Il salone per il pubblico è decorato a stucco, con soffitto a cassettoni riquadrati con cornici dentellate e lavorate con rosone centrale; tutt'intorno vi è una cornice di coronamento con festoni e stemmi raffiguranti le trenta province. La facciata è caratterizzata da una sovrapposizione dell'ordine nelle parti centrale e laterali, con tre ingressi, di cui quello principale

è di accesso al salone, mentre i due laterali sono realizzati con singolari bassorilievi in bronzo.

Nel 1922 il Consiglio della Camera di Commercio di Campobasso, approvava la proposta del presidente di garantire all'ente una decorosa sede, aveva nominato un'apposita Commissione di tecnici per risolvere il problema. La costruzione dell'edificio Camerale, purtroppo, incontrò delle difficoltà burocratiche riguardanti la cessione del suolo da parte dell'Amministrazione Comunale. Nel 1923 all'ingegnere della città Ferruccio Impallomeni fu affidata la redazione del progetto definitivo. Il progetto in un primo momento non fu approvato dalla Commissione Edilizia, in quanto l'edificio Camerale, insieme agli altri fabbricati da costruirsi in piazza d'Armi, doveva coprire l'area in maniera continua, senza intercapedini nei fronti stradali, armonizzandosi, dal punto di vista architettonico, con le varie costruzioni già esistenti, soprattutto adeguandosi per l'altezza dei piani; nello stesso anno furono apportate al progetto le modifiche occorrenti. L'edificio era caratterizzato da un piano seminterrato, limitato ad una parte del palazzo da un piano sopraelevato rispetto al piano stradale, il Rez-de-chaussée, da un piano superiore e dal sottotetto. Nel corso del tempo il numero degli ambienti previsti risultò particolarmente insufficiente e l'Amministrazione invitò il progettista ad apportare altre modifiche in modo da ottenere una diversa distribuzione degli ambienti attraverso l'aggiunta di un nuovo livello. Il suolo su cui è stata realizzata la costruzione ha una forma determinata da due rettangoli convergenti, collegati tra di loro, e presenta un cortile nella parte retrostante. Il primo piano è destinato alla rappresentanza con un salone decorato a stucchi; il secondo piano, invece, è adibito ad uffici.

A partire dal 1914 si doveva provvedere alla costruzione di una conveniente sede per la Scuola Tecnica. Per questo motivo era necessario effettuare una scelta rispetto al luogo dove poter realizzare un edificio grandioso, così da soddisfare le esigenze tecnico didattiche e di decoro per la città. Dopo qualche tempo, fu dato incarico all'architetto Alberto Calza Bini di compiere la scelta delle aree più adatte all'iniziativa. La costruzione fu realizzata sul luogo delle antiche officine molisane, di proprietà dei padri cappuccini, in ottima posizione centrale, in modo tale che l'edificio avrebbe contribuito, per la dignità delle sue linee architettoniche, al decoro cittadino. Il progetto fu redatto dall'ingegnere Ciro D'Agnone nel 1925 e prevedeva la realizzazione di un unico corpo di fabbrica isolato posto nell'ampia area e adiacente al Convitto "Mario Pagano". Il fabbricato ha forma ad U con il fronte principale parallelo alla strada Vittorio Veneto, con le ali prospicienti i viali laterali. La struttura è a corpo doppio, o meglio è costituita da una doppia fila di ambienti a cui si accede tramite un ampio corridoio. La soluzione adottata dal progettista nella distribuzione planimetrica dell'impianto consente ulteriori ampliamenti attraverso il prolungamento delle ali. I fronti sono caratterizzati

da linee semplici ed armonizzanti per garantire un aspetto serio e decoroso rispondente al suo uso. L'edificio risultò troppo basso rispetto al vicino Convitto "M. Pagano" e fu necessario apportare delle modifiche sopraelevandolo di un piano. Oggi al primo livello è posta l'aula magna in cui sono presenti diversi affreschi raffiguranti le discipline insegnate nell'istituto.

Un progetto rilevante per la città di Campobasso è la Casa destinata ad ospitare gli orfani di guerra del Molise, il quale fu redatto dall'ingegnere Eduardo Mastracchio nel 1923. Tale progetto prevedeva un edificio a tre piani fuori terra, oltre il piano destinato a scantinato; le dimensioni dovevano essere tali da ospitare oltre cento orfani. Nel 1924 la Regia Prefettura mostrò delle riserve sia per la distribuzione sia per la destinazione degli ambienti dell'edificio; la spesa relativa alla realizzazione influenzò le decisioni della Prefettura. Il progettista, quindi, mantenendo le linee di massima del progetto primitivo, studiò una nuova distribuzione ubicando i servizi in soli due piani in grado di ospitare circa ottanta orfani. Dopo varie valutazioni si giunse ad escludere il progetto del 1923 in quanto non rispondeva adeguatamente alle esigenze e comportava una spesa eccessiva rispetto alle proposte successive. Il progetto definitivo era pensato come un edificio costituito in un unico fabbricato da ubicare oltre la cinta daziaria, nella parte sud-est della città, con accesso dalla strada per Ferrazzano. Nel progetto è previsto un corpo di fabbrica a forma di C con una parte centrale e due laterali che racchiudono nella parte posteriore un cortile centrale. Dal lato estetico, i diversi fronti dell'edificio hanno carattere di serietà perfettamente rispondente a quella che era la sua destinazione al momento della costruzione; le strutture murarie sono in materiale calcareo, in laterizio ed in cemento armato.

In quello che era denominato il Largo del Mercato sorgeva l'antico teatro Margherita realizzato in legno nelle sue parti principali e rivestito esternamente da mattoni e stucchi. L'ingresso era posto in corrispondenza della chiesa della SS.Trinità ed aveva carattere provvisorio, in attesa di fondi per la costruzione di un nuovo stabile. Tali fondi arrivarono per opera di privati che avevano acquistato il vecchio teatro e le casette addossate alla chiesa, in seguito demolite. Al loro posto fu realizzato, sul luogo offerto dal Comune ed eliminando il collegamento con via Marconi, l'attuale edificio. Collocato nella prima espansione ottocentesca al di fuori dell'antica cinta muraria, l'edificio fu realizzato tra il 1923 ed il 1925; ad esso erano annessi abitazioni e botteghe. Il progetto fu redatto dall'ingegnere Antonio Raffaele Battista che ne curò anche la direzione dei lavori. Il teatro è in stile liberty, con una zona d'ingresso, in cui si colloca la biglietteria, e dalla quale si accede al foyer affrescato; dal foyer partono due scale di accesso ai vari ordini di palchi, gallerie e platea. Quest'ultima è a forma di ferro di cavallo, sulla quale si affacciano quattro ordini di palchi con una copertura a schifo ribassata ed abilmente

affrescata. L'orchestra ha un'altezza di 15,25m e divide la platea dal palcoscenico che ha una forma trapezoidale; il boccascena è realizzato con una struttura lignea arricchita con paraste e decorata con fregi dorati.

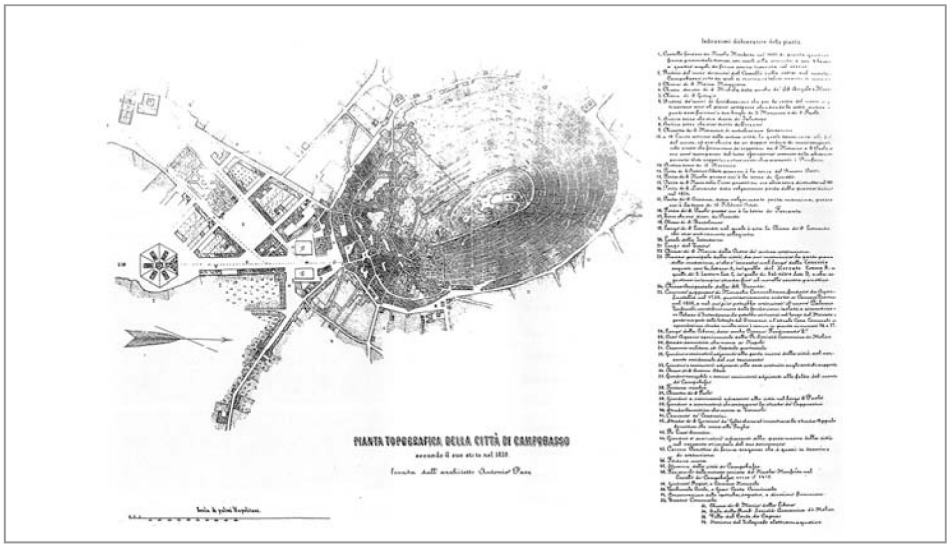


Fig. 1 - Pianta topografica della città di Campobasso del 1859. Archivio di Stato di Campobasso



Fig. 2 - Il P.R.G. della città del 1956. Gli isolati e le direttici di sviluppo sono la memoria storica dei piani precedenti

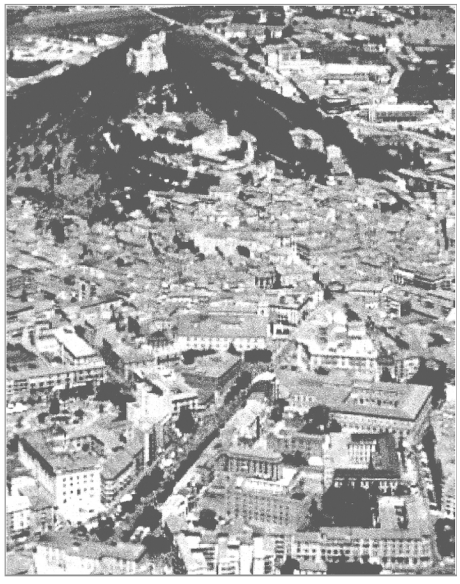


Fig. 3 - Campobasso, l'area del nucleo antico, il Borgo Nuovo e le espansioni successive ad andamento regolare

La ricerca mostra, sia attraverso esami, sopralluoghi fotografici di queste emergenze architettoniche, presenti nella città di Campobasso sia attraverso un'accurata ricerca bibliografica e archivistica, l'importante ruolo che svol-

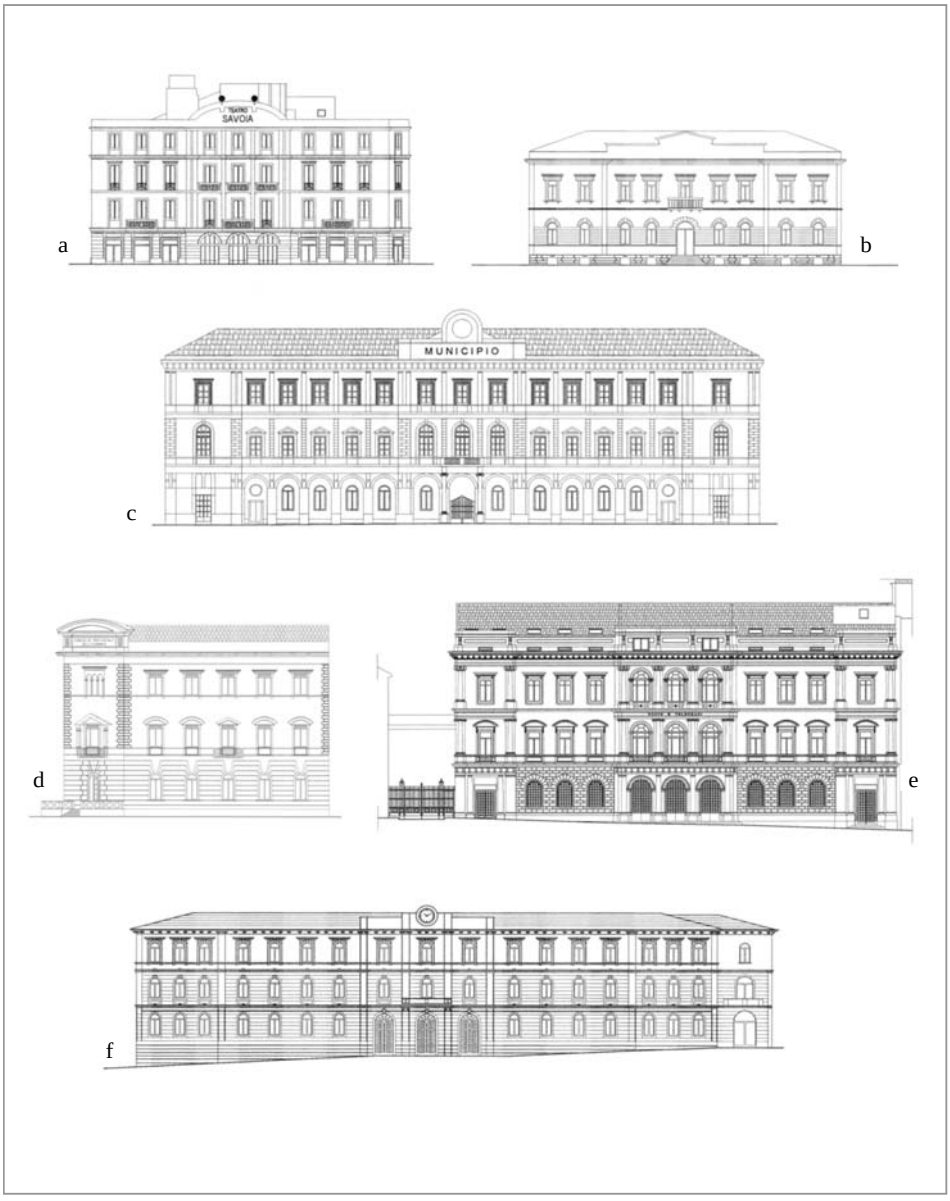


Fig. 4 - Tavola sinottica dei principali edifici storici della città di Campobasso: a) Teatro Savoia; b) Casa degli Orfani di Guerra; c) Palazzo S. Giorgio-Municipio; d) Camera di Commercio; e) Palazzo delle Poste e Telecomunicazioni; f) Istituto Tecnico "L. Pilla"

gono gli ingegneri del periodo postunitario nella organizzazione urbana della città molisana. Infatti, agli edifici che essi progettano è affidata la nuova immagine della città, poiché tali costruzioni, trovandosi in punti strategici della realtà urbano-architettonica che si va costituendo nel periodo postunitario, svolgono sia l'azione di controllo sia quella di qualificare l'intorno dell'area sulla quale sono edificate.

La realtà urbana degli anni successivi a quello in analisi, ha evidenziato come gli edifici studiati e le aree su cui sorgono siano il motore propulsivo della crescita urbana del centro molisano; essi rappresentano il codice di lettura urbana della città di Campobasso.

[1] Nel 1913 l'architetto Bernardino Musenga sottolinea l'incapacità del Comune alla gestione della crescita urbana della città di Campobasso. L'autorità amministrativa aveva provveduto l'anno precedente alla redazione di un progetto, elaborato dall'ingegnere Vincenzo Wan Rescant che il Ministero dell'Interno non approva; la stessa amministrazione affida, successivamente, all'architetto Musenga la compilazione di un secondo progetto per il capoluogo.

[2] Le linee generali di organizzazione della città subiscono modificazioni, ma in particolare l'attuazione del piano dell'arch. Musenga procede piuttosto a rilento ed è fortemente condizionata dal rispetto delle preesistenze, tanto che in un primo momento i tentativi di costruzioni fuori la cinta muraria sono molto timidi.

[3] Il sistema urbano proposto è basato su piazze e viali alberati.

[4] Il regolamento con le sue prescrizioni si occupava dell'ornato e della pulizia della città.

[5] Con l'annessione al Regno d'ltalia, il Molise accoglie una serie di provvedimenti mirati a riportare l'ordine sociale; l'intensificazione del controllo sociale porta ad una crescita importanza per le province e per i rispettivi capoluoghi.

Maria Paola Marabotto, Nadia Fabris, Giulio Capriolo

Persistenze e segni delle infrastrutture nel paesaggio del sud Piemonte

La linea ferroviaria Cuneo-Nizza: tracciati e percorsi

Il colle di Tenda separa le Alpi Liguri dalle Alpi Marittime e collega la valle Roja alla valle Vermenagna, mettendo in comunicazione il basso Piemonte con la Riviera ligure di Ponente e la Costa Azzurra. Esso è attraversato da una strada già percorsa in età romana, intensamente risalita anche nei secoli successivi fino all'arrivo dei Savoia che, a partire dal 1780 con Vittorio Emanuele III, la trasformarono in una via carrozzabile, percorribile da carri a quattro ruote con miglioramenti nei tratti più esposti e ripidi.

Affiancata a questa via di comunicazione, importantissima perchè permetteva il transito delle merci tra cui il sale, elemento primario nell'economia del tempo, esiste un'altra fondamentale infrastruttura viaria, importante opera di ingegneria ferroviaria: la Cuneo- Nizza. Realizzata in un'epoca in cui la ferrovia rappresentava il più moderno mezzo di comunicazione, è stata ripristinata intorno alla fine degli anni settanta del novecento, quando il trasporto su rotaia era erroneamente considerato in secondo piano rispetto a quello su strada.

Il valico di Tenda, che raggiunge l'altezza di m. 1873, cominciò ad acquistare importanza già al tempo del dominio Angioino-Provenzale. La città di Nizza si offrì al Piemonte con un trattato, firmato il 29 settembre 1388 con il conte Amedeo VII di Savoia, a seguito della grave situazione politica in cui versava la città e per l'impossibilità di difendersi da potenziali nemici. Già a quell'epoca il commercio tra le due regioni era considerato di primaria importanza; nell'anno 1579 la Contea di Tenda passò al Duca di Savoia Emanuele Filiberto e dal quel momento ebbe inizio quel movimento commerciale che avrebbe fatto di Nizza il porto del Piemonte. Nel 1613 Carlo Emanuele istituì il porto franco garantendo particolari condizioni a tutto vantaggio dei traffici e degli scambi. Il Colle divenne così una delle vie del sale per Cuneo e Torino.

Fu Carlo Emanuele I che diede il via ad un importante opera di miglioramento della strada che durò per secoli; tra queste opere la concezione del traforo del valico di Tenda fu tra le migliori. Le opere eseguite contribuirono all'aumento dei traffici che divennero tali da influenzare l'intera vita economica del territorio attraversato. Nell'anno 1780 il movimento commerciale raggiunse il suo massimo sviluppo e in quell'anno, per volere di Vittorio Amedeo III, vennero intrapresi i lavori per rendere la strada carrozzabile che risulta essere la prima carrozzabile che attraversava le Alpi. A questa importante via di comunicazione



Fig. 4 – La galleria del Colle di Tenda in una fase dei lavori

presto fu affiancata un'altra fondamentale arteria che doveva consentire il collegamento su rotaia tra Torino e Nizza. Il primo tronco - Torino-Cuneo - fu terminato nel 1855, dopo l'ultimazione del ponte sulla Stura e la costruzione di una stazione provvisori in località San Sebastiano.

Questo primo tratto di ferrovia consentì ai cuneesi un migliore collegamento con Torino, fino ad allora tra i mezzi di trasporto utilizzati c'erano le diligenze *celerifere* , gli omnibus *velociferi* e le vetture di posta che consentivano di compiere il tragitto in poco meno di dieci ore. Questa nuova strada ferrata permetteva di coprire l'intero percorso in appena due ore e mezza; giunti a Cuneo si poteva raggiungere Nizza con una diligenza viaggiando per circa venti ore. Il percorso comunque non facile, i tempi molto lunghi e gli altissimi costi convinsero i politici del periodo ad ipotizzare la realizzazione di una nuova linea ferroviari tra Cuneo e Nizza. Questa avrebbe permesso ai già floridi traffici commerciali tra il Piemonte e la vicina contea di Nizza di mantenersi tali.
Intorno alla metà del XIX secolo furono fatti diversi studi da alcuni ingegneri che però non vennero mai approfonditi; il primo progetto fu quello dell'ing. Filippo Cerroti incaricato da Carlo Brunet, sindaco di Cuneo e deputato in Parlamento, la cui opera dettagliata fu data alle stampe nel 1857. La scelta del tracciato cadde sulla via ritenuta più breve e fattibile tale da permettere a Nizza di entrare in diretta concorrenza con Genova per i trasporti piemontesi facenti capo ad un porto, venne perciò scartata a priori una eventuale linea attraverso gli Appennini e la riviera. I binari avrebbero dovuto risalire le valli Vermenagna, Roja e Bevera, poi seguire la costa da Mentone a Nizza, gallerie sotto il colle di Tenda ed il monte Giauma, lunghezza totale maggiore di soli 25 km rispetto alla linea Torino-Genova.

I tracciati di base progettati erano due: il primo di 106 km, ma con il ricorso a speciali impianti fissi; il secondo, più lungo di 15 km se si voleva adottare la sola trazione ordinaria, con una pendenza massima del 3%. La prima soluzione, molto più interessante della seconda, prevedeva la trazione con impianti fissi in due tratti. Il primo, in entrata ed in uscita dalla stazione di Limone, di 3723 metri servito da macchine fisse a vapore ivi collocate che consentivano il superamento di una salita del 4,5%. Il secondo, lungo la valle Roja, costituito da sei rampe del 6%, servite da speciali bindoli idraulici costituiti da una corda perpetua sorretta da puleggie e messa in movimento dalle acque appositamente incanalate, trasformando così la loro caduta in energia motrice capace di trainare un treno nel tratto ascendente; il

tutto dimostrato con precisi calcoli tecnici. Era poi prevista una galleria sotto il colle di Tenda per un lunghezza di 6500 metri.

Nel 1869 è l'ingegnere Tommaso Adugio ad attirare l'attenzione su alcuni suoi progetti e modelli di funicolare nelle esposizioni di Firenze nel 1861 e di Parigi nel 1867. Egli propose l'applicazione del suo sistema al colle di Tenda con il raggiungimento del doppio risultato dell'esperimento e dell'utilizzazione nei trasporti, a tutto beneficio del commercio tra Italia e Francia.

L'intera linea sarebbe stata a scartamento ridotto ed avrebbe dovuto seguire la strada nazionale utilizzandone la piattaforma, con curve di appena 50 metri di raggio e rampe fino al 45%, avrebbe ugualmente attraversato il colle di Tenda tramite il traforo stradale allora in costruzione, risalendo da Tenda e da Limonetto per mezzo di rampe di accesso con acclività dell'87,5% a trazione funicolare idraulica. Queste caratteristiche tecniche risultavano però di un livello decisamente mediocre per una ferrovia internazionale ed avrebbe imposto gravi limitazioni al traffico consentendo velocità molto limitate. Il progetto non ebbe seguito.

Un nuovo progetto di ferrovia a scartamento ridotto fra Cuneo e Nizza venne presentato nell'aprile del 1873 dal Barone Mario di Vautheleret. Come il precedente prevedeva la traversata del colle di Tenda per mezzo della galleria stradale; poi, dopo Briga Marittima, un nuovo traforo di 13 km sotto la cime di Marta, avrebbe permesso l'imbocco



Fig. 5 – Il viadotto della Chapelle con, in primo piano, il piccolo santuario da cui prende il nome

della valle Nervia che sarebbe stata seguita fino al mare. Le acclività massime previste erano del 35%, salvo un tratto di 22 km con pendenze del 38-40% per permettere l'ascensione al colle, che avrebbe richiesto la trazione a cremagliera e l'uso di funicolare idraulica; ma anche questo progetto fu respinto dalle autorità che non lo ritennero idoneo ad accollarsi l'importante traffico.

Un ennesimo progetto di ferrovia a scartamento ridotto era stato proposto da Seraphin Pincon nel 1872. Il precorso presentava alcune innovazioni: di 103 km di lunghezza, con un tunnel di 5100 metri sotto il colle di Tenda a quota 1150 metri , seguiva la Roja sino a Piena poi, con un altro tunnel di 1300 metri, guadagnava la valle Bevera e di qui passava nella valle Paillon per giungere a Nizza. Due rampe del 40-80% per una lunghezza totale di 6100 metri portavano al colle di Tenda, un'altra del 60% su 4700 metri era collocata a nord di Peille. Per superarle era prevista l'adozione della trazione con rotaia centrale ausi-

liaria sistema Fell che stava dando ottimi risultati sulla piccola ferrovia provvisoria del Moncenisio. Il binario aveva una terza rotaia centrale su cui premevano coppie di ruote orizzontali delle locomotive apposite, con la doppia funzione di guida sulle strette curve e di aumento dell'aderenza e dello sforzo di trazione per vincere la pendenza. Questo progetto, inaccettabile dal punto di vista tecnico, fu invece accolto per la scelta del tracciato dalla Commissione Durandy nel 1873.

Contemporaneamente a questi nuovi studi rivolti alla ricerca di nuove tecnologie, fiorirono i progetti per una ferrovia ordinaria con la scelta dei tracciati più vari.

L'ingegnere Henry Lefevre progettò nel 1872 due linee da Nizza per Digne e per Cuneo con la prima parte del percorso sino a Var in comune. Poi quella per Cuneo risaliva la valle Vesubia e, con un tunnel di 7000 metri sotto il colle Pagarì, giungeva in valle Gesso e la seguiva fino a Cuneo. Le acclività massime previste erano del 35% , ma il percorso, piuttosto tortuoso, avrebbe richiesto l'impiego di locomotive articolate con doppia caldaia. A questo progetto gli ingegneri Durandy e Delestruc apportarono in seguito diverse modifiche, sia per ovviare a certe approssimazioni causate da mappe imprecise e per evitare alcuni tratti soggetti a valanghe o smottamenti, sia per ridurre le acclività ed eliminare le tortuosità. La lunghezza risultò di 120 km.

Nel 1876 Domenico Saltelli progetto finalmente una ferrovia atta alla trazione classica e con acclività massime del 25%. La lunghezza era di 124 km, le valli percorse erano quella del Var, della Tinee e dello Stura di Demonte, ma richiedeva un colossale traforo di 15 km sotto il colle della Lombarda e risultava il progetto più costoso. Nessuno di questi studi e progetti verrà mai realizzato, ma tutti, anche quelli di più scarso interesse contribuirono alla nascita ed alla realizzazione della Cuneo-Nizza.

Le difficoltà politiche, i rapporti diplomatici con la Francia sempre più tesi, fecero si che si andasse delineando la tendenza alla costruzione di una linea ferroviaria completamente italiana da cui si staccasse un ramo francese per Nizza. L'ingegnere Pisani propose un tracciato via Tenda, Briga, valle Argentina e valle Nervia, sollevando l'entusiasmo dei liguri. Nel 1879 venne pubblicata la legge 5002 del 25 luglio che istituiva le ferrovie di I°, II°, III° e IV° categoria in cui, fra quelle di seconda, era compresa la Cuneo-Ventimiglia. Essa fu votata dopo una lunga discussione che la contrappose alla linea Ceva-Ormea-Oneglia a cui risultò superiore sotto il punto di vista economico, politico e militare. Avrebbe dovuto servire le valli Vermenagna e Roja passando in territorio francese per un breve tratto, attraversando il colle di Tenda per mezzo di un traforo. La lunghezza era di 70 km in territorio italiano e la spesa prevista di 32 milioni di lire.

Nel 1881 il Consiglio Provinciale di Cuneo si rivolse al Ministero dei Lavori Pubblici affinchè venissero immediatamente stanziati i fondi necessari ad ini-

ziare la costruzione. Finalmente in data 25 marzo 1882 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici approvò il progetto dell'ing. Delfino per la Cuneo-Boves-Borgo San Dalmazzo. Il progetto venne suddiviso in quattro lotti: Cuneo-Robilante, Robilante-Vernante, Vernanate-Limone, Limone-Vievola. La direzione dei lavori fu affidata all'ingegnere piemontese Sebastiano Grandis. I lavori del primo lotto iniziarono il 12 febbraio 1882 e terminarono nel 1887; il secondo lotto, aggiudicato nel 1884, venne ultimato il 1° settembre 1888 mentre ill terzo tratto fu aggiudicato nel 1886. Esso si presentò da subito come il più difficile poichè doveva superare un dislivello di 203 metri con rampe contenute al 25%. Richiese la costruzione di 13 ponti e viadotti per un totale di 69 archi in pietra e mattoni, e di 9 gallerie per una lunghezza totale di 4425 metri. Subito dopo l'uscita da Vernante la linea imboccava un tracciato elicoidale di circa 2 km che consentiva di guadagnare circa 50 metri di quota. Su questo tratto erano presenti le opere ingegneristiche di maggiore impegno: la galleria elicoidale lunga 1502 metri in curva costante di 325 metri di raggio ed il viadotto Rivoira di 45 metri di altezza, con 14 archi di 15 metri ed uno di metri 23 che, costruito quasi interamente in pietra, risultò il più imponente di tutta la linea ferroviaria.

La galleria venne conclusa il 30 dicembre 1889 da parte dall'Impresa dei Fratelli Vaccari la quale, dopo poche giorni, iniziò i lavori per il traforo del colle di Tenda. La stazione di Limone fu destinata a capolinea provvisorio: tre binari, piano di caricamento militare, scalo merci, rimessa per locomotive con piattaforma girevole e gru idraulica. Il 31 maggio 1891 si inaugurò la tratta completa da Cuneo a Limone e dal giorno seguente ebbe inizio il regolare servizio.



Fig. 6 – Il treno su un ardito viadotto della linea Cuneo-Nizza

Il quarto lotto da Limone a Vievola venne aggiudicato nel 1889 e prevedeva la colossale opera del traforo del colle di Tenda di 8100 metri di lunghezza a doppio binario, acclività del 2% a nord e del 10-14% a sud, in rettilineo, imbocco nord a 1030 metri sul livello del mare e sud a 990 metri, profondità sotto il colle di circa 870 metri. I lavori iniziarono alla fine del 1889 e, tra molte difficoltà ed imprevisti che causarono ritardi ed aumenti di spesa, furono terminati il 17 luglio 1898 per una spesa totale di 22 milioni di lire. Dal 1° ottobre ebbe inizio il servizio regolare che collegava Cuneo a Vievola e quest'ultima stazione divenne il punto di trasbordo tra treno, diligenza e le prime auto che premettevano il proseguimento del viaggio fino a Nizza o Ventimiglia. Dopo molti anni di studi, progetti ed impegno da parte di tecnici e politici veniva attuato il tratto

più difficoltoso di questa storica ed importante tratta ferroviaria che conobbe, negli anni, un insolito movimento di viaggiatori e merci e che, ancora oggi, permette, a chi la percorre, di ammirare, attraverso ardite infrastrutture ingegneristiche, le straordinarie capacità tecniche degli ingegneri del tempo.

(*M.P.M.*)

Da Torino a Savona

La collocazione geografica che fece della Val Bormida la porta di transito fra l'entroterra piemontese e il mare mediterraneo diventa ancor più importante con il passaggio della ferrovia.

Il 10 giugno 1861 il Ministro dei LL.PP. autorizza la costruzione della ferrovia da Savona a Torino, vennero stanziate dal municipio di Torino 178.000 lire, mentre quello di Savona partecipò per 225.000 lire. La tanto sospirata approvazione alla costruzione della linea, compreso il tratto Cairo-Acqui giunge allo scadere dell'anno: la lentezza con la quale il provvedimento è stato attuato provoca ulteriori danni. La Società

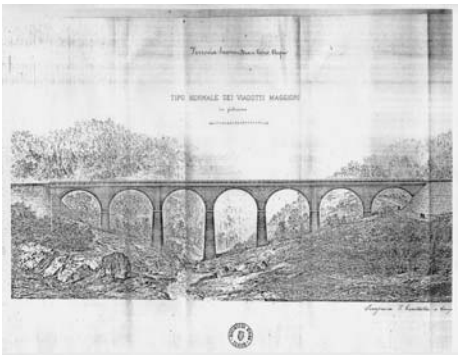


Fig. 1 – Ferrovia Savona-Bra, Cairo-Acqui. Tipologia dei viadotti maggiori, disegno di progetto Impresa Guastalla

Gombert, nonostante l'appoggio di Savona e Torino, è isolata e in difficoltà. Non riuscendo a reperire i capitali occorrenti rinuncia alla costruzione, rimettendoci la cauzione per decorrenza di termini.

All'inizio del 1862 la Società inglese Lammy-Murray, utilizzando la pratica istituita per Gombert e gli studi relativi, chiede la concessione della ferrovia e la diramazione per Acqui, affidando alla ditta Guastalla la costruzione. Viene dichiarata decaduta la concessione Gombert, accordandola alla Società inglese dietro il versamento di una cauzione di soli 2 milioni. A Gombert viene addirittura requisito il deposito preventivo di 450.000 lire effettuato nel 1858 nonostante i suoi reclami e quelli dell'ingegner Benelli, compilatore del progetto definitivo, il pagamento del quale era garantito sul deposito. La Società anonima con capitale inglese riesce a ottenere dal Ministro dei LL.PP. condizioni economiche più favorevoli: 10 milioni di sussidio per la linea e 25.000 lire di prodotto chilometrico lordo per la diramazione Cairo-Acqui.

Il grande evento rese importante il percorso che mirava, da parte del governo, a passaggi mercantili con proiezioni a oriente, verso l'Istmo di Suez. Tale ferrovia fu chiamata la *Diritta*, perché tagliava la val Tanaro che si oppose proponendo il porto di Oneglia per non essere tagliata fuori dal progresso, ma Savona dimostrò di essere all'avanguardia e pronta con un porto importante adatto all'evento. Per eseguire il progetto dovettero studiare il profilo tra Fossano e Savona, si tratta del percor-

so tra Alpi ed Appennino; tutto ciò venne affidato all'ingegnere Amedeo Peyron il 30 gennaio 1856. Con Regio Decreto del mese di novembre 1861 veniva approvata la concessione della *Linea Torino-Savona per Carmagnola e diramazione Cairo-Acqui* a favore della *Società anonima per la ferrovia da Torino a Savona*.

La società diede subito inizio ai lavori ma, trascorso un certo periodo di tempo, si trovò in difficili condizioni finanziarie, stante la natura e l'accidentalità dei terreni interessati dal tracciato della linea. Nel settembre del 1865 si pervenne all'approvazione di un'altra convenzione ma, con l'avvenuta crisi del credito pubblico, la società precipitò nuovamente in un grave dissesto economico con la conseguente sospensione dei lavori, la cui direzione era stata assunta direttamente dallo Stato. Nel febbraio del 1867 venne approvata un'ulteriore convenzione con la quale la stessa società cedeva ogni suo diritto all'impresa *Guastalla.* I lavori ripresero nel 1870, ma aumentò sempre di più l'asprezza delle vertenze in atto fra l'impresa e lo Stato circa i tempi di realizzazione, destinate a protrarsi per anni con citazioni in giudizio innanzi all'autorità giudiziaria. Nonostante il forte ritardo (i lavori avrebbero dovuto essere ultimati, per contratto, entro l'anno 1872), la tratta Bra-Savona venne aperta all'esercizio in data 28 settembre 1874. Bisognerà attendere il 1884 per vedere in funzione la tratta Carmagnola-Bra, per cui, nel frattempo, il traffico ferroviario fra Torino e Savona sarà necessariamente esercitato sul più lungo percorso Carmagnola-Cavallermaggiore-Bra. Vennero studiati i tipi di viadotti massimi, con pile in pietrame e travate metalliche, mentre i viadotti maggiori venivano progettati in pietrame a grossi archi, inoltre i ponti sopra i torrenti minori e maggiori, tutti effettuati dall'impresa Guastalla, furono esempio di studi di grandi infrastrutture, opere di ingegneria ferroviaria di rilievo, che sono utilizzati ancor oggi. Inoltre si progettano le fermate di questa ferrovia a servizio di grandi centri della val Bormida che oltre ad avere legname da trasformare in carbone per le navi aveva produzioni artigianali secolari che diventano industriali come la produzione del vetro e le ferriere. I disegni dei ponti e delle stazioni, rendono l'idea dell'importanza che copriva l'opera, pensata nei suoi minimi particolari, per far fronte alle difficoltà del territorio che doveva attraversare. A Cairo, la costruzione dei ponte ferroviario sul fiume Bormida, suscitò molto

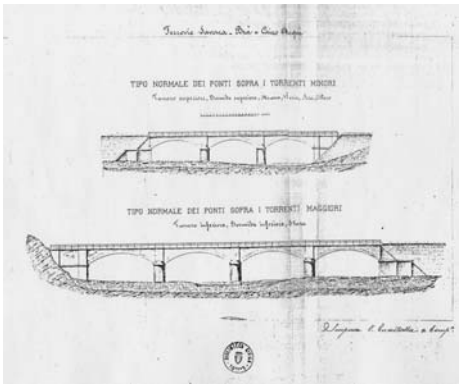


Fig. 2 – Ferrovia Savona-Bra, Cairo-Acqui. Tipo normale dei viadotti sopra i torrenti maggiori e minori, disegno di progetto Impresa Guastalla

scalpore in quei tempi. L Amministrazione Comunale, diretta dal Sindaco Giuseppe Cesare Abba sostenne che l'impresa Guastalla ebbe a costruire tale ponte in modo da riversare le acque verso l'abitato. Al riguardo pure il Consiglio Superiore dei lavori pubblici, in campo amministrativo, si occupò della questione e con voto del 9 marzo 1874 dichiarò che l'impresa doveva sottostare a tutte le spese per l'esecuzione delle opere di regolarizzazione dell'alveo del fiume e, se necessario, anche di quelle per il rifacimento del ponte. Il comune di Cairo, sotto la spinta di Giuseppe Cesare Abba, nell'autunno del 1876 decise di nominare una commissione, assistita da un ingegnere, cui fosse affidato l'incarico di studiare la questione del ponte. Per commissione fu designata la Giunta e venne scelto l'ingegnere Olivari. La commissione fece i suoi rilievi e la sua relazione, in base ad essa fu deciso di citare in giudizio l'impresa costruttrice per il grave pericolo che il ponte, nel modo in cui fu costruito, poteva rappresentare per l'abitato. Il Comune chiese quale risarcimento dei danni una cifra sufficiente ad eseguire i lavori necessari alla difesa del borgo. Dopo varie peripezie la causa si concluse nel giugno del 1881 con una transazione. La costruzione della ferrovia richiamò molte maestranze dalle regioni vicine e portò un po' di benessere nel comune di Cairo. Gran parte della mano d'opera agricola fu assorbita dai lavori che diedero l'avvio al grande processo che portò alla trasformazione di Cairo da un paese agricolo ad una città industriale.

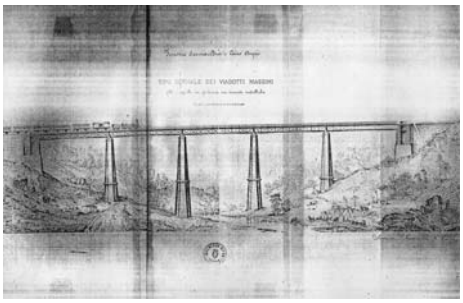


Fig. 3 – Ferrovia Savona-Bra, Cairo-Acqui. Tipologia dei viadotti massimi, pile in pietrame e travate metalliche, disegno di progetto Impresa Guastalla

L'evento era importante, Torino - Suez, nodo per grandi mercati, Savona porta per il mediterraneo.[1]

(*N.F.*)

Strade e Paesaggio

Ogni insediamento è marcato dalla strada che accoglie gli edifici, le persone, le attività e si modella a seconda delle necessità e partecipa alla configurazione della piazza. Sia la strada che la piazza sono i luoghi in cui la società si specchia e si celebra, hanno in comune il carattere pubblico che consente alle persone di trovarsi, anche se non esiste una conoscenza intima, di incontrarsi per la comunanza di interessi, la condivisione delle modalità di vita collettiva.

Le principali visuali urbane sono costituite dalle strade che esaltano l'intensità d'uso della città, con angolature diverse e fin sorprendenti. È un'atmosfera emozionale, un intreccio intimo che ci consente di cogliere le sinergie del concreto e del visibile: le quinte di mattoni chiaroscurati dal sole, gli intonaci colorati vibranti alla luce su fondali ver-

di, le forme segnate dalla pietra, i cornicioni che registrano la misura verso l'alto e si stagliano contro il cielo azzurro, che richiama momenti di libertà L'interazione ed i riflessi di bellezza tra i segni architettonici, l'articolazione degli spazi urbani, la convivenza tra gli individui è il filo che regge gli eventi umani nella loro specificità.

A volte la carenza di chiarezza della configurazione urbana provoca nei cittadini fatica, caos, momenti di disagio e di solitudine, perciò è auspicabile nel ripensare il disegno urbano di attivare nuovi strumenti di conoscenza, per trasformare il territorio in modo propositivo ed immaginifico. Non solo luogo della memoria ma luogo di progettualità. Introdurre un mutamento di prospettiva che deve aprirsi al versante della fantasia alla potenzialità liberatoria della mobilità, per rendere attraente la quotidianità dell'uso degli spazi urbani e costruire l'identità locale.

I cittadini devono assumere il ruolo di protagonisti in ordine al tema strategico della cultura, della comunicazione, della crescita sostenibile del territorio. Per innovare il modo di concepire i luoghi della vita comunitaria, è necessario amplificare le chiavi della comunicazione, riannodare le emozioni, puntare sulle risorse immateriali per esaltare la bellezza del paesaggio urbano.

(*G.C.*)

[1]Fonti archivistiche:
Biblioteca Civica Savona, *A. G. Barrilli*, dai tipi di L. Sambolino, 1857.
Archivio Comunale Bra, *Bollettino dall'Istmo di Suez*, L. Scartabelli, Torino1857.
Biblioteca Civica Torino , *Disegni e tipi*, ferrovia Torino-Savona.

PAOLO BELLI

Ponti in muratura di fine '800 nell'Italia meridionale

Introduzione

I materiali da costruzione più spesso adoperati fino agli inizi dell'800 sono stati la muratura ed il legno; i metalli avevano, prevalentemente, una utilizzazione complementare per l'esecuzione dei collegamenti o per contrastare particolari sollecitazioni come, ad esempio, le catene inserite negli elementi spingenti; inoltre le costruzioni metalliche, realizzate prima dell'800, furono per lo più progettate mutuando la tecnica delle costruzioni in legno, ne è esempio palese il ponte in ferro realizzato in Inghilterra nel 1779 a Coalbrookdale (fig. 1), la città famosa per i primi altiforni di fusione della ghisa con il coke. Nell' '800 iniziò lo sviluppo delle costruzioni in ferro con una tecnica assolutamente autonoma che si affermò prepotentemente nella seconda metà del secolo.



Fig.1 - Il ponte di Coalbrookdale

A questo sviluppo contribuirono i nuovi processi di produzione dell'acciaio ed il conseguente miglioramento delle sue caratteristiche meccaniche con le tecnologie del puddellaggio, dei convertitori Bessemer (1855) e Thomas (1878), dei forni Martin-Siemens (1865), ma fu determinante la sistemazione in un corpo chiaro ed unitario della teoria della elasticità. A questa sistemazione contribuirono principalmente il Navier, con la pubblicazione nel 1826 delle lezioni tenute alla scuola di Ponti e Strade di Parigi; il Menabrea, con gli sviluppi matematici della teoria dell'equilibrio elastico e l'enunciato nel 1857 all'Accademia di Torino del Teorema sul Minimo Lavoro; il Castigliano con la pubblicazione nel 1879 della Teoria dell'Equilibrio dei Sistemi Elastici; il Saint Venant, con il postulato che prende il suo nome e la teoria tecnica della trave; gli ingegneri Muller e Breslau, con i metodi di risoluzione dei sistemi iperstatici.

Indubbiamente le costruzioni in ferro si prestavano alla modellazione numerica, confortata dai recenti risultati degli studi sulla teoria dell'elasticità, molto più di quanto si fossero prestate o si potessero prestare le costruzioni in muratura ed in legno, per le caratteristiche intrinseche di questi materiali, pri-

me tra tutte la anisotropia e la diversa resistenza agli sforzi di trazione e di compressione, oltre alla maggiore complessità delle costruzioni in muratura.

Le costruzioni metalliche inoltre permettevano tempi di esecuzione più brevi e perciò consentivano di ottenere cospicui vantaggi economici.

La teoria veniva infine confermata dai successi dell'ingegneria delle costruzioni in acciaio. Ricordiamo, tra i tanti ingegneri e tra le tante opere, gli inglesi Hodgkinson, Fairbairn e Stephenson; quest'ultimo nel 1849 costruì un ponte ferroviario con travate in ferro, a parete piena, di 142 metri di luce; il francese Gustave Eiffel, progettista e costruttore della torre divenuta l'emblema di Parigi (1887-89); il napoletano A. Cottrau che progettò e costruì notevoli ponti e stazioni ferroviarie in Italia ed all'estero, il ponte di Mezzanacorti sul Po (1865), il ponte girevole di Taranto, il viadotto di Castellaneta (1868) a travata continua di 230 metri su pile a traliccio di 70 metri ed il brevetto del *ponte militare istantaneo*. In quegli anni inoltre furono realizzati i grandi ponti come l'imponente traliccio sul Firth of Forth in Scozia (1885), con campate di 521 metri ed il famoso ponte americano di Brooklin (1883).

Queste vicende non potevano non avere un impatto negativo sulle costruzioni in muratura. D'altra parte la naturale esigenza della maggioranza dei tecnici di continuare ad adottare un materiale a loro familiare e di sfruttare la cospicua messe di risultati sperimentali accumulatasi nel corso dei secoli ed attentamente studiati, proprio per la mancanza di una teoria, e la necessità sociale di impiegare manodopera non adeguata alle nuove tecniche di lavorazione dei metalli, rendevano necessario che si proseguisse a costruire in muratura, ma, al tempo stesso, sorse l'esigenza di tentare di rendere competitiva la muratura con l'acciaio, soprattutto in termini di tempi di esecuzione e di costi.

Questa "competizione" è durata un tempo breve, con la ineluttabile sconfitta della muratura, ed il colpo mortale le è stato inflitto, nelle prime decadi del '900, dall'avvento del conglomerato armato. Si è finito in questo modo nel tempo col perdere la memoria delle importanti tecnologie dell'ingegneria delle murature ed il cospicuo patrimonio delle maestranze, con risultati disastrosi, allorché, con l'affinarsi della cultura della conservazione e dopo i severi eventi sismici, alla fine dello scorso secolo, si è dovuto dare inizio al restauro ed al consolidamento degli antichi edifici in muratura, dei quali è costituita la totalità del nostro patrimonio immobiliare storico artistico e monumentale.

Si è finito inoltre, nelle nuove costruzioni in acciaio ed in conglomerato armato, col perdere la intrinseca ed inscindibile unità delle progettazioni strutturale e formale che caratterizza l'architettura in muratura e si è smesso di usare l'unico materiale in grado di sfidare i secoli e perciò il materiale cui è naturale affidare le opere dell'ingegneria e dell'architettura che abbiano ambizioni d'arte.

La teoria della elasticità ha fornito infine lo strumento, convenzionale e

semplificatore, per risolvere i problemi tecnici, cosicché, nella progettazione strutturale, il modello teorico ha finito con il prevalere sulla struttura reale, la cui complessità è suscettibile soltanto della conoscenza sperimentale. Tra gli ultimi esempi di importanti costruzioni in muratura di fine '800 vanno annoverati due ponti dell'Italia Meridionale: il ponte Annibale presso Capua ed il ponte del Diavolo presso Barizzo; gli accorgimenti tecnici per la loro costruzione ci vengono descritti dall'ing. Pasquale Sasso che fu il collaboratore dell'ing. Giustino Fiocca progettista dei due ponti. [1, 2]

Il ponte Annibale presso Capua

Tra i monti Tifati e Sicropoli, per congiungere la via Gabinia, presso Capua, con la via Latina, dicono che sul fiume Volturno esistessero due ponti romani. Questi ponti furono distrutti, forse da Annibale, per motivi di strategia militare; di essi rimasero soltanto le fondazioni delle spalle, distanti circa 100 metri e quelle delle pile intermedie.

L'esigenza di ricostruire uno dei due ponti indusse la *Deputazione Provinciale* ad affidare il progetto all'ingegnere Pastore, di Capua, che il 15 luglio 1864 presentò un progetto di ponte in muratura che riproponeva lo schema dell'antica struttura romana. Sfortunatamente, durante la costruzione, il 18 gennaio 1867, sopravvenne una eccezionale piena del fiume Volturno che fece crollare le pile centrali. Dopo tale avvenimento la *Deputazione Provinciale* si rivolse all'ingegnere Giustino Fiocca, invitandolo a redigere un nuovo progetto. Il Fiocca



Fig. 2 – Il ponte Annibale

presentò due soluzioni. Una in muratura con arcata centrale di 55 m di luce e 14 m di freccia, fondata sulle fondazioni rimaste di epoca romana e l'altra in acciaio con arcata unica di circa 76 m di luce. Il costo del ponte in muratura fu stimato di 200.000 lire, quello del ponte in ferro di 230.000 lire.

Fu scelta la soluzione in muratura ed il 22 giugno 1868 si diede inizio ai lavori; l'opera finita fu consegnata il 4 marzo 1870, dopo venti mesi, durante i quali si verificarono frequenti inondazioni e due importanti piene del Volturno che danneggiarono seriamente le centine. La spesa a consuntivo risultò maggiore del previsto, ossia di 300.000 lire, delle quali 185.000 per le murature, 92.500 per le centine e 22.500 per le difese provvisorie.

Il ponte (Figg. 2 e 3)[3] ha la volta di m 55,00 di luce e freccia di m 14,02, è perciò confrontabile per dimensioni con il ponte sulla Dora a Torino (1835), con il ponte di Chester sul Dee (1834) e con il ponte di Gloucester (U.K.1827). Le spalle sono alleggerite da occhi circolari ed il profilo di intradosso dell'arcata è a *manico di paniere*. L'arcata centrale è stata costruita suddividendola in 5 arcate, ciascuna larga m 1,302; per le arcate laterali e quella centrale sono sta-

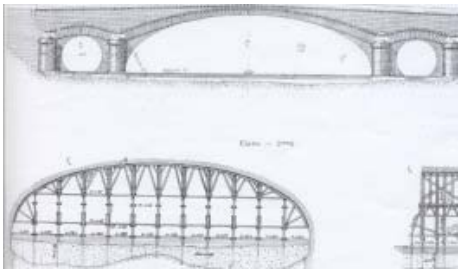


Fig. 3 – Ponte Annibale, la centina e la volta

te adoperate murature di mattoni, per le rimanenti due arcate si è fatto uso di mattoni e pietre di tufo.

Ogni arcata è costruita in tre strati (*rotoli)* sovrapposti, i primi due strati sono stati formati distinti per ognuna delle cinque arcate, l'ultimo strato è stato costruito per l'intera larghezza della volta; in ogni strato si è avuta cura di costruire, su ciascun rotolo, opportuni risalti laterali per *ammorsare* tra loro le cinque arcate. Le murature sono state confezionate con *malta idraulica* a tempi di *carbonatazione* differenziati, ottenuti dopo numerose prove, in modo da assicurare tempi più lenti di presa e ritiro (*rassetto*) ai rotoli costruiti per primi. La tecnica della costruzione delle volte a rotoli, già nota probabilmente nell'antica Roma con finalità diverse, è stata adottata nella seconda metà dell'800 nei ponti di notevole luce ed ha consentito molti vantaggi.

Innanzitutto una notevole economia dei costi e dei tempi di esecuzione delle centine, che furono dimensionate per sostenere soltanto il peso del primo rotolo; i rotoli successivi venivano infatti sostenuti da quelli costruiti precedentemente; ha consentito inoltre di ottenere una sensibile riduzione della *caduta di spinta* causata dal *rassetto* della muratura e, al disarmo, dalle deformazioni assiali, garantendo la conservazione della sagoma della volta secondo la funicolare dei carichi e, di conseguenza, assicurando modesti valori delle sollecitazioni flessionali. La caduta di spinta è infatti proporzionale all'inerzia dell'arcata e, chiaramente, la somma delle inerzie dei vari strati è notevolmente inferiore all'inerzia della intera sezione della volta. La calce idraulica, per la possibilità di rapidi processi di carbonatazione, ha infine consentito il disarmo delle centine dopo un tempo relativamente breve dal completamento delle murature della volta. Quest'ultima circostanza ha anche dato l'opportunità di costruire *centine fisse*, ossia con molti appoggi intermedi; questo tipo di centina garantiva una importante limitazione ai cedimenti, ma gli appoggi intermedi costituivano anche un pericolo in occasione delle piene del fiume per la possibilità di essere danneggiati; donde la necessità di conservare in opera le centine il più breve tempo possibile, per minimizzare questo rischio.

Il ponte del Diavolo presso Barizzo

La strada statale che da Salerno porta verso il Cilento traversa, in contrada Barizzo, a circa 17 Km da Battipaglia, il fiume Sele. In tale punto esisteva un antico ponte, andato distrutto. Tra il 1864 ed il 1866 fu, nel medesimo posto, costruito un secondo ponte ad arcata unica in ferro fuso su spalle in muratura che rovinò non appena l'opera fu completata. Dopo tale avvenimento la *De-*

putazione Provinciale bandì un pubblico concorso e furono presentati otto progetti, sette a struttura metallica di altrettanti ingegneri, tra i quali Telfener e Cottrau, ed un sol progetto, redatto dall'ingegnere Giustino Fiocca, di un ponte a due luci in muratura. L'Amministrazione scelse la soluzione a travata unica in acciaio, su spalle in muratura, che risultava la più economica.

A pochi giorni da questa decisione fu inaugurato il ponte Annibale sul Volturno, progettato dal Fiocca. L'Amministrazione, recatasi ad esaminare quest'opera, ne rimase così bene impressionata da tornare sulla decisione presa, annullarla e decidere di commissionare al Fiocca il progetto del nuovo ponte sul Sele da redigere in somiglianza con quello sul Volturno. L'ingegnere Lauria, che presiedeva la *Deputazione*, nella sua relazione, nello stile un po' retorico dell'epoca, così si è espresso: *le opere degli Italiani debbono avere non solo la grandiosità e la eleganza delle forme, ma una vita secolare e questa non può aversi che colla muratura, come lo addimostrano i molti ponti romani che ancora esistono forti, sfidando il tempo divoratore.*

Il nuovo ponte (Figg. 4 e 5)[3] fu progettato con volta a profilo policentrico ad "anse de panier" di m 55 di luce, di m 13,55 di freccia, di m 5,40 di larghezza all'intradosso, strombata sui due fronti per una profondità di m 0,80 per lato; lo spessore in chiave della volta è di m 2,00, i timpani interni sono alleggeriti con una serie di archi circolari. I lavori di costruzione ebbero inizio nel Marzo 1871 e

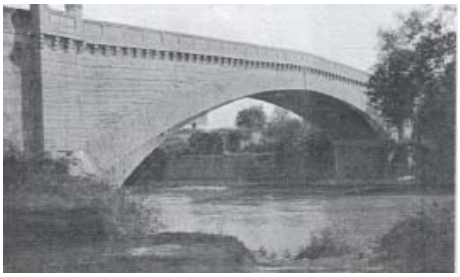


Fig. 4 – Il ponte del Diavolo sul Sele

tutte le opere furono completate, secondo l'accordo contrattuale, entro il 1872, nonostante notevoli difficoltà, dovute alle piene del Sele ed alla insalubrità dell'aria che costringeva gli operai a pernottare ad Eboli con perdite per gli spostamenti di oltre cinque ore al giorno. Il costo dell'intera opera risultò di 340.000 Lire, di poco superiore al costo del ponte Annibale sul Volturno, ma inferiore al costo preventivato dal Cottrau per la soluzione in ferro. Per la costruzione del ponte fu adottata la tecnica già sperimentata nel precedente ponte sul Volturno.

La volta, suddivisa in cinque arcate, è stata costruita in tre rotoli sovrapposti, a direttrici parallele alla curva intradossale; le centine, del tipo fisso a razze isolate (Fig.5), furono proporzionate a sopportare il peso del primo rotolo. La scelta dei materiali è stata fatta con notevole

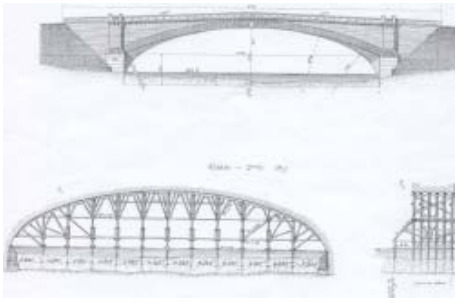


Fig. 5 – Ponte del Diavolo. La centina e la volta

cura. L'ing. Sasso riferisce nella sua nota che i mattoni delle murature provengono da Gaeta e che furono trasportati via mare con enormi difficoltà. Le malte furono confezionate con pozzolana di Bacoli e del Vesuvio mescolate tra loro in diverse proporzioni, la calce idraulica fu fatta venire da Marsiglia; prove sperimentali e numerose analisi chimiche hanno assicurato che le malte avessero tempi di carbonatazione rapidi e differenziati per i diversi rotoli della volta. I timpani furono costruiti con *tufi lacustri* che hanno un peso specifico di 1000 Kg/mc, molto inferiore alle pietre calcaree adottate per le altre strutture[2].

Interessante è la descrizione della tecnica del disarmo che, benché rudimentale, per motivi economici, rispetto alle sofisticate tecniche conosciute e comunemente adottate, si è rivelata molto semplice ed efficace a non indurre bruschi spostamenti. Consisteva nel praticare un taglio di venti millimetri tra la sommità dei sostegni verticali ed il tavolato disposto all'intradosso della volta, determinando il distacco delle murature. Se, fatta l'incisione, non si osservava il distacco tra la muratura e l'armatura della centina ovvero l'incisione veniva chiusa per effetto del rassetto della volta o per la deformazione elastica del legno, si operava un secondo taglio, finché si osservava il distacco completo della muratura. Riferisce il Sasso che, a completamento delle opere, il cedimento in chiave della volta è risultato di complessivi 34 cm, dei quali cm 22 alla fine del *decentramento;* il cedimento della volta del ponte Annibale sul Volturno, di uguale luce, risultò, complessivamente di circa 33 cm. Nelle sue note[1,2] il Sasso riferisce anche sulle formule, del tutto sperimentali, suggerite da Perronet, Gauthey, Dejardin e Dupuit, per il proporzionamento della volta e svolge importanti considerazioni sul tracciamento della *curva di pressione* necessaria per il disegno della sezione della volta. A quest'ultimo proposito è interessante notare come gli ingegneri dell'epoca, benché in forma intuitiva, avessero già delineato il *calcolo a rottura* degli archi secondo considerazioni che negli anni '60, divennero la base per la teoria della scuola di Cambridge (UK) e di J. Heyman.[4]

Conclusione

La riflessione, semplice, che può essere tratta a conclusione della breve descrizione della costruzione dei due ponti, può essere espressa con le parole di Alfredo Cottrau a proposito dell'ingegneria, che bene rispecchiano la filosofia dell'ingegnere dell'800: *"la vera scienza dell'ingegnere non deve consistere nel progettare opere colossali, ma nel raggiungere un dato scopo con la maggiore facilità e con la minore spesa possibile."*

[1] P. SASSP, *Memorie sulla ricostruzione del ponte Annibale.* Tipografia dell'Industria, Napoli, 1871.

[2] P. SASSO, *Ponte del Diavolo sul fiume Sele presso Barizzo.* Tipografia Gargiulo, Napoli, 1873.

[3] P. SEJOURNE, *Grandes Voutes* Tome I. Bourges, pagg. 112-119.

[4] J.HEYMAN, *The Stone Skeleton*. Int. J .Solid St. Pergamon Press Ltd. U.K. 1966.

ANNA VILLANOVA

Le infrastrutture storiche della Valsugana

La particolare orografia della vallata scavata dal Brenta, la Valsugana, ha permesso sin dall'epoca preistorica il facile ed agevole transito lungo il corso del fiume di uomini e armenti. Le prime presenze umane rintracciate nella valle sono da far risalire all'età tardo Glaciale (11.000-12.000 anni fa): sono infatti stati scoperti resti appartenuti all'uomo di Neanderthal che hanno permesso di datare l'occupazione dell'area. È stato possibile comprendere gli stili di vita dei cacciatori alpini, sia in merito alle modalità di utilizzo delle aree montane, sia in riferimento all'abitato, all'economia ed alla produzione artistica.[1]

La definitiva colonizzazione della vallata si ebbe al termine dell'ultima glaciazione quando iniziarono ad insediarsi lungo il corso del Brenta popolazioni dai tratti anatomici moderni. I reperti rintracciati fanno pensare a popolazioni dedite prevalentemente alla caccia ed alla raccolta e quindi non ancora stanziali. Erano gruppi che conoscevano vastissimi territori e che li percorrevano a cadenza stagionale in cerca di nuove prede. Queste valutazioni sono supportate dall'identificazione di percorsi e di siti frequentati, come bivacchi e ricoveri tuttora visitabili.

La particolare vocazione della zona come via di transito per le diverse popolazioni è documentata anche dalla presenza di costruzioni a carattere difensivo circondate da barriere di pietra e legno con rudimentali torri d'avvistamento. Queste postazioni furono mantenute in efficienza da *Custodes Castri*, famiglie locali, riunite in consorteria, che avevano il compito di custodire e gestire il luogo fortificato.

La colonizzazione latina della Bassa Valsugana iniziò intorno al 170 a.C. quando, i Romani, entrarono a Feltre.

L'area pedemontana fu interessata da numerosi insediamenti latini tanto che il console Spurio Postumio Albino propose e realizzò la strada Postumia che connetteva Genova ad Aquileia attraversando l'intera pianura padana.

Il particolare sfruttamento delle terre coltivabili e dei pascoli, il controllo che su essi veniva esercitato dalle città di Trento e Feltre, ma anche la conformazione orografica della vallata, portò alla realizzazione della via *Claudia Augusta Altinate* tracciata da Druso e consolidata dall'Imperatore Claudio, che aveva lo scopo di connettere direttamente la città di Trento a Oderzo e collegare anche i centri abitati del fondovalle.

L'importanza della Valsugana divenne quindi fondamentale: da un lato le sue pendici e la facilità di raggiungere gli altipiani montani circostanti permettevano ai pastori della pianura di praticare la transumanza estiva e di mantenere le produzioni della pianura, dall'al-

tro costituiva un efficace ed agevole collegamento nord- sud.

Solo alla fine del II secolo si stabilirono le prime comunità latine dedite alle attività rurali. In ogni caso la valle e la viabilità che l'attraversava risultarono fondamentali per l'impero romano tanto che la via *Claudia Augusta Altinate* è raffigurata nell'*itinerarium Antonini:* un registro delle stazioni e delle distanze tra le località poste lungo le principali strade dell'impero.[2] Sulla carta oltre ad essere riportato il percorso della via veniva segnalata la presenza di una stazione di sosta per i viaggiatori, la *Mansio ad Ausugum*, che probabilmente, si trovava nei pressi del nucleo di Borgo Valsugana. Nel 569 d.C., con l'arrivo dei Longobardi, non si ebbero scontri ma le popolazioni si fusero e si integrarono pacificamente. La vallata mantenne intatto il suo valore strategico anche per la presenza di materie prime e risorse naturali come legname e pietre per le costruzioni. La presenza del fiume permetteva di trasportare nelle città della pianura padana i materiali, mentre le pendici dei monti erano ricchi di pascoli, indispensabili per il bestiame, e colture realizzate dai *Possessores* romani, che avevano fondando aziende agricole anche di notevoli dimensioni.

L'area era di tale importanza che la via *Claudia Augusta Altinate* venne mantenuta in efficienza anche dopo la caduta dell'impero Romano d'Occidente, quando nel 476 d.C., la Valsugana venne assegnata al vescovado di Feltre.

Per quanto riguarda le infrastrutture stradali gli antichi tracciati sono molto difficili da riconoscere e si possono solo fare ipotesi sul loro effettivo andamento. Segni probabili del loro tragitto possono considerarsi: castelli, torri e ponti, che sopravissero alla caduta dell'impero e furono infrastrutture vitali dell'economia medioevale.

Si pensi alla regolare disposizione di castelli: Castello Ivano, Castelnuovo, Castel Telvana a Borgo Valsugana (Ausugum) che probabilmente indicano un possibile andamento della via.

Vi sono dubbi anche sul fatto che la via si dirigesse a Trento, una ipotesi di tracciato suppone che la via partisse da Roncegno e che in seguito si biforcasse: un ramo percorreva il fondovalle in direzione della spianata di Caldonazzo, per poi salire al valico di Vigolo Vattaro e scendere a Trento, l'altro ramo, il principale, proseguiva per il centro di Levico e quindi, costeggiando il lago, passava presso il castello di Pergine. Quindi anziché scendere a Trento per la fora del Fersina, impraticabile all'epoca romana per il grande transito militare, svoltava in direzione della Val Cembra per portarsi a Bolzano e quindi al valico del Brennero oppure per il Resia. Questa soluzione abbreviava e facilitava il percorso in caso di movimenti strategici rapidi.

Questa strada, di origine romana, riprendeva nella struttura gli standard tecnici e tecnologici caratteristici delle vie latine con molta probabilità gli strati che le componevano erano: lo *Statumen*, lo strato più profondo dello spessore variabile tra i 30 e i 60 cm composto da grossi blocchi lapidei, al di sopra vi era

uno strato di 25÷30 cm composto da un impasto di pietrisco rottami di mattoni e calce, sabbia o pozzolana chiamato *Ruderatio*. Un terzo strato era il *Nueleus* che aveva uno spessore variabile tra i 30 e i 50 cm composto da elementi lapidei di modeste dimensioni ed in fine si realizzava la *Summa Crusta*, composta da lastre di pietra[3].

L'importanza della strada e il fatto che attraversava territori dalle caratteristiche diverse portò alla realizzazione di numerose opere: ponti, cordoli, fossi di drenaggio, paracarri e miliari. Nessuna di queste opere è però giunta fino a noi e può quindi risultare, come detto, molto difficile, definire con precisione quale fosse il percorso seguito dalla strada romana.

L'importanza della Valsugana fu riconosciuta anche dal re Teodorico che nel VI sec contribuì alla realizzazione di nuovi centri abitati localizzati prevalentemente nell'attuale territorio Trentino.

Nel Medio Evo la storia di questa valle fu strettamente connessa alle vicende dei comuni che vi gravitavano, a nord fu soggetta a centri come Feltre e Trento a sud inizialmente fu assoggettata al dominio di Padova ed in seguito di Vicenza e Treviso. È interessante notare come iniziarono a diffondersi numerosi centri abitati che suddivisero la vallata esercitando forti poteri attrattivi.

Il controllo di questa via di transito portò a numerosi conflitti. Uno dei più rilevanti si verificò tra il 1002 e 1004 tra il conte Arduino d'Ivrea e Ottone II duca



Fig. 1 - Il Covolo del Butistone

di Corinzia alleato dell'imperatore Enrico II. Gli scontri principali si ebbero per il controllo delle aree in cui la valle si fa più stretta, tra gli attuali comuni di Primolano e Cismon del Grappa, e si conclusero con la conquista da parte di Enrico II del Covolo di Butistone.

Si tratta di una grotta naturale, posta sulla parete rocciosa a circa 30 metri dal bacino fluviale, fu impiegato come forte, postazione difensiva e di controllo dell'intera vallata. Nella grotta carsica è inoltre presente una venuta d'acqua che permise di mantenervi un presidio militare stabile fino al termine della Prima Guerra Mondiale.

L'importanza strategica della vallata portò al continuo mutare delle influenze sul territorio, spesso i predomini delle diverse casate venivano sostenute dalla chiesa o da ordini monastici, si pensi per esempio che presso Campese venne fondato una congregazione monastica, su iniziativa di Ponzio di Melgueil abate di Cluny. Gli stessi monaci grazie al sostegno dei signori locali poterono estendere la propria influenza creando nuove cappelle intorno alle qua-

li si svilupparono nuclei insediativi come Oliero, Campolongo e Valstagna.

Le dominazioni sulla vallata si alternarono fino ai primi decenni del 1300 in seguito si ebbe un lungo periodo di transizione che portò all'assetto semidefinitivo dei confini tra Impero Germanico e Repubblica Veneta avvenuto nei primi decenni del 1400.

È importante sottolineare come la presenza nella Valle della dogana fu motore per l'aumento della popolazione e come gli influssi provenienti dalla Serenissima Repubblica Veneta abbiano determinato anche l'architettura urbana: le case edificate durante questa dominazione risentono profondamente dello stile detto "veneziano".[4]

Con lo sviluppo dei traffici per fluitazione lungo il corso del Brenta, l'antica via imperiale perse importanza e, come avvenne per molte strade di origine latina in Italia, il tracciato divenne poco riconoscibile e di difficile percorribilità, probabilmente per la scarsa manutenzione della sede. Assunse invece nuova importanza il Brenta e i suoi affluenti, che aumentando la portata del



Fig. 2 - Esempio di muro di sostegno della Valsugana, foto di G. Boschiero

fiume, permettevano l'agevole trasporto dei legnami e delle pietre fino alla pianura. Già dal XIII sec. si trovano descrizioni di trasporti di tronchi legati in zattere che scendevano da Cismon e Valstagna. Quest'ultima viene citata come città portuale già dal 1250, in quanto la presenza di un allargamento del bacino fluviale permise che lungo le sponde avvenisse la raccolta e lo smistamento dei legnami diretti alla pianura. L'economia portuale della zona fu incentivo anche per la crescita economica e demografica dell'intera vallata soprattutto per le città di Oliero e la stessa Valstagna.

L'economia della Valsugana era strettamente connessa alla presenza di acqua nel bacino del Brenta quindi le popolazioni realizzarono dighe artificiali in legno, dette "stue", che fin dal XV secolo permettevano di regolare la quantità d'acqua che defluiva lungo il bacino. Le popolazioni locali non intervennero esclusivamente sulla regolamentazione dei flussi fluviali attraverso le dighe, costruirono anche lungo le ripide pendici delle montagne, una fitta rete di terrazzamenti e di canalizzazioni ancora oggi visibili.

Si tratta di opere come muri di sostegno o canali per le acque, costruiti a file utilizzando pietre squadrate che gli uomini spostavano, nel tentativo di attutire o ridurre la ripidità della montagna e per trattenere l'humus fertile necessario per le colture. Molte di queste opere furono realizzate per la coltivazione del tabacco, che hanno caratterizzato l'area fino ai primi del 900. Era-

no gli stessi uomini che trasportavano a spalla dal fondovalle le grosse pietre verso le aree coltivate. Il "*masiere*" (colui che costruisce i muri a secco), utilizzava una tecnica molto antica per la realizzazione di queste strutture e materiale proveniente da una cava allestita sul posto o pietre trovate nei lavori di scasso effettuati per ampliare le zone per la coltura o per la realizzazione delle abitazioni.[5]

Queste infrastrutture rappresentano una testimonianza del lavoro dell'uomo per adattare il territorio alle proprie esigenze, sono architetture spontanee che conservano e tramandano fino ai giorni nostri il passato ed il sapere tecnico e tecnologico tipico di queste aree.[6] Il trasporto dei tronchi verso valle avveniva, come detto, per fluitazione; questo sistema di trasporto, però, comportava una notevole perdita economica in quanto numerosi erano i tronchi che giungevano rovinati, che marcivano o che si perdevano lungo il percorso.

Solo dopo il '700 con la riqualificazione delle prime strade e l'introduzione della ferrovia si abbandonò questo sistema di trasporto per sostituirlo con quelli più economici e rapidi. La strada presente nella valle collegava i diversi centri abitati, e probabilmente ripercorreva il tracciato dell'antica via romana, e nelle zone più strette, si restringeva fino alla sezione di un sentiero. Solo con l'aumento dei trasporti via terra e l'introduzione del trasporto someggiato si ebbe l'ampliamento e la riqualificazione dei tratti principali di questa infrastruttura.

Con l'aumento del transito dei veicoli a motore e la costante importanza rivestita dalla Valle come asse nord-sud, si rese necessaria la costruzione della Strada Statale n. 47 della Valsugana che connetteva direttamente Bassano a Trento e che attraversava e quindi collegava i borghi principali. Ora questa strada è stata sostituita in alcune sezioni da una nuova infrastruttura, più adatta a supportare gli attuali flussi di traffico.

Per quanto riguarda l'introduzione della linea ferroviaria la storia e l'evoluzione dei progetti per la sua costruzione sono strettamente connessi all'e-

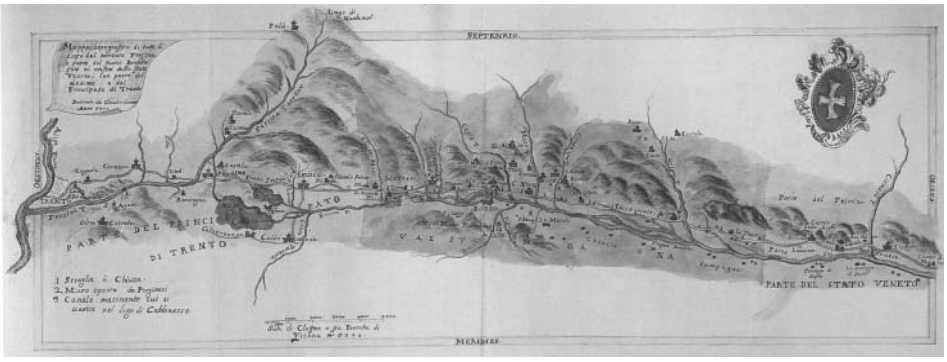


Fig. 3 - La Valsugana in una carta di C. Carnieri del 1771 in Il Brenta

voluzione delle relazioni diplomatiche ed economiche che hanno caratterizzato i grandi imperi Europei dalla seconda metà dell'ottocento.

L'Italia preunitaria veniva descritta in questo secolo come "*lo scalo d'Europa più vicino all'Oriente*". In questo periodo infatti si voleva portare sull'Italia il traffico derivante dalla "*valigia postale delle Indie*" ciò significava spostare sulle future strade ferrate Italiane il cospicuo traffico di merci che circolava tra la Gran Bretagna e le Indie fino ad allora diretto al porto di Marsiglia. Si viene quindi a creare una "*lotta*" tra il Regno Sabaudo e l'Impero Asburgico che volevano accaparrarsi i benefici derivanti da questi transiti, soprattutto legati alla realizzazione di nuove infrastrutture. Come si legge ne "*La Ferrovia della Valsugana*" realizzato dal "*Comitato promotore della costruzione ed esercizio della Ferrovia di Valsugana*" la costruzione di una linea che connettesse direttamente Trento e quindi i valichi alpini del Brennero con Venezia veniva auspicata soprattutto in vista della prossima apertura del canale di Suez. Il comitato così si esprimeva: "*avvicinare Venezia al Brennero significa guadagno di tempo e di spesa, significa agevolezza di trasporto per le merci che vengono dal Levante, dal Golfo Persico, dalle Indie, o vi vanno: significa infine la riconquista di un antico predominio*".[7]

Una prima idea di unire la città di Venezia con il Passo del Brennero e successivamente con Innsbruck risale al 1838. I forti ritardi nella realizzazione delle opere ferroviarie dovuti anche alle guerre di Indipendenza che interessarono il Lombardo-Veneto portarono alla scelta da parte della Gran Bretagna della rete francese per l'attraversamento delle Alpi ed il suo collegamento con il porto di Brindisi.

Numerosi sono stati i progetti proposti per la realizzazione di una strada ferrata lungo la Valsugana alternativa a quella Piemontese ma furono bloccati e rallentati sia dai tumulti sia dallo spostamento degli interessi di Vienna sulla tratta Bolzano–Verona, in quanto strategicamente più importante per i rifornimenti del "*quadrilatero*".

Nelle diverse proposte, di cui si può rintracciare documentazione, la partenza, Venezia, e l'arrivo, Trento, rimanevano invariati. Molto complesse apparivano, invece, le varianti di tracciato, che costringevano la linea ad attraversare valli e corsi d'acqua talvolta prevedendo la costruzione di costosissime opere d'arte. Molti erano i compromessi cui trovare soluzione nella progettazione, ad esempio per non "*tagliare fuori dal servizio ferroviario internazionale*"[8] i centri abitati delle province di Vicenza o le valli dell'Altopiano di Asiago. Le linee che furono proposte fin dal 1860 con l'obbiettivo di raggiungere il Brennero possono essere raggruppate in tre tipologie principali.

Alcune proposte volevano collegarsi alla linea della Pusteria; altre a Rovereto della linea Ala -Trento, altre infine seguendo il Brenta lungo la Valsugana raggiungere Trento. Moltissimi sono stati gli studi che si sono occupati dei di-

versi tracciati per individuare quale fosse l'itinerario più favorevole, sia tecnicamente che economicamente. Una proposta individuava per esempio la discesa al Canale di Brenta da Feltre, proposta che già nel 1867 l'ing. Tatti osteggiò perché molto lunga e, in più, di difficile esecuzione rispetto a quella che doveva collegare direttamente Venezia-Bassano -Trento.[9] La lunghezza di questo tracciato diretto, infatti, era di soli 154 km e risultava caratterizzata da un andamento altimetrico regolare e facilmente superabile dai mezzi dell'epoca fatto che non sempre era presente in tutti le proposte, in molti casi venivano proposti tracciati con piani del ferro a scartamento ridotto e talvolta anche integrati da cremagliere.

Il nuovo mutamento dello scenario politico derivante dal termine delle lotte per l'indipendenza impose un ulteriore blocco alle fasi di dibattito e progettazione della linea. "*Il Trentino divenne l'estremo territorio transalpino a Sud Ovest dell'Impero d'Austria*" e il confine di Tezze tornò "*nuovamente ad indicare il limite territoriale tra due stati sovrani indipendenti*."

La ferrovia del Brennero venne completata e inaugurata sul versante nord nel 1867 e successivamente, nel 1871 venne aperta anche quella della Val Pusteria. L'entrata in esercizio della linea del Brennero e l'apertura di Suez riportarono alla ribalta l'interesse per la ferrovia della Valsugana. Ripresero i contatti tra i comuni di Venezia, Trento e Bassano cercando di recuperare il progetto dell'ing. Tatti e formando il *Comitato promotore Completamento delle ferrovie venete ai Confini austriaci di Venezia*, che si proponeva, come detto prima, di dimostrare i molteplici vantaggi economici ottenibili dal collegamento diretto tra Venezia e Trento (notevolmente inferiore in tempi e costi alla linea di Verona).

Bassano fu raggiunta dalla ferrovia proveniente da Padova-Cittadella già nel. Rimaneva però ancora in sospeso il problema del collegamento diretto Venezia-Bassano. Intanto sul versante austriaco gli studi di fattibilità della tratta Trento-Tezze si concretizzarono con la scelta del progetto dell'ing. Stummer von Traunfels. Questo professionista, già conosciuto dalle amministrazioni trentine per il progetto della ferrovia Mori-Arco-Riva, fece riferimento all'elaborato dell'ing. Tatti, con opportune modifiche. La legge per la Ferrovia della Valsugana venne approvata a Vienna il 9 dicembre del 1893 e pubblicata il 10 aprile del 1894. Nonostante questo periodo di "*inufficialità*" della legge l'ing. Stummer organizzò una cerimonia per l'inaugurazione dei lavori presso Villazzano per l'11 gennaio.

I lavori vennero appaltati solo alla fine di marzo. Dopo poco più di due anni, il 26 aprile 1896 la linea venne inaugurata. La lunghezza complessiva era di 64,963 km, di cui poco meno di 2 km facevano parte della Südbahn mentre i rimanenti erano in sede propria e raggiungevano il confine dell'Impero pronti per essere collegati alla rete Italiana proveniente da Bassano.

I festeggiamenti per il transito e l'apertura di questa linea furono organizzati dagli abitanti delle contrade e borgate, che finalmente vedevano riportato a grandi caratteri nella stazione e nell'orario ufficiale il nome del proprio paese. Per il superamento delle forti pendenze nel primo tratto di questa linea furono realizzate grandi opere: il viadotto "Gocciadoro", o alti muri di sostegno necessari per sostenere i rilevati ed inoltre furono scavate gallerie.[10]

Nel 1894 si riaccese il dibattito sulla costruzione del tratto mancante: Bassano-Primolano. Venne ripreso il progetto dell'ing. Tatti del 1865. Come già detto dal 1877 Bassano era collegata con Padova, ma rimaneva l'idea della convenienza economica di accorciare il tracciato del percorso da Venezia di 30 km costruendo una linea Mestre-Castelfranco-Bassano che collegasse la laguna veneta senza passare per Padova. Già nel 1893 il Ministero dei Lavori Pubblici fece redigere un nuovo progetto ma i costi preventivati erano troppo alti nonostante alcuni accorgimenti tecnici che ne diminuivano l'entità (per esempio minore sviluppo di gallerie).



Fig. 4 – Trento, tunnel di S. Rocco uscita verso Trento, in La Ferrovia della Valsugana

Intervenne allora la Società Veneta con un progetto ancora più semplicicato, ma anch'esso non venne preso in considerazione. Si dovrà attendere il 1905 quando il Governo nazionale concesse la costruzione della tratta fino a Primolano comprensiva del tronco Mestre-Castelfranco-Bassano. I lavori per la realizzazione dei 60 Km di binario tra Mestre e Bassano vennero completati in meno di due anni e inaugurati il 13 luglio 1908. Sempre nello stesso anno venne iniziata la costruzione della tratta Bassano-Primolano.

La prima parte Bassano-Valstagna venne aperta il 1° gennaio 1910 e nel luglio dello stesso anno fu completato l'ultimo tratto fino al confine italo-austriaco. La Società Italiana Ferrovia della Valsugana gestì la linea Bassano-Primolano fino al 1912, anno in cui venne riscattata dalle Ferrovie dello Stato.

Già in fase di progettazione lo Stato Maggiore dell'esercito austriaco aveva pesantemente influenzato l'Ing, Stummer comportando un aumento dei costi di costruzione. Vennero infatti aggiunte lungo la linea varie fermate e scali a esclusivo uso militare, il tutto in previsione di un conflitto austro-italiano. Le gallerie poste nei punti strategici vennero protette con casematte e alcune stazioni vennero ampliate per permettere il carico-scarico di merci.

Il contributo che le strade ferrate diedero durante il conflitto fu determinante tanto che si parlò di *"Sesta armata combattente"*.

Anche la linea della Valsugana venne ampiamente impiegata ed in alcuni tratti integrata da una rete decauville, a scartamento ridotto, per permettere il rapido trasporto di mezzi corazzati, munizioni, ma anche soldati presso i fronti di combattimento vicini[11]. Furono per esempio trasportati i grossi cannoni ferroviari che avevano una gittata fino a 37 km. Con lo scoppio della Prima Guerra, dal 28 luglio 1914, la direzione della linea da Trento a Primolano venne gestita dai militari. Dal 24 maggio 1915 iniziò un ritiro graduale verso Trento con la conseguente demolizione delle grandi opere d'arte da Tezze fino a Levico.

Con l'offensiva austriaca sull'Altopiano dei Sette Comuni (la Straâexpedition, nel giugno 1916) e lo sfondamento di Caporetto del 24 ottobre 1917, l'esercito imperiale riprese possesso della valle scendendo verso Bassano. Contemporaneamente all'avanzata del nemico l'esercito italiano provvedeva nella ritirata alla distruzione dei manufatti più importanti come il ponte a tre luci sul Cismon e diverse gallerie. Contestualmente all'avanzata verso Bassano l'esercito Austro-Ungarico dovette procedere al ripristino delle infrastrutture per permettere il rifornimento delle truppe che operavano verso il Canale del Brenta.

Con l'armistizio del 4 novembre 1918 la linea venne presa in gestione dal Governatorato Militare di Trento con l'ausilio di personale delle FS fino al 31 luglio 1919. La situazione si presentava molto critica. La maggior parte delle opere d'arte doveva essere ricostruita, mentre una parte del materiale di trazione risultava danneggiato per l'inesperienza del personale di macchina. Era impossibile percorrere l'intero tratto da Bassano fino a Trento. Mancavano chilometri di binario, mentre era necessario procedere alla bonifica della sede a causa dei numerosi ordigni inesplosi presenti, senza considerare il materiale rotabile fuori uso abbandonato lungo la linea. Si dovette procedere alla ricostruzione dei ponti demoliti e al ripristino del piano del ferro nelle stazioni. Il primo treno transitò solo il 15 dicembre 1918 e questo comportò un notevole beneficio per tutta la valle poiché, riattivando la linea, si permise agli aiuti di raggiungere anche le zone più a nord colpite dall'epidemia di spagnola. Vennero poi smantellate le stazioni e le fermate "militari" nonchè tutte i raccordi costruiti dagli austriaci per l'approvvigionamento del fronte.

Con l'annessione del Trentino all'Italia le stazioni di confine come Primolano, Tezze e, Grigno persero la loro importanza. È interessante notare come le opere d'arte realizzate e riqualificate per il buon funzionamento della linea, soprattutto nel tronco italiano tra Bassano e Primolano, siano esse stazioni, fermate, ma anche manufatti quali ponti, ponticelli, muri di sostegno ed imbocchi di galleria, rappresentino esempi di tipologie consolidate e normate già nei primi anni del 900. Si possono infatti rintracciare, nei testi in uso presso gli enti gestori le linee ferroviarie, disegni e abachi per il dimensionamento dei manu-

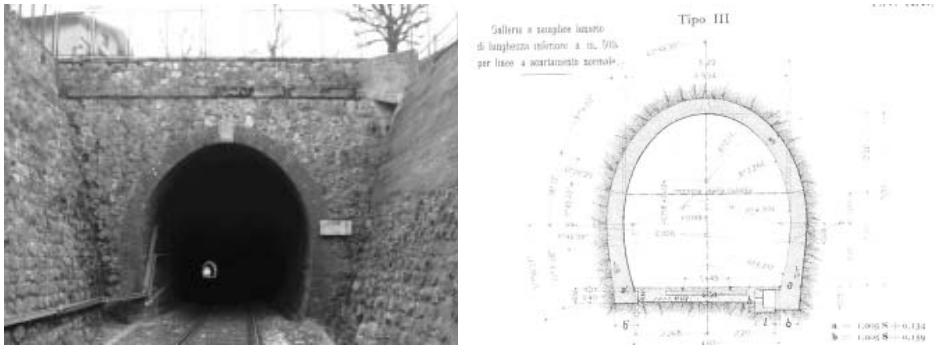


Fig. 5 - Imbocco galleria di Carpenè ed esempio di galleria contenuta nel prontuario in uso presso le ferrovie Italiane

fatti, che probabilmente furono impiegati anche nella realizzazione delle opere d'arte di questa linea ferroviaria, in quanto dimensioni e tipologie risultano identiche, come si può facilmente riscontrare nelle immagini sopra riportate[12].

[1] AA.VV., *Il Brenta*, a cura di A. BONDESAN-G. CANIATO-D. GASPARINI, Cierre Edizioni 2003

[2] L'origine di questa "carta stradale" è da far risalire al periodo di Diocleziano (fine del III sec. – inizi del IV) anche se la versione originale viene fatta risalire al III sec. Si ipotizza inoltre che si tratti di un lavoro basato su fonti ufficiali come indagini organizzate in primis da Cesare e proseguite da Ottaviano.

[3] L. TOCCHETTI: *Lezioni di Costruzioni Stradali e Ferroviarie* – vol I. Editori Pallerano – Del Gaudio Napoli 1960.

[4] AA.VV., *Il Brenta*, a cura di A. Bondesan-G. Caniato-D. Gasparini, cit.

[5] G. BOSCHIERO, *I muri a secco della Val Brenta*, "Veneto Ieri oggi domani" n.39 marzo 1993.

[6] G. BOSCHIERO, *Sulla nozione di paesaggio in Architettura nel dibattito contemporaneo* a cura di G.B. STEFINLONGO, Ed Veneta, Vicenza 1997.

[7] *Comitato promotore della costruzione ed esercizio della Ferrovia di Valsugana "La Ferrovia della Valsugana"* Nuova tipografia Commerciale Venezia 1900.

[8] *Comitato promotore, La Ferrovia della Valsugana,* cit.

[9] Alcuni studi si sono occupati anche dell'ipotesi di una linea per Vicenza Schio Rovereto Trento. Questo particolare tracciato era di circa 153 Km, con pendenze in alcune parti della linea pari anche al 20% e con la necessità di una galleria lunga ben 8 Km. Un particolare ostacolo a questa linea era dovuto anche al costo della realizzazione molto elevato che per il 50% doveva ricadere sulle finanze dell'Impero Asburgico, *Comitato promotore, La Ferrovia della Valsugana* cit.

[10] G.P. SCIOCCHETTI, *La ferrovia della Valsugana*, Edizione Pergine, Pergine 1998.

[11] S. MAGGI, *Le ferrovie Edizione*, Il Mulino Bologna 2003.

[12] *Modalità da adottarsi per la compilazione dei progetti dei manufatti, muri, gallerie*.

Andrea Pane

Alle origini dell'ingegneria ferroviaria in Campania: la costruzione della linea Avellino-Ponte S. Venere (1888-1895) e gli attuali problemi di conservazione

Nel corso degli ultimi due decenni dell'Ottocento si assiste in Italia al consolidarsi del corpo degli ingegneri ferroviari, costituito da circa un migliaio di tecnici ormai autonomi rispetto alla originaria formazione di *Ponti e strade*, ai quali sono affidati i difficili compiti di progettazione, realizzazione e gestione delle linee[1]. L'affermarsi di questa nuova figura, capace di coniugare diverse competenze tecniche con questioni di natura economica e politica, procede con il rapido incremento delle reti ferroviarie avviato subito dopo l'Unità, che conduce, nell'arco di un solo decennio, a triplicare l'estensione delle "strade ferrate" esistenti negli Stati preunitari, raggiungendo i 6000 km di rete nazionale nel 1870[2].

All'ingegnere ferroviario è richiesto innanzitutto l'attento studio dei tracciati, tenendo conto di esigenze tecniche - tra cui l'aggiramento dei maggiori rilievi - ma anche politiche, legate a gruppi di pressione locali che spingono per ottenere l'attraversamento di particolari territori e centri abitati, nel più generale obiettivo di contenere i costi di costruzione e di esercizio a carico delle Società[3]. Le sue competenze si estendono all'esproprio dei terreni, al progetto e direzione lavori di "opere d'arte" (ponti e viadotti), gallerie e stazioni, fino all'armamento della linea e alla sua gestione e manutenzione. La complessità di questi compiti si accentua ulteriormente a partire dagli anni '80 del secolo, quando l'estensione delle reti principali e l'avvio delle linee secondarie nella penisola coinvolge le regioni alpine e appenniniche, con le conseguenti difficoltà tecniche e l'insorgere di più accesi dibattiti sull'andamento dei tracciati.

Testimone di questa intensa stagione di progetti e realizzazioni - intrapresa con la trasversale Napoli-Benevento-Foggia - è il caso, in Campania, della principale linea interna della regione, posta "al servizio di un'area vastissima"[4]: la Avellino-Rocchetta, realizzata tra il 1888 e il 1895 nell'ambito delle reti complementari di attraversamento dell'Appennino.

Frutto di decenni di proposte e di dibatti, avviati fin dal 1868, la ferrovia Avellino-Ponte Santa Venere (dal nome della località posta ad ovest della stazione di Rocchetta Sant'Antonio) riceve un primo avallo in sede di Consiglio Provinciale di Principato Ultra nel 1872, per iniziativa del suo presidente Michele Capozzi[5]. Segue un lungo e tormentato *iter* politico e burocratico, segnato anche dall'autorevole sostegno di Fran-

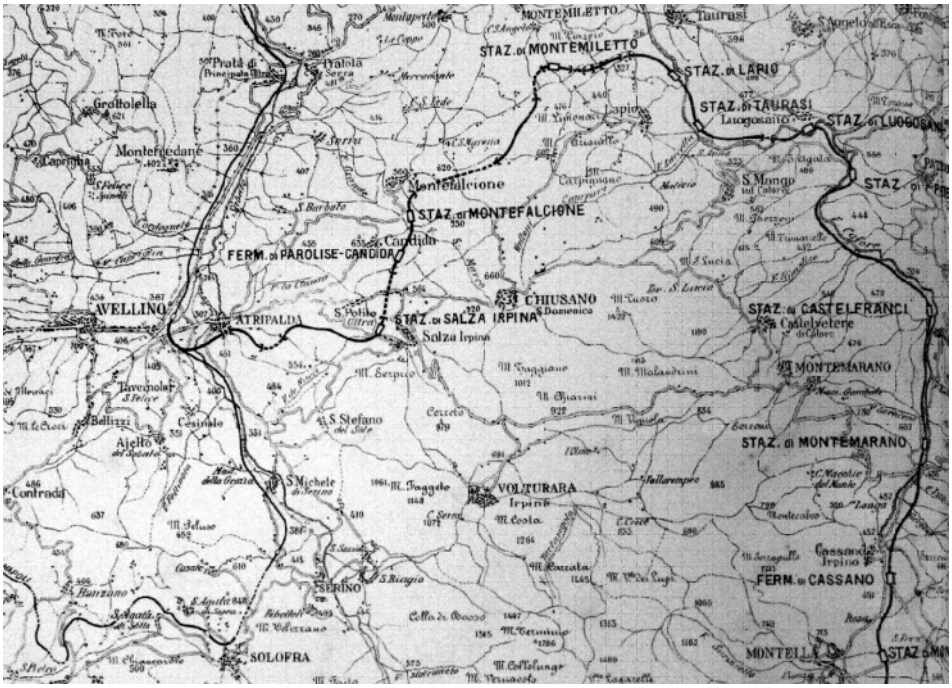


Fig. 1 – Particolare del tracciato definitivo della ferrovia Avellino-Rocchetta, nel tratto compreso tra Avellino e Montella (da Relazione sugli studi e lavori eseguiti, *1898, BCFS, Roma)*

cesco De Sanctis, che condurrà dopo sette anni all'inclusione della linea, come tracciato di terza categoria, nella legge del 29 luglio 1879, relativa al completamento delle ferrovie italiane[6].

Trascorrerà tuttavia oltre un decennio prima che i lavori abbiano inizio, durante il quale si confronteranno pareri contrapposti in merito al tracciato, già a suo tempo approvato nel 1872 sulla base di un progetto redatto dall'ingegnere Ferdinando Gargiulo e poi confermato da una commissione ministeriale nel 1879. Contro tale soluzione, in particolare, si batterà l'ingegnere Giulio Cesare Melisurgo, sostenendo un percorso alternativo per la valle dell'Ufita[7], ma la questione verrà direttamente risolta dal Ministero dei Lavori Pubblici, che, incaricando la Società per le Strade Ferrate Meridionali di studiare entrambe le ipotesi, approverà sul finire del 1885 il progetto di massima redatto secondo il tracciato già proposto dal Gargiulo.

Finalmente, a seguito di apposita convenzione sottoscritta il 21 giugno 1888, la costruzione della linea Avellino-Ponte Santa Venere è avviata nei primi mesi dell'anno successivo, su progetto esecutivo della Società per le Strade Ferrate del Mediterraneo, subentrata intanto alle Ferrovie Meridionali[8]. Proprio nello stesso periodo, l'organico delle Ferrovie del Mediterraneo si arricchisce di grandi figure di ingegneri ferroviari, tra cui Cesare Bermani e Mattia Massa,

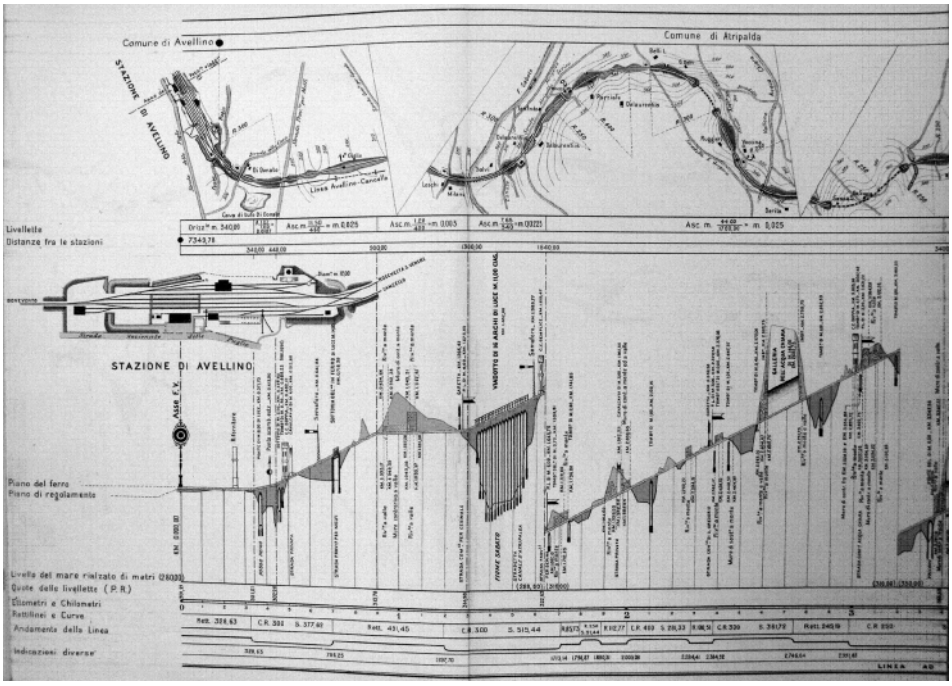


Fig. 2 – Particolare del tracciato planimetrico e altimetrico della Avellino-Rocchetta, nei pressi della stazione di Avellino (da Relazione*, cit., BCFS, Roma)*

entrambi provenienti da esperienze nelle ferrovie dell'Italia settentrionale, giunti alle Mediterranee nel 1885 e posti rispettivamente a capo della sezione lavori e della direzione generale della rete[9].

Fulcro delle aspettative di rilancio economico del territorio dell'Irpinia, la ferrovia si sarebbe sviluppata, secondo il progetto esecutivo, lungo un tracciato di quasi 120 chilometri. A partire dalla stazione di Avellino, la linea avrebbe quindi toccato i paesi di Salza Irpina, Montefalcione, Montemiletto, Lapio, Taurasi, San Mango, Paternopoli, Castelfranci, Montemarano, Montella, Bagnoli Irpino, Nusco, Sant'Angelo dei Lombardi, Lioni, Morra, Conza, per poi proseguire lungo il confine tra Campania e Basilicata verso Calitri, Monticchio, Monteverde, fino a Rocchetta-Sant'Antonio. Attraversando le tre vallate dei fiumi Sabato, Calore e Ofanto, con alcune gallerie ed un gran numero di ponti e viadotti, il tracciato avrebbe affrontato notevoli asperità del territorio, seguendo un profilo altimetrico variabile dalla quota di 302 metri della stazione di Avellino, ai 672 metri dell'altipiano di Nusco, punto più elevato della linea, fino a ridiscendere lungo la valle dell'Ofanto verso la stazione di Rocchetta, posta alla quota di 217 metri[10].

Nell'avviare i lavori, la Società suddivide la costruzione in tre tronchi, a partire dal più breve, compreso tra Mon-

teverde e Rocchetta di circa 14 km, compiuto il 29 marzo 1892. Seguiranno il tratto Avellino-Paternopoli di 27 km, aperto il 27 ottobre 1893, fino al tronco centrale, più lungo ed articolato, costituito dai 78 km tra Paternopoli e Monteverde, il cui completamento consentirà di inaugurare l'intera linea il 27 ottobre 1895, due anni prima del termine stabilito dalla convenzione[11]. Tra gli ingegneri incaricati della direzione delle opere si ritrovano i nomi di Venezian e Carena, capi divisione delle Ferrovie del Mediterraneo, e del Noli, ispettore della linea, a sua volta supervisionato dal Pespane, commissario governativo[12].

La ferrovia Avellino-Rocchetta si sviluppa su terreni di natura prevalentemente argillo-scistosa, con sporadici affioramenti di calcari, marne e arenarie, mentre nella valle dell'Ofanto incontra frequentemente depositi alluvionali. L'elevato numero di opere d'arte richieste dal tracciato - dovuto alla complessa orografia ed alla necessità di attraversare più volte i fiumi Sabato, Calore e Ofanto - orienta in fase di progetto le Ferrovie del Mediterraneo a realizzare ponti e viadotti prevalentemente in muratura. Tale scelta appare in linea con la sensibile riscoperta di questa tecnica sul finire del XIX secolo, diffusa soprattutto in ambito ferroviario per la maggiore stabilità della muratura nel caso di alti viadotti con pile snelle, ma anche per la duttilità di queste strutture nel seguire andamenti curvilinei. A ciò si aggiunge, già dalla metà dell'Ottocento, l'introduzione della malta di calce idraulica, che permette di contenere i tempi di realizzazione di un ponte da quattro ad un anno, consentendo inoltre di utilizzare, anche per luci notevoli, i laterizi in luogo delle più costose pietre da taglio[13].

La necessità di approvvigionamento dei mattoni - estesa anche alle numerose gallerie e stazioni previste dal progetto - e la diffusa presenza di "argille turchine" lungo il tracciato, conduce le Ferrovie del Mediterraneo ad impiantare, fin dal principio dei lavori, due fornaci di tipo Hoffmann, di cui la prima presso Nusco, destinata a servire il tratto Montemarano-Lioni, e la seconda a Calitri, per il tronco Lioni-Monticchio. Per il primo tratto della linea, compreso tra Avellino e Montemarano, la Società si rivolge invece alle fornaci già esistenti presso Atripalda, cui si aggiungono negli stessi anni alcuni nuovi impianti[14]. Tra queste ultime, si distingue la fornace Hoffmann ubicata ai margini del territorio di Manocalzati, sorta per iniziativa di una impresa napoletana in coincidenza con l'avvio dei lavori del tronco Avellino-Paternopoli tra il 1890 e il 1893 ed ancora oggi superstite, benché quasi allo stato di rudere, quale unica testimonianza inalterata di questo tipo di fabbriche in Irpinia[15].

La costruzione della ferrovia mette in moto un timido sviluppo industriale nella provincia di Avellino, legato alla produzione di laterizi, che tuttavia non riesce a sopravvivere a lungo dopo l'inaugurazione della linea. Già nel primo periodo dei lavori, peraltro, il progetto subisce diverse varianti finalizzate al contenimento dei costi, tra cui emerge la sostituzione di molti viadotti in mura-

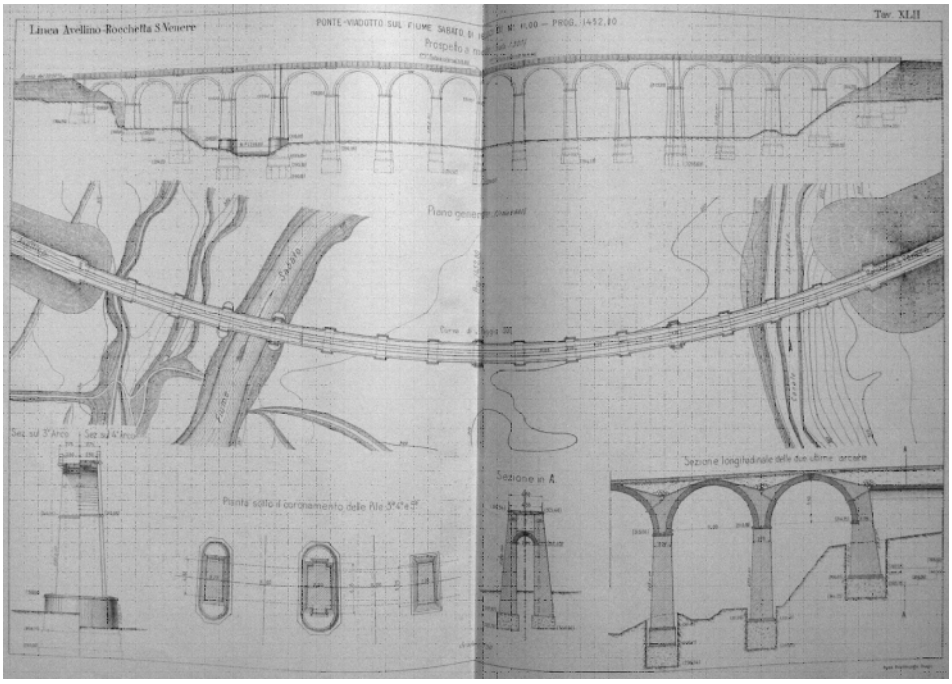


Fig. 4 – Progetto esecutivo del "Ponte principe", costituito da tre travate in acciaio di 95 metri di luce ciascuna, sul fiume Calore presso Lapio (da Relazione*, cit., BCFS, Roma)*

tura con più economiche travate in acciaio, suscitando le critiche del grande meridionalista Giustino Fortunato, impegnato in quegli anni a sostegno delle ferrovie Ofantine, che scongiura l'esecuzione di "lavori menati innanzi con la lesina dell'avaro e, quel che è più, senza una grande preoccupazione dell'avvenire"[16].

A parziale smentita di queste preoccupazioni, tuttavia, il tracciato compiuto presenta, su 58 ponti e viadotti di maggiore rilievo, oltre quindici strutture superiori ai 50 metri di lunghezza interamente realizzate in muratura. Tra queste, spicca il grande viadotto curvilineo sul fiume Sabato, di particolare valenza paesistica, posto immediatamente al di fuori della stazione di Avellino e caratterizzato da 16 campate di 11 metri di luce ciascuna, per una lunghezza complessiva di 225 metri. Di notevole interesse è anche il ponte obliquo sul fiume Calore presso San Mango (km 24+376) costituito da cinque arcate di 12 metri di luce, per una lunghezza complessiva di 104 metri. Caratterizzato per il suo andamento obliquo da un articolato apparecchio elicoidale delle volte, il ponte presenta fondazioni realizzate con cassoni ad aria compressa e pile particolarmente curate nei rostri, coronamenti e cappucci. Entrambe le strutture, infine, mostrano il ricorso ad una tipologia molto diffusa in ambito ferroviario, dove la scelta di adottare archi a tutto sesto

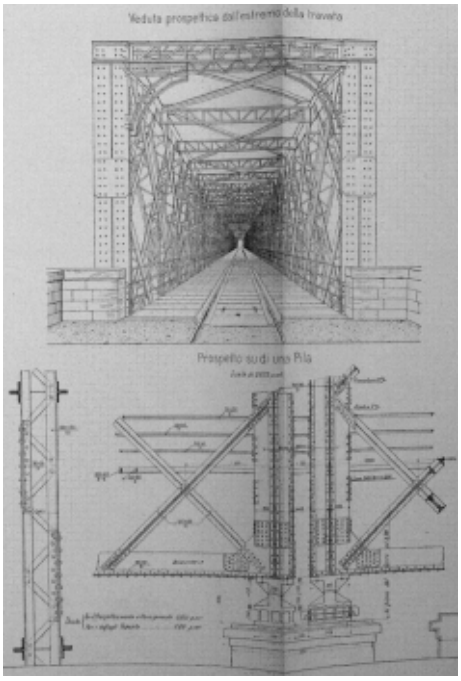


Fig. 5 – Progetto esecutivo del ponte sul Calore presso Lapio, veduta prospettica e particolari (da Relazione, *cit., BCFS, Roma)*

con luci inferiori ai 15 metri trae origine dal problema della sollecitazione orizzontale generata alla sommità della pila, sia per effetto della frenatura del treno, sia quando il treno stesso carica solo una delle due volte impostate su ciascuna pila[17]. Alle stesse ragioni è da ricondurre, nel lungo viadotto sul fiume Sabato, la presenza di tre pile-spalle intermedie poste ogni quattro campate.

Alle citate opere in muratura si accompagnano numerosi ponti in acciaio di grande rilievo, tra i quali spicca senza dubbio il cosiddetto *Ponte principe* sul fiume Calore presso Lapio, caratterizzato da tre travate reticolari di 95,40 metri di luce e 10 metri di altezza, per una lunghezza totale di 340 metri, og-

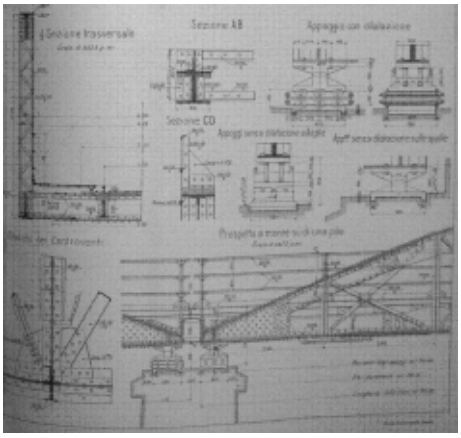


Fig. 6 – Progetto esecutivo del ponte obliquo a tre travate sul fiume Ofanto, particolari costruttivi (da Relazione, *cit., BCFS, Roma)*

getto in anni recenti di alcuni test dinamici[18]. Degno di nota è anche il ponte obliquo sull'Ofanto (km 92+152), composto da tre travate ad arco in acciaio di 33,16 metri di luce, per una lunghezza complessiva di 134 metri.

Tra le 19 gallerie che caratterizzano il tracciato, infine, si distinguono due opere maggiori, entrambe collocate nel tronco Avellino-Paternopoli e realizzate in laterizi con sezione ad arco rovescio tra il 1890 e il 1892: la galleria di Parolise, di 1,3 chilometri, ma soprattutto quella di Montefalcione, lunga 2,6 chilometri, compiuta con uno scavo fondato su sei attacchi (dai due imbocchi e da due pozzi) durato quasi due anni[19].

"L'*Avellino-Santa Venere* è una rivelazione del medio evo in mezzo al mondo moderno", scriverà più tardi Giustino Fortunato, plaudendo all'inaugurazione del primo tronco della ferrovia tra Avellino e Paternopoli nell'ottobre 1893. Per la sua realizzazione, "da oltre ventotto mesi una vera battaglia si combat-

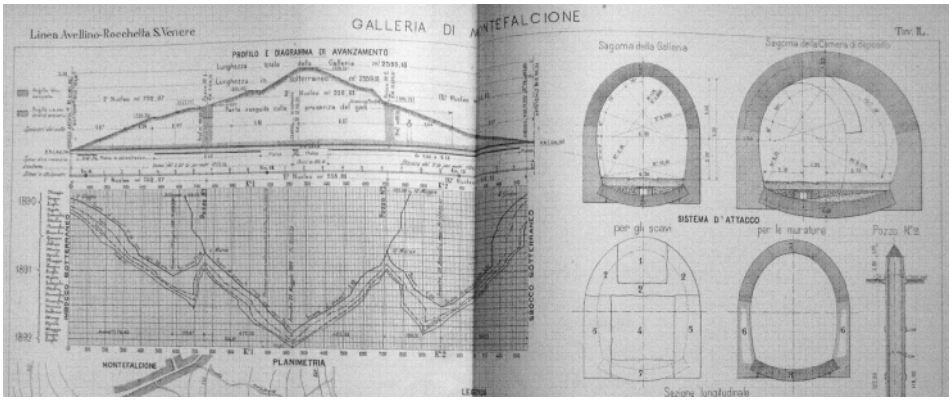


Fig. 7 – Progetto esecutivo della galleria di Montefalcione, la maggiore della linea con i suoi 2,6 km, compiuta nel 1892 dopo uno scavo durato due anni (da Relazione*, cit., BCFS, Roma)*

te laggiù, una battaglia, che la scienza vince, ma a prezzo di vite umane e di molti milioni". Fugate dunque le iniziali incertezze sulla condotta dei lavori, Fortunato sembra interrogarsi sulle speranze di sviluppo del territorio riposte fin dal principio dei dibattiti nella ferrovia: "L'aura della Campania Felice discenderà per l'Ofanto insieme con la vaporiera, dando vita nuova a tanta parte della nostra Italia irredenta? Sarà l'*Avellino-Santa Venere* un beneficio economico e sociale, come certamente è un miracolo dell'arte umana?"[20].

La risposta non tarda purtroppo ad arrivare: in analogia con altre linee secondarie italiane, "costruite su itinerari dove il movimento era minimo per assecondare il municipalismo dei campanili e soprattutto dei deputati locali"[21], anche la Avellino-Ponte Santa Venere, soffre fin dall'avvio dell'esercizio di uno scarso rendimento economico. Già tre anni dopo l'inaugurazione, infatti, la stessa Società rileva che, a fronte delle 27 stazioni e fermate, "ciò che invece fa difetto sono gli elementi del traffico e le vie di comunicazione fra le stazioni ed i paesi"[2]. Avviata con una frequenza giornaliera di tre treni, per una percorrenza dell'intero tratto di cinque ore, la ferrovia non riuscirà mai ad andare oltre il servizio locale tra i comuni dell'Irpinia, nemmeno dopo il settembre 1933, quando sarà dotata di automotrici diesel - le celebri "littorine" - al fine di garantire tempi di percorrenza più veloci e maggiore comfort per i viaggiatori[23].

A seguito delle azioni belliche condotte nel territorio avellinese dal 13 settembre al 2 ottobre 1943, la ferrovia riporta significativi danni, non molto gravi per l'armamento ma piuttosto estesi per le sue opere d'arte, tra cui spiccano almeno cinque ponti in muratura di maggiori dimensioni[24].

Altrettanto ingenti sono i dissesti che interessano il *Ponte principe* presso Lapio, che richiedono un intervento sulla prima campata con una pila intermedia di muratura ed una nuova travata metallica[25].

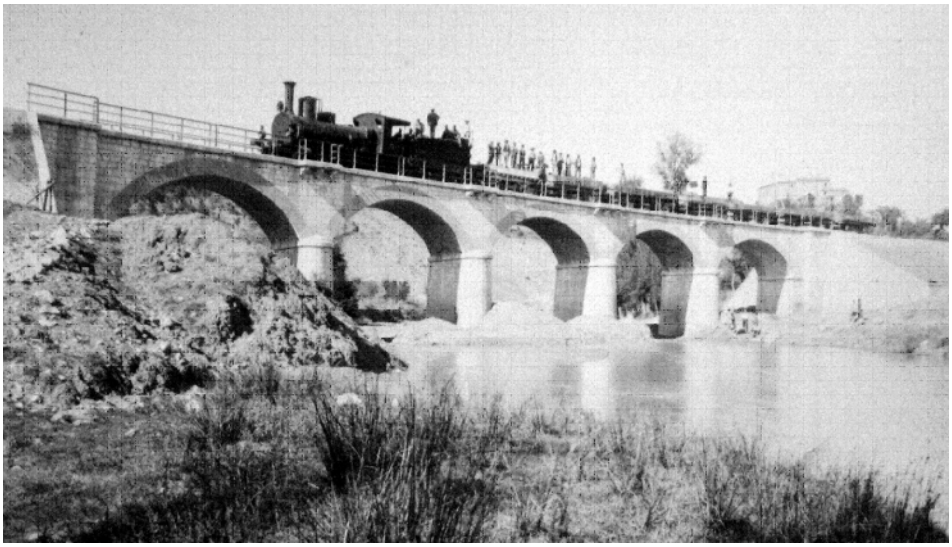


Fig. 8 – Ponte sul fiume Calore presso Poppano (da Album fotografico della ferrovia AvellinoSanta Venere presentato all'esposizione di Torino del 1898, BCFS, Roma)

Dopo una breve stagione di incremento di viaggiatori, in buona parte legata all'emigrazione degli anni '50-'60, la linea subisce una lunga chiusura a seguito dei consistenti danni subiti in occasione del terremoto dell'Irpinia del novembre 1980, che conduce alla sostituzione dell'armamento e alla ricostruzione di gran parte delle stazioni.

In analogia con altre ferrovie secondarie italiane, le attuali prospettive della Avellino-Rocchetta appaiono segnate da un concreto rischio di abbandono e chiusura definitiva della linea, ritenuta improduttiva dall'amministrazione delle Ferrovie e servita oggi da non più di tre treni giornalieri, sospesi nei giorni festivi e in estate, con sole 13 fermate attive e la gran parte delle stazioni soppresse.

Celebrata in occasione del centenario della linea nel novembre 1995, con il viaggio di un treno storico, la ferrovia sembra dunque destinata ad un progetto di conservazione e valorizzazione che ne possa garantire la sopravvivenza attraverso un riuso compatibile. Prendendo a modello i numerosi interventi conservativi realizzati su ferrovie storiche, avviati nella Val d'Orcia e recentemente diffusi soprattutto in Italia settentrionale, la linea potrebbe essere destinata a fini turistici[26], promuovendo itinerari a carattere ambientale e paesaggistico all'interno del territorio dell'alta Irpinia. Tali iniziative, avviate a livello sperimentale proprio nei mesi scorsi con il progetto *Treni d'Irpinia*, appaiono preferibili alle possibili "riconversioni" della linea in percorsi pedonali o piste ciclabili, che finiscono per tutelarne esclusivamente il tracciato, cancellando definitivamente la sua integrità tecnologica e, di conseguenza, gran parte dei suoi stessi valori storici.

[1] M. Merger, *L'ingegnere ferroviario nell'Ottocento*, in *Gli ingegneri in Italia tra '800 e '900*, a cura di A. Giuntini e M. Minesso, Milano, Franco Angeli, 1999, pp. 81-82.

[2] S. Maggi, *Le ferrovie*, Bologna, il Mulino, 2003, p. 54.

[3] M. Merger, *L'ingegnere*, cit., p. 83.

[4] S. De Majo, *Dalla Bayard alla Direttissima. Storia della rivoluzione ferroviaria in Campania. 1839-1927*, in *Ferrovie e tranvie in Campania. Dalla Napoli-Portici alla Metropolitana regionale*, a cura di F. Assante, M de Luca et al., Napoli, Giannini, 2006, p. 32.

[5] M Capozzi, *Relazione sulla ferrovia Avellino-Ponte S.ta Venere*, Napoli, G. De Angelis, 1872.

[6] La legge 5002 del 29 luglio 1879 prevedeva, tra le ferrovie di terza categoria, trentasei linee da realizzarsi con il concorso delle Province e dei Comuni per una quota del 20%, di cui quattro localizzate in Campania: Cajanello-Isernia, Sparanise-Carinola-Gaeta, Salerno-San Severino, Avellino-Ponte Santa Venere (S. De Majo, *Dalla Bayard alla Direttissima*, cit., p. 29).

[7] G. C. Melisurgo, *Andamenti commerciali e strategici e nota geologica per la ferrovia Avellino-Ponte S. Venere: considerazioni e proposte*, Napoli, Giannini, 1885.

[8] Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo, *Relazione sugli studi e lavori eseguiti dal 1885 al 1897*, con un album di 71 tavole, Roma, Tip. D. Squarci, 1898, p. 23, custodita presso la Biblioteca Centrale delle Ferrovie dello Stato, Roma (BCFS).

[9] M. Merger, *L'ingegnere*, cit., pp. 86-88.

[10] Nella relazione sui lavori svolti, la Società per le Strade Ferrate del Mediterraneo avrebbe in seguito osservato che se «le condizioni tecniche del tracciato erano quelle di una linea di interesse locale […] le modalità di costruzione si riferivano ad una linea di primaria importanza» (*Relazione sugli studi e lavori*, cit., p. 62).

[11] *Ivi*, p. 75.

[12] G. Fortunato, *I lavori di costruzione della linea Avellino-Santa Venere*, in Id., *Delle strade ferrate Ofantine. Scritti e discorsi (1880-97)*, Firenze, Tip. G. Barbera, 1898, p. 236.

[13] V. Nascè, *La conservazione dei ponti in muratura*, in *Restauro e consolidamento*, Atti del Convegno (Napoli, 31 marzo-1 aprile 2003), a cura di A. Aveta, S. Casiello, F. La Regina, R. Picone, Roma, Mancosu, 2005, pp. 37-42.

[14] *Relazione sugli studi e lavori*, cit., p. 70.

[15] Cfr. V. Corvigno-A. Famiglietti, *La fornace Hoffmann in Manocalzati: il progetto di restauro*, tesi di laurea, relatore prof. S. Casiello, correlatore arch. A. Pane, Università di Napoli Federico II, Facoltà di Architettura, 2005.

[16] G. Fortunato, *I lavori di costruzione della linea Avellino-Santa Venere*, cit., p. 235.

[17] V. Nascè, *La conservazione dei ponti in muratura*, cit., p. 41.

[18] M. Ferraioli et al., *Historical railway bridges: tests and numerical analysis*, in *Structural Analysis of Historical Constructions. Possibilities and Numerical and Experimental Techniques*, Proceedings of the Conference (Padova, 10-13 novembre 2004), a cura di C. Modena et al., London, Balkema, 2005, pp. 1019-1028.

[19] *Relazione sugli studi e lavori*, cit., pp. 67-68.

[20] G. FORTUNATO, *I lavori di costruzione della linea Avellino-Santa Venere*, cit., pp. 239-244.

[21] S. MAGGI, *Le ferrovie*, cit., p. 67.

[22] «Ed è strano questo fenomeno: che le popolazioni si adoperino e si agitino tanto per avere questo potente strumento di civiltà qual'è la ferrovia, e poi quando l'hanno avuto e lo Stato vi ha profuso dei milioni non si curino di mettersi in grado di usufruirne a dovere nemmeno con lo spendere qualche migliaio di lire per costruire una strada di accesso alla stazione» (*Relazione sugli studi e lavori*, cit., p. 70).

[23] F. OGLIARI, *Terra di primati. Storia dei trasporti italiani. Campania, Puglia, Basilicata, Calabria*, vol. V, Milano, Cavallotti editori, 1976, p. 1466.

[24] S. CASIELLO-A. PANE-V. RUSSO et al., *Restoring and reconstructing masonry bridges: researches in Campania (Italy)*, in ARCH'07, Proceedings of 5th International Conference on Arch Bridges (Madeira, 12-14 Settembre 2007), a cura di P. B. Lourenço et al., Guimarães, University of Minho, 2007, pp. 121-128, in particolare il cap. 3, dedicato ai danni bellici e agli interventi di riparazione e parziale ricostruzione dei ponti della Avellino-Rocchetta.

[25] *Avellino Rocchetta S. A. Con De Sanctis una rete per il sud*, a cura di A. Panzone, Lioni, Rotostampa, 2003, p. 73.

[26] *Le strade ferrate: trasformazioni urbane e territoriali, permanenze, uso e prospettive*, a cura di O. FANTOZZI MICALI, Firenze, Alinea, 2000.

MARIA RUSSO

Infrastrutture territoriali ed urbane in Costiera Amalfitana tra Otto e Novecento

Fino alla metà del XIX secolo la Costiera Amalfitana non disponeva di percorsi carrabili, per cui i traffici tra i vari centri costieri si svolgevano esclusivamente per mare, mentre quelli con l'interno avvenivano attraverso una fitta rete di mulattiere[1]. Di conseguenza, la necessità di disporre di agevoli collegamenti terrestri con Salerno ed, in particolar modo con l'area napoletana, risultava tra le più pressanti istanze manifestate dalle popolazioni del luogo.

Nel 1806, il regime francese varò un ampio programma di viabilità, all'interno del quale prese corpo l'idea di unire Amalfi con Castellammare di Stabia, mediante una rotabile finanziata da un consorzio costituito dalle comunità interessate. Alla proposta aderirono Atrani, i centri di ponente ed Agerola, che caldeggiava il passaggio sul proprio territorio. Invece, assunsero una posizione contraria i paesi del litorale orientale, quelli interni di Scala, Ravello e Tramonti - quest'ultimo fautore del completamento di una precedente opera della quale era stato il maggiore sovvenzionatore[2] - mentre Maiori propendeva



Fig. 1 - Amalfi, vista dal ovest. A sinistra, in alto, via Annunziatella, in basso, la moderna rotabile a cui segue, al di là del tunnel, il corso Flavio Gioia e la strada per Vietri

per un diretto allacciamento con il capoluogo picentino, dal cui mercato giungevano le materie prime per le industrie locali.

Nel 1811, Gioacchino Murat decretò la costruzione della strada[3], per la quale, abbandonato il transito per l'altopiano agerolino, si preferì quello per Tramonti, da dove, attraverso il valico di Chiunzi si scendeva alla costruenda consolare per Nocera e si poteva proseguire per Salerno o Napoli. Nel 1828, le difficoltà incontrate nella percorrenza dell'aspra valle tramontina indussero alla revisione del tragitto, che fu ricondotto completamente lungo la costa, fino a Vietri[4].

Il ripristino degli itinerari tradizionali in età preunitaria

Tralasciato il proposito di raggiungere la capitale per Agerola, si intraprese, comunque, la riparazione della preesistente rete viaria dell'ambito occidentale della Costiera, che si trovava in pessime condizioni per l'assenza di manutenzione, la vetustà ed i naturali fenomeni di smottamento che affliggevano il suolo particolarmente acclive, a cui



Fig. 2 – G. Lista, Pianta geometrica delle due stradette da ridursi…, *Salerno, 27 agosto 1819, ASS, Intendenza, Opere Pubbliche, b. 1124, fasc. 34*

nemmeno la secolare organizzazione in terrazzamenti garantiva stabilità.

L'intero sistema dei percorsi si innestava sulla medievale via Maestra dei Villaggi, vero e proprio monumento per le sue peculiarità ambientali e paesaggistiche, che oggi sopravvive nonostante le menomazioni apportate.

L'importante arteria pedonale traeva inizio dal vallone Cieco - la profonda depressione che chiude da ovest l'abitato di Amalfi - e col succedersi di gradonate, cordonate e rare zone piane, toccava i casali marittimi di Pastena, Lone e Vettica Minore, dei quali costituiva l'asse portante. Quindi inerpicandosi verso Tovere arrivava ad Agerola con un impervio andamento a zig-zag[5]. Da essa si staccavano frequenti diramazioni che, tagliando perpendicolarmente le curve di livello, pervenivano alle aree montane ed al mare, dove si ramificavano in sentieri a servizio dei numerosi borghi sparsi.

Nel 1819, in seguito alle pressioni esercitate dal Comune di Amalfi, l'intendente provinciale diede mandato all'ingegnere Giuseppe Lista del Servizio di Ponti e Strade della Provincia di Principato Citeriore, già impegnato nella realizzazione della carrozzabile orientale, di compiere una ricognizione ed indicare le opportune riattazioni del tratto fino a Vettica Minore, includendo anche il ramo che dalla porta settentrionale della città si dirigeva alla località S. Elena, nelle pertinenze di Pontone[6]. Il tecnico stilò prontamente un progetto[7], nel quale contemplò il rifacimento di ampie porzioni del piano stradale,

composto da "scardoni" calcarei, curando che le pietre fossero ben spianate, in modo da rendere quanto più agevole possibile il cammino a piedi nudi con carichi a spalla. Inoltre, pensò alla generale rimessa a nuovo delle scalinate ed alla correzione della loro pendenza nei punti eccessivamente ripidi.

Con l'obiettivo di consentire in inverno l'attraversamento della Lama di Vettica - il vallone che separava la frazione da Lone - impedito dall'impeto delle acque fluenti, stabilì di erigere un ponte, impiantando sulla roccia due piloni in muratura che sostenevano una passerella in legno[8].

L'anno seguente, a causa dei cedimenti prodotti dalle copiose piogge nella stradina nord-orientale, il professionista fu invitato a redigere un elaborato suppletivo[9]. Per l'occasione, non solo aggiunse altri interventi a quelli già previsti, ma sostituì il manufatto ligneo con un più impegnativo viadotto, gettando sulle due spalle una volta[10]. Il tutto fu completato entro dicembre 1821 e la consegna avvenne nel febbraio successivo.

La sistemazione in causa replicò quella affidata al medesimo Lista nella vicina Tramonti ove, già nel 1815, in seguito all'innalzamento del livello del torrente Regina, si ravvisò la necessità di unire le sponde, sia per facilitare gli scambi tra le frazioni del versante ovest e Maiori, sia per consentire l'accesso all'unico mulino del luogo. Per tali motivi si decise di predisporre un cavalcavia in legno, poggiante su quattro sostegni in fabbrica, ma al momento dell'esecuzione, avvenuta nel 1823, si optò per la struttura in muratura, tuttora percorribile, costituita da un'unica campata retta da due piloni edificati uno nel letto del fiume, l'altro sulla viva roccia[11].

Il fallito progetto della "strada della Canonica"

Il congiungimento dell'ex capitale del Ducato con la via Maestra dei Villaggi aveva origine con la ripida scala che, ancora oggi, dalla piazza dei Dogi - la medievale *platea Fabrorum*, un tempo dei Ferrari - sale all'antica porta urbana di Vagliendola. Da qui, attraverso via Annunziatella, con un itinerario grossomodo pianeggiante, parzialmente sorretto da una successione di alti pilastri congiunti da archi, seguito da una lunga scalinata, ridiscendeva alla cosiddetta "Croce della Canonica", ovverosia il punto in cui intersecava la rampa d'accesso al convento dei Cappuccini. Dopo di che, mantenendosi sul margine del promontorio di Santa Caterina[12], perveniva alla gola del Cieco, ove si biforcava nella già menzionata via Maestra dei Villaggi e verso Pogerola.

Per l'elevazione e la naturale instabilità del terreno, il camminamento era spesso soggetto a movimenti franosi, dando luogo a pericolose cadute di massi

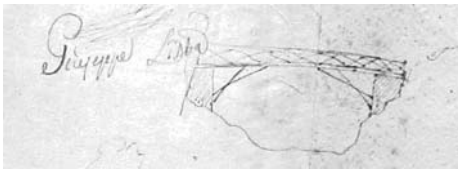


Fig. 3 - G. Lista, particolare del ponte sulla Lama di Lone. ASS, Intendenza, Opere pubbliche, b. 1124, fasc. 35

sulle abitazioni sottostanti, per cui, nel 1823, liquidata la sezione extraurbana, il Decurionato deliberò di spostarlo ad un livello più prossimo al mare, poiché ancora una volta si richiedevano interventi. Allo scopo, l'intendente provinciale incaricò l'ingegnere di 1ª classe di Ponti e Strade Leonardo Olivieri di studiare una soluzione fattibile.

Il piano, redatto nel 1824, sovvertì drasticamente le modalità di sortita dalla cittadina, preventivando una percorrenza che, correndo lungo la costa per circa mezzo chilometro (1800 palmi, m 475) copriva la distanza tra il centro urbano e Santa Caterina, superando un salto di ben 136 palmi pari a m 35,80[13]. Muovendo sempre dal largo dei Ferrari, la carreggiata si dirigeva a sud, lungo il preesistente vico Piscine che sfociava sull'arenile, e procedendo in salita, passava in un primo momento sopra alcuni bassi sporgenti sulla sede viaria e poi su un riempimento contenuto da un muro e su un'arcata appositamente creati. In tal modo, raggiunta la quota di 9 metri e mezzo, veniva a trovarsi sulla sommità dell'alta rupe che delimitava la Marina Piccola, quindi deviava ad ovest incontrando la torre cinquecentesca del Reviglino[14] che, perciò, doveva essere demolita.

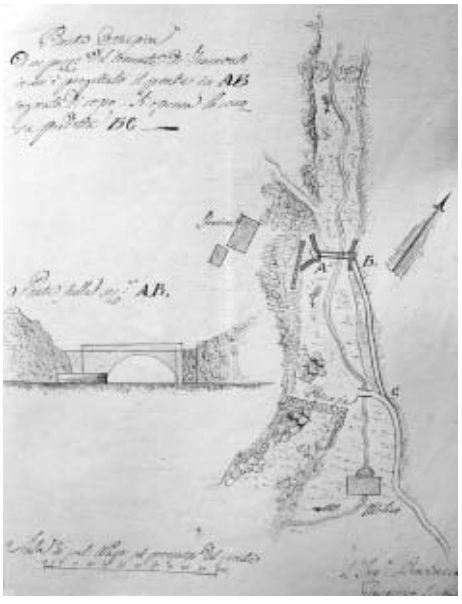


Fig. 4 – G. Lista, Pianta ostensiva…, *ASS, Intendenza, Opere Pubbliche, b. 1339, fasc.33*

Anticipando di oltre mezzo secolo il sistema adottato per l'avvio della provinciale per Positano, proseguiva sul limite del costone, sul quale andava ricavata la traccia, poggiante su terrapieni e muraglioni di sostegno, distribuendo i 100 palmi di dislivello con un'inclinazione costante del 5,5%.

Imponenti sarebbero stati i tagli di roccia e gli abbattimenti richiesti, che interessavano oltre alla fortificazione, porzioni dei terranei sul vico Piscine e vari loggiati delle case adiacenti.

Il proponimento rimase irrealizzato a causa dei contrasti insorti tra l'amministrazione civica ed il Ministero delle Finanze[15]. Infatti, nel 1823, mentre si stabiliva la revisione, il dicastero in causa ebbe in concessione il fortilizio "per uso di Officina Doganale" e lo affidò al "ricevitore della Regia Dogana", perché lo ampliasse, ricavando vani sottoposti.

Il tracciamento dei percorsi urbani carrozzabili

Il tratto fu effettivamente modificato solo alla fine del secolo, al momento della concretizzazione dei tracciati occidentali, completando così la trasfor-

mazione del litorale, avviata negli anni Venti con la costruzione della consortile per Vietri.

Il fronte marittimo comprendeva due distinti settori spartiti dallo sbocco del torrente Canneto: la Marina piccola, a ponente, e la Marina grande, dall'altro lato. Mentre la prima era chiusa dalle incombenti pareti rocciose sulle quali si attestava il rione Vagliendola, l'opposta era quasi complanare al nucleo cittadino, dal quale, fino al tardo Settecento, fu divisa dalla recinzione difensiva, al cui interno correva una striscia di terra - lo Scario - interrotta dai rilievi che separano da Atrani.

Parallelamente alla eliminazione delle mura, la via fu lastricata formando sulla spiaggia laterale uno "stradone", ovverosia uno spiazzo livellato e definito da cordoli di pietra, adibito a spanditoio dei grani necessario ai pastifici del posto. Tra il secondo e terzo decennio dell'Ottocento, il compimento del segmento iniziale dell'arteria costiera, curato dall'ing. Giuseppe Lista, portò alla occupazione dello Scario, rendendone rettilineo l'andamento e conferendogli l'uniforme ampiezza di 18 palmi (m 4,70 circa), rimuovendo tutte le sporgenze. Il corso occupò anche una fascia del detto spanditoio che, in principio, si stabilì di ricostituire dalla parte opposta, decisione poi abbandonata ed oggetto di un lungo dibattito, che alla fine ne vide il ripristino a cavallo della foce del Canneto[16].

La carrozzabile, partendo dalla confluenza con la piazza Duomo, con pendenza costante guadagnava la quota utile al superamento del promontorio di Capo di Croce poggiando nel primo settore su una colmata di sabbia, bloccata da uno sbarramento elevato sulla battigia, sovrapassando poi alcuni magazzini che vi insistevano e continuando con un serpeggiante svolgimento su pilastri ed archi fondati sulla scogliera[17].

Nel 1853, la solenne inaugurazione dell'importante impresa segnò la fine del pressoché totale isolamento del passato ed avviò un susseguirsi di proposte di prolungamento verso Napoli, attraverso Agerola o Sorrento. Contestualmente, anche Scala, Ravello e Tramonti, avanzarono pressanti appelli in merito - soddisfatti tra fine Ottocento ed inizio Novecento - mentre non si attuò l'intento di raccordarsi agli opifici della Valle dei mulini di Amalfi.

Nonostante l'approvazione del Ministero, il primo degli assi viari in oggetto fu portato a termine solo intorno al 1930, dopo una lunga fase di stallo sul confine partenopeo. Invece, quello per Positano fino a Meta, varato nel

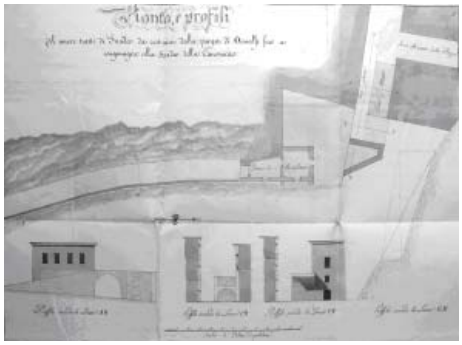


Fig. 5 – L. Oliviero, Pianta e profili del nuovo tratto di strada da costruirsi dalla piazza di Amalfi…, *Salerno, 16 luglio 1824, ASS, Intendenza, Opere pubbliche, b. 1125, fasc. 27*

1877, fu compiuto entro il 1896[18] ed incise notevolmente sull'intervallo cittadino interessato[19].

L'ingegnere del Genio Civile Giovanni Battista Pagano, a cui fu affidato il lotto di uscita da Amalfi, ripropose grossomodo il disegno di Leonardo Olivieri, rispettando però come quota di partenza quella della consortile, di poco rilevata rispetto alla riva. Allo sviluppo in costante ascesa, utile a colmare il dislivello fino al Cieco, si frapponevano molteplici impedimenti, in quanto, già all'inizio, l'attuale via Matteo Camera, insistevano vecchi edifici e subito dopo si ergeva la rupe di Vagliendola.

Per impiantare la carreggiata su setti murari di altezza crescente congiunti da volte, fu d'obbligo abbattere l'ala posteriore del palazzo Gambardella-hotel Cappuccini marina, sottopassare la Porta della Marina ed i volumi adiacenti, al di là dei quali si elevava la prima fatiscente campata dell'antico arsenale, ugualmente smantellata[20]. Sollevandosi davanti ai fabbricati prospettanti sul lido, ridotti leggermente diroccandone la parete esterna, si giungeva al vico Piscine ed alle case, sovrastate dal costone roccioso, che fu oltrepassato perforandolo con una galleria e sventrando i palazzi[21].

Venne finalmente assicurato l'intero attraversamento della Costiera e la strada divenne ben presto il polo per le future espansioni edilizie[22].Ma l'innesto, nonostante i sacrifici compiuti per realizzarlo, rimaneva sempre troppo angusto, perciò, nel 1903, il Ministero dei Lavori pubblici offrì un finanziamento per un eventuale allargamento. Risultava, pertanto, indispensabile demolire completamente il centenario albergo in parola, situato a monte dello spanditoio. La circostanza innescò un processo di valorizzazione dell'area antistante, sulla quale si pensò di erigere una statua a Flavio Gioia. Nella determinazione fu

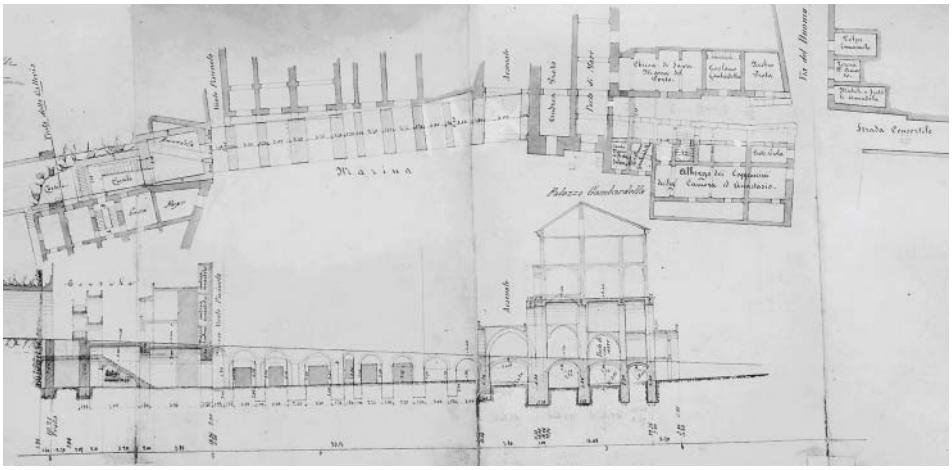


Fig. 6 – G.B. Pagano, Profilo del 1° tratto abitato interno di Amalfi, *1:200, Salerno, 30 giugno 1882, ing. Giovanni Battista Pagano. ASS, Amministrazione Provinciale, b. 65*

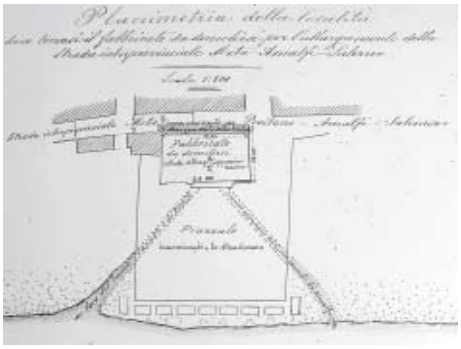


Fig. 7 – G. Gastaldi, Planimetria della località…, *1:500, Amalfi, 25 maggio 1903, ASS, Prefettura II s., b. 64*

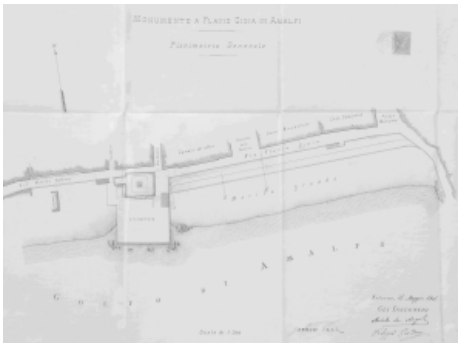


Fig. 8 – F. Giordano-M. de Angelis, Monumento a Flavio Gioia in Amalfi…, Planimetria generale, *1:500, Salerno, 15 maggio 1907, ASCA, cat. IX, F. 630*

compresa la limitrofa corsia ottocentesca, già intitolata al famoso inventore, alla quale si voleva attribuire un ruolo direzionale per le sue valenze paesaggistiche, in nome del dilagante movimento turistico[23].

La sistemazione, elaborata nel 1907 dagli ingegneri Filippo Giordano e Michele de Angelis[24], comportò il posizionamento del monumento sullo spazio risultato dall'eliminazione del vetusto immobile, delimitato ad est da una palazzina, mai compiuta, che immetteva al "passeggiatoio", la cui iniziale estensione di 64 metri fu accresciuta dopo il nubifragio del 1910, utilizzando il materiale di sgombero dell'alveo del Canneto[25]. Il panoramico tragitto, poi ribattezzato viale Diaz, affacciato sul mare con

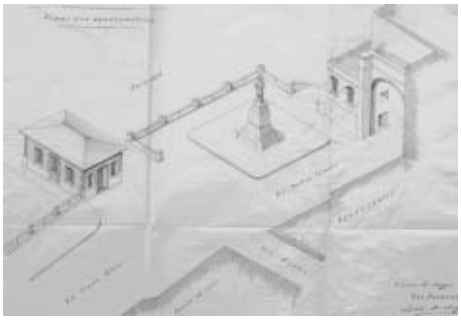


Fig. 9 - *F. Giordano-M. de Angelis,* Monumento a Flavio Gioia in Amalfi…, Proiezione assonometrica, *1:100, Salerno, 15 maggio 1907, ASCA, cat. IX, F. 630*

uno scenografico parapetto ombreggiato da alberi, assolse la ricerca di esteriorità e rappresentatività e diede il via ad una serie di operazioni che, nell'arco di un quarto di secolo, condussero alla totale metamorfosi della Marina grande.

[1] Il tema dei percorsi carrabili della Costiera Amalfitana è stato da me estesamente trattato in: *L'avvento delle strade rotabili ed il loro impatto con il paesaggio*, in *La Costa di Amalfi nel secolo XIX*, Atti del Convegno di Studi (Amalfi, 22-23 giugno 2001), a cura di G. Fiengo, vol. II, Centro di Cultura e Storia Amalfitana (CCSA), Amalfi 2005, pp. 15-64; *L'irruzione delle strade rotabili entro la fitta rete delle cordonate medievali*, in G. Fiengo, G. Abbate, M. Russo, *La casa amalfitana e l'ambiente campano. V. Insediamenti medievali nel territorio di Amalfi: Vettica Minore*, in "Ras-

segna del Centro di Cultura e Storia Amalfitana" (RCCSA), n.s., a. VIII, 1998., n. 15-16, pp. 34-42 e in G. FIENGO-G. ABBATE *Case a volta della costa di Amalfi*, CCSA, Amalfi 2001, pp. 418-426.

[2] ARCHIVIO DI STATO DI SALERNO (ASS), *Intendenza, Strada della Costiera*, b. 2925, fasc. 1, delibera del 10 aprile 1807.

[3] Ivi, fasc. 3. Allo scopo i comuni accettarono una tassazione sui grani destinati ai pastifici della zona.

[4] Nel 1828 si stabilì di abbandonare la difficile direzione per Tramonti ed approfittare di una preesistente cavalcabile tra Capo d'Orso e Vietri. I lavori vennero ripresi nel 1830 e nel 1835 l'ing. Luigi Giordano fu incaricato del nuovo progetto (ivi, 2928, fasc. 6 e 7.

[5] Per una puntuale esame del percorso, sul quale prospettano i maggiori episodi locali di edilizia civile e religiosa e sullo stato di conservazione cfr. G. FIENGO ,G. ABBATE, *Case a volta*, cit.

[6] ASS, *Intendenza, Opere pubbliche*, b. 1124, fasc. 34, cfr. le missive dell'intendente all'ingegnere del 27 marzo, 3 e 19 aprile 1819.

[7] Ivi, "Progetto per la riduzione delle strade che d'Amalfi portano ai Villaggi di Lone Pastena, Vettica e S. Elena", Salerno, 27 agosto 1819, ingegnere provinciale Giuseppe Lista.

[8] Il manufatto era composto da due pilastri di palmi 6x4 (m 1,60x1,06) e alti palmi 20 (m 5,30), sui quali poggiavano due correnti in castagno lunghi 34 palmi (m 9,00 circa), a sostegno del tavolato della medesima essenza misurante palmi 40x6 (m 11,36x1,60).

[9] Ivi, fasc. 35, cfr.: comunicazione del 29 luglio 1820; "Stato dei lavori di supplemento da eseguirsi per completare la riattazione della strada che d'Amalfi porta al Villaggi di S. Elena", Salerno 18 agosto 1820; "Misura finale de' lavori eseguiti per la riattazione di due strade di Amalfi…", Giuseppe Lista. Alla pratica è allegato il disegno preparatorio della tavola di progetto del 1819, sul quale sono schizzati alcuni particolari costruttivi, tra cui il ponte.

[10] I due piedritti, di sezione palmi 5x9 (m 1,32x2,40) e di altezza unita palmi 23 (m 6,10), sostenevano una volta di corda palmi 37 (m 9,70), sesto 12 (m 3,20) e larga 9 (m 2,40). Nel vallone, oggi attraversato dai viadotti diretti a Positano, Agerola e Pogerola, non sembra esistere traccia del manufatto, forse travolto dall'alluvione del 1912.

[11] Ivi, b. 1339, fasc. 28 e 33.

[12] La punta di S. Caterina, luogo privilegiato di ripresa della città da ovest, terminava con uno spuntone, raggiungibile da un ponticello, sul quale si elevava un'edicola sacra, che crollò nel 1878, in seguito ai lavori di costruzione del porto sottostante.

[13]ASS, *Intendenza, Opere pubbliche*, b. 1125, fasc. 27, "Progetto di esecuzione dei lavori di un tratto di strada dalla piazza di Amalfi fino a giungere alla così detta Strada della Canonica", Salerno 16 luglio 1824, ingegnere L. Olivieri.

[14] La torre fu costruita tra il 1565 ed il 1569. Cfr.: G. FILANGIERI, *Documenti per la storia, le arti e le industrie nelle Province napoletane*, vol. VI, Napoli 1891, pp. 184, 185; P. NATELLA, *Il Rivellino di Vagliendola e la fortificazione a mare di Amalfi fra il XIII e il XIX secolo*, in "RCCSA", a. IX, 1989, n. 14, pp. 101-107. Una sintesi del progetto si ritrova in F. ANASTASIO, R. ANTONICELLI,

Progetti e realizzazioni urbanistiche ad Amalfi nei documenti dell'Archivio di Stato di Salerno e dell'Archivio Comunale di Amalfi (1824-1921), in "RCCSA", n.s., a. V, 1995, n. 9, pp. 57-100 (pp. 74, 75).

[15]ASS, *Consiglio di Intendenza*, b. 6, fasc. 15 e 27. La concessione originò una controversia protrattasi per anni, in quanto le due destinazioni risultavano incompatibili. Non solo, ma l'Oliviero, incaricato di una perizia, riscontrò che gli scavi operati per costruire i due terranei, tuttora esistenti, ed il sezionamento dei muri che sostenevano la piattaforma della torre avevano privato la carreggiata di un valido appoggio.

[16] ASS, *Intendenza*, *Strada della Costiera*, b. 2949, fasc. 7, "Progetto e stato estimativo de' lavori occorrenti per la rettifica del tratto di strada dall'abitato di Amalfi, fino alla Torre di Amalfi…", Salerno 28 febbraio 1827, ing. Giuseppe Lista e "Stato estimativo del prosieguo dei lavori (…)", 20 aprile 1828, del medesimo tecnico.

[17] Ibidem. Sulle metamorfosi del segmento urbano della rotabile orientale cfr. M. Russo, *Conservazione e adattamento a nuovo uso del "Monistero di donne nobili" della SS. Trinità di Amalfi*, CCSA, in corso di stampa.

[18] Archivio Storico Comune di Amalfi (ASCA), cat. X, *Lavori pubblici*, F. 657, verbale della seduta del Consiglio comunale del 3 maggio 1905.

[19] ASS, *Amministrazione Provinciale*, b. 65, "Progetto del 1° tratto Amalfi-Punta Campana. Profilo del 1° tratto abitato interno di Amalfi". 1:200. Salerno 30 giugno 1882, ing. Giovanni Battista Pagano.

[20] La campata era larga m 5 ed alta m 7,50 e sporgeva di oltre 6 metri (ivi).

[21] ASCA, cat. X, F. 669, vol. 4°, "Strada interprovinciale Amalfi-Positano-Meta-Agerola. 1892-94".

[22] A partire dal 1894, divennero sempre più numerose le concessioni per aperture e costruzione di immobili lungo la carreggiata (ASS, *Amministrazione provinciale*, b. 207).

[23] ASS, *Prefettura II s.*, b. 64. La convenzione, stipulata tra Comune e Ministero dei Lavori pubblici il 2 giugno 1903, stabilì un fondo di £ 48.000 per l'ampliamento di m 2,50 del tratto della provinciale, da attuarsi entro gennaio successivo. Alla pratica è allegato un computo metrico estimativo redatto dal geometra G. Gastaldi, accompagnato dalla planimetria dell'area interessata. L'opposizione dei proprietari del palazzo da demolire fece sospendere più volte i lavori, che vennero liquidati nel 1912.

[24] ASCA, cat. IX, *Istruzione*, F. 630, "Monumento a Flavio Gioia in Amalfi. Progetto per la costruzione della piazza Flavio Gioia ed opere dipendenti", Salerno, 15 maggio 1907, Filippo Giordano-Michele de Angelis. Il settore interessato si sviluppava per 64 metri. Sull'elaborato: F. Anastasio, R. Antonicelli, *progetti e realizzazioni*, cit., pp. 76-95.

[25] L'intervento contemplò la demolizione del vecchio parapetto e l'allargamento su una carreggiata sostenuta da un muro in pietrame calcareo fondato sulla spiaggia. Tutte le rifiniture furono fatte con pietra vesuviana, con la quale si bordarono i marciapiedi, si rivestì il suolo, la parete di contenimento, la base del parapetto ed i pilastrini della ringhiera. ASCA, cat. IX, F. 630, "Monumento…", cit., Computo metrico; cat. X, F. 672.

GIOVANNI FRESA

Prime funicolari: binari, freni, funi e rulli

La prima funicolare terrestre - un convoglio trainato da una fune su un binario indipendente - fu costruita in Gran Bretagna nel 1842, precedendo di molti anni la versione aerea, oggi più diffusa. A metà ottocento il sistema era favorito dalla disponibilità di funi metalliche e di motrici termiche che, in breve tempo, s'erano imposte anche nei trasporti.

Nel 1862 fu inaugurata a Lione la prima[1] funicolare europea a servizio pubblico, per collegare il centro città alla terrazza della Croce Rossa.

In Italia, l'ingegner Tommaso Agudio[2], in vista del cantiere di scavo della galleria del Gottardo, riutilizzò, su una postazione fissa, una locomotiva in disuso e - primo fra tutti - costruì un impianto merci sperimentale sulla rampa del Dusino, una tratta della ferrovia Torino-Genova dismessa per l'eccessiva pendenza. L'esperimento, malgrado il successo, non ebbe applicazione.

Il primo impianto per il servizio viaggiatori fu però la funicolare del Vesuvio (1880). A Napoli, nel 1885, gli ingegneri Ferraro e Cigliano, presentarono al Comune di Napoli il progetto di due funicolari urbane per collegare il nascente quartiere collinare del Vomero al centro della città. Esso prevedeva, in mezzo alla attuale Piazza Vanvitelli, una puleggia suborizzontale azionata da un argano a vapore per muovere in senso opposto -con una sola fune- due convogli, in direzione di Piazza Amedeo l'uno, di via Toledo, l'altro.

Gli esordi: impianti di prima generazione

La costruzione fu affidata in concessione alla Banca Tiberina su un progetto che era stato profondamente modificato, prevedendo due impianti fra loro distinti. Ciascuno, secondo la moda, era dotato d'una sede a doppio binario[3].

Fu costruita per prima (1889) la funicolare di Chiaia, rispettando il progetto; essa coi suoi due binari dotati di dentiera centrale Abt ha rammentato, sino al 1973, i prevalenti orientamenti dei primi progettisti, restii ad inserire incroci in linea. Anche per l'altra funicolare, oggi indicata come quella di Montesanto, progettata per collegare il Vomero con il Corso Vittorio Emanuele (1891), era previsto il doppio binario.

In corso d'opera però, aderendo a richieste locali, si decise di allungarla a valle portando il capolinea in piazza Montesanto, a ridosso della centralissima piazza Carità. Furono proposti due progetti di variante che, entrambi, prevedevano di proseguire col doppio binario. Per il timore di interferenze con importanti opere vicine vennero, però, accantonati. Si decise allora di aggiungere, a valle, un binario unico di pendenza ridotta ed andamento tortuoso che fiancheggiava il paramento della murazione

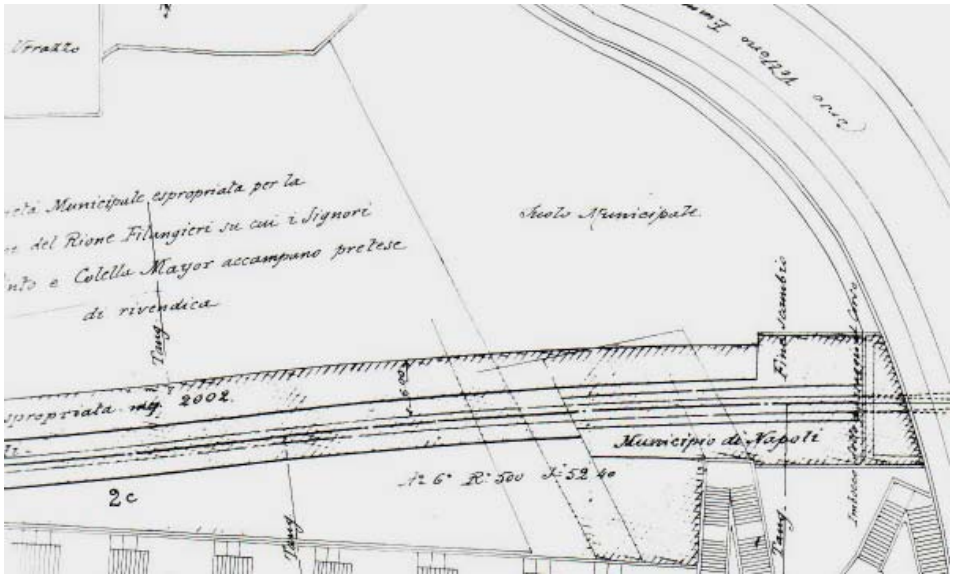


Fig. 1 - A valle del corso Emanuele si passa dal doppio al semplice binario a mezzo di un deviatoio privo di parti mobili

aragonese, pervenendo alla singolare disposizione visibile ancora nel 1977: doppio binario da via Morghen sino al Corso Vittorio Emanuele e semplice binario di qui a Montesanto.

Una lunga lettera[4] delle Officine di Savigliano, cui era affidata la costruzione delle parti meccaniche, esponeva all'esercente -la Banca Tiberina- un elenco delle modifiche conseguenti alla scelta del nuovo percorso[5].

Per passare dal semplice al doppio binario occorreva, all'incrocio col Corso Vittorio Emanuele, un speciale deviatoio simmetrico privo di parti mobili per il raggio di 300 m; la fune doveva traversarne gli incroci e, perciò, trovarsi dappertutto sotto il piano del ferro; si dovevano rialzare le rotaie di 100 mm utilizzando traverse metalliche da sabbia di produzione USA (quelle in legno avevano fornito cattiva prova sulla funicolare di Chiaia) e, fra rotaie e traverse, vi sarebbero state nuove piastre da 18 mm; andavano modificati anche i telai portarulli sul semplice binario.

Sul deviatoio, funi e cremagliere avrebbero però incrociato le rotaie interne creando pericolosi spazi nocivi che obbligavano a raddoppiare, su ogni veicolo, i freni di rotaia.

La trazione doveva risultare ulteriormente disassata (da 28 a 35 mm) ed abbassata; inoltre, le due curve a valle del deviatoio richiedevano rulli guidafune inclinati e disassati, da montarsi a coppie.

Era necessario modificare le sale inserendo, da un lato ruote con cerchioni piatti e, dall'altro, con doppio bordino.

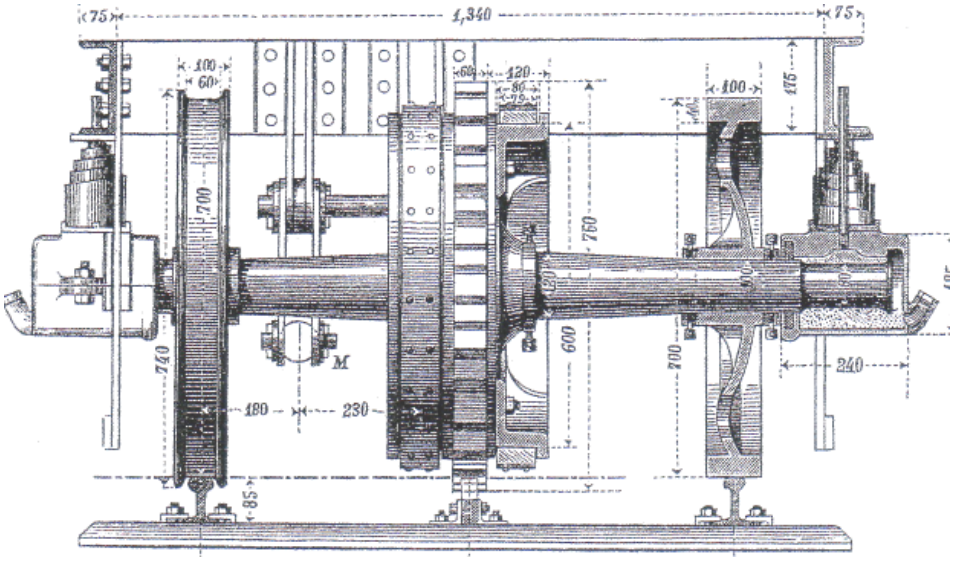


Fig. 2 – Modifiche della sala, di cerchioni, dentiera, freno

La stazione inferiore doveva lavorare con una sola banchina e perciò si modificarono le vetture che provenivano dal binario opposto aprendo una seconda fila di porte.

Il nuovo profilo avrebbe recato, a valle del Corso Vittorio Emanuele, una brusca variazione di pendenza, sfavorevole all'equilibrio della fune per cui si doveva rialzare il ferro mediante un lungo raccordo verticale.

Occorrevano, infine, anche spostamenti e modifiche dell'argano conseguenti al disassamento della trazione ed all'aumento della tara[6].

Si può far risalire a questa esperienza l'attuale preferenza per il semplice binario, che, alle fermate, consente -fra l'altro- la separazione dei flussi di viaggiatori in entrata ed uscita.

Macchina e marcia dei convogli

Queste due prime funicolari si possono assumere come prototipi degli impianti di prima generazione[7], il cui governo era completamente affidato all'intervento degli operatori.

Consultando il minuzioso regolamento dell'epoca, la voluminosa corrispondenza dell'esercizio ed altri documenti è possibile ricostruire molte vicende queste prime, preziose esperienze.

I motori erano sistemati in un edificio comprendente la sala argani, i forni ed una carbonaia, il tutto sovrastato da una ciminiera in muratura

V'erano tre caldaie a 6 atmosfere -ciascuna sufficiente per il normale servizio- per una potenza oraria di 150 HP. Un compressore, alimentato da una motrice a vapore ad asse verticale, era al

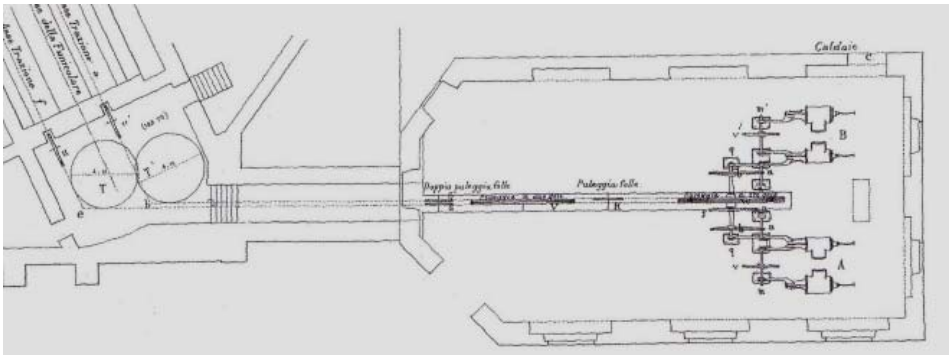


Fig. 4 - La disposizione delle motrici a vapore ed il percorso della fune

servizio del freno Westinghouse. Al collaudo[8] erano in servizio due motori a doppia espansione e distribuzione a cassetto, di costruzione Hescher Weiss, per la potenza effettiva di 150 HP ciascuno; i due cilindri avevano un diametro di 565 mm quello ad alta pressione, di 770 mm quello a bassa con una corsa comune di 800 mm; essi mettevano in moto una puleggia motrice a tre gole da 6300 mm.

Sull'allineamento di questa v'era altra puleggia a due gole, da 6300 mm, su cui nuovamente s'avvolgeva la fune; di qui, percorrendo un cunicolo sotterraneo, essa imboccava due pulegge suborizzontali di deviazione da 2150 mm per agganciarsi ai treni.

Nei primi anni i viaggiatori erano infastiditi dal moto irregolare del convoglio con frequenti strattoni alla fune. Sull'argomento, in una sgangherata lettera[9] del 27 dicembre 1889 avente per oggetto "*Modificazioni ed aggiunte consigliate dall'esperienza*", il Circolo Ferroviario di Napoli suggerisce alcuni correttivi, fra i quali, la soppressione dell'espansione compound e l'adozione di cilindri gemelli, la modifica delle pulegge di rinvio in sala macchine e lungo il cunicolo per diminuire le frecce delle catenarie, la chiusura verso il basso dell'anello di trazione, un dispositivo automatico per recuperare l'allungamento della fune.

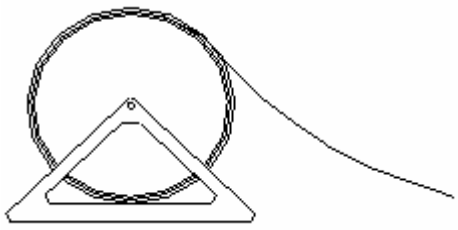
La fune

Diversa da quelle attuali -cordatura Seales ed anima tessile- la fune era costituita da 6 trefoli periferici, ognuno con 19 fili, e da un'anima centrale con 12 fili in acciaio dolce. Nei giorni 22 e 26 novembre 1890, su quella in servizio alla funicolare di Chiaia, si verificò qualche inconveniente. La Prefettura, allora, dispose un'inchiesta; d'accordo col Circolo Ferroviario di Napoli, si portarono a prova le funi in servizio e quelle a piè d'opera. Fu calcolato un tiro massimo di 10.735 kg contro una resistenza media a rottura di 109.060 kg, determinata presso il Cantiere di Castellammare di Stabia: potevano essere adoperate con ogni sicurezza.

A Montesanto, nei primi due anni di esercizio, fu sostituita la fune per ben

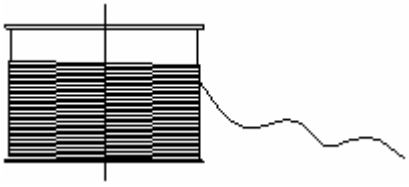
tre volte. Alle rimostranze della Tiberina (1893) i costruttori[10], W. B. Brown e C, così risposero da Liverpool:

«*En déroulant le câble on devait placer la bobine sur un essieu de soste qu'il tournerait comme on y tirait le câble, et le câble doit être monté sur une charpente comme suit:*



Si on avait pris cette précaution il n'y aurait aucune possibilité à faire le bosses ou les ondulations.

Nous pensons qu'au lieu de traiter le câble proprement on a placé la bobine sur le coté et ôte le câble rouleau après rouleau qui le causera à apparaître comme suit:»



L'esercizio

Dopo la liquidazione della Banca Tiberina, la Società delle Ferrovie del Vomero, era divenuta la concessionaria delle due funicolare di Chiaia e Montesanto". Al[11] vertice della struttura operativa v'era il Direttore, incaricato dell'alta sorveglianza dell'esercizio e della rappresentanza aziendale; alle sue dipendenze un capo servizio, responsabile dell'attività delle due funicolari. Un macchinista abilitato assumeva, per ognuno dei due impianti, la completa responsabilità della trazione; alle sue dipendenze operavano un fuochista ed un verificatore, presente quest'ultimo nel locale macchina quale responsabile dei veicoli, della fune, dei rulli nonché della conduttura del freno Westinghouse.

Limitatamente alla circolazione dei treni, il macchinista dipendeva dalla vedetta, appostata in un gabbiotto situato alla sommità della via di corsa.

La trazione, come si fa ancora oggi, era affidata ad un solo motore, che veniva collegato alla puleggia motrice mediante un giunto meccanico escludendo l'altro motore, lasciato di riserva. Durante il servizio, prima d'ogni partenza, il macchinista, ricevuta notizia dal personale di scorta, tramite un portavoce, del numero di viaggiatori in vettura, regolava l'ammissione del vapore nei cilindri per ottenere una partenza senza strappi; l'arresto nelle stazioni, invece, era modulato riducendo gradualmente la pressione dei cilindri motori e ciò anche per limitare il consumo di aria compressa. Al fermo, portando la manetta dell'impianto Westinghouse nella posizione neutra, i treni restavano efficacemente trattenuti.

Nella sala macchine v'era un quadro indicatore con lo schema planimetrico della linea su cui, mossi dall'asse della grande puleggia di rinvio, scorrevano due cursori rappresentanti i treni.

L'arresto alle fermate era oggetto di minuziose prescrizioni del regolamento d'esercizio, trattandosi di una manovra

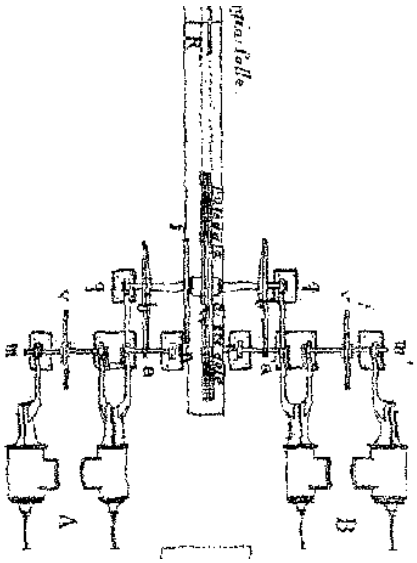


Fig. 7 – Disposizione delle motrici

che nasconde tutte le tipiche insidie delle operazioni ripetitive.

Esso doveva essere ripetutamente attuato con grande precisione presentando i convogli nella giusta posizione al fianco delle banchine, per rendere sicuri imbarco e sbarco dei viaggiatori. Bisognava inoltre evitare che, alle banchine di estremità, il convoglio oltrepassasse il termine della linea azionando il dispositivo di inversione della marcia che avrebbe automaticamente avviato la macchina al contrario.

Per affiancare esattamente i veicoli alle gradonate d'imbarco v'era un'altra graduazione, riportata sulla periferia della puleggia motrice, con tacche distanti circa 1 m; su una lavagna era indicato il numero della divisione del volano su cui doveva fermarsi un indice mobile assicurando l'esatto posizionamento del convoglio. Una suoneria d'attenti, automaticamente azionata dagli indici del quadro indicatore, avvertiva quando i treni si trovavano a 20 metri dal punto di fermata stabilito, consentendo al macchinista di arrestare i convogli senza scosse.

I freni

In quegli anni, per la maggior parte dei casi, la richiesta di occasionale fermata proveniva dal cantoniere che percorreva a piedi la linea o dagli agenti di scorta al treno.

Essi potevano richiedere la frenata facendo squillare le suonerie di allarme nella postazione di sommità occupata dalla vedetta e nella sala argani, collegando, con una spazzola metallica, due conduttori nudi b.t. che correvano a fianco dei binari.

Per evenienze del genere si utilizzavano, di regola, i freni di servizio (cd freni sugli alberi veloci), costituiti da pulegge da 3500 mm avvolte da nastri d'acciaio che venivano messi in tensione mediante l'impianto Westinghouse.

Il rubinetto del macchinista era replicato nella cabina della vedetta; ad ogni azionamento, un'apposita valvola situata in sala macchine bloccava l'accesso del vapore nei cassetti evitando che il motore lavorasse contro il freno.

Le due funicolari furono fra le prime a montare freni d'emergenza (cd freni di vettura o di rotaia)[12] idonei ad inchiodare automaticamente i veicoli alle rotaie in caso di rottura della fune o per un suo allentamento.

Una ruota dentata folle ingranava con una cremagliera tipo Abt montata in asse

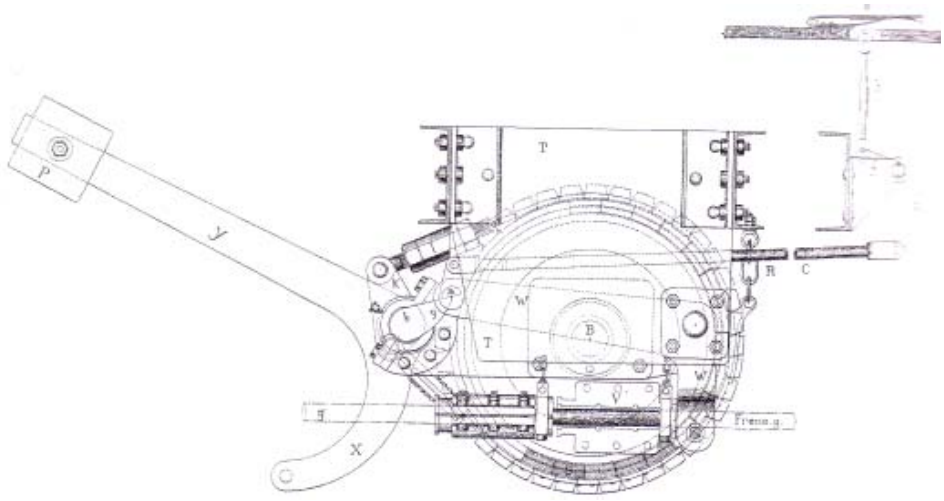


Fig. 8 – Il freno d'emergenza

ai binari; quando il tiro della fune fosse sceso al disotto di un valore prefissato, si sarebbe abbassato un contrappeso collegato all'estremità d'una leva che azionava un freno a nastro coassiale alla ruota dentata; un meccanismo molto pesante, troppo energico se funzionante in discesa e non moderabile. Peraltro quando il contrappeso si abbassava bisognava riarmare manualmente mandando personale in linea.

Su tali freni il direttore d'esercizio, ingegner Augusto Galimberti, così esprimeva alcune acute obiezioni:

"I due freni Abt[13] *non corrispondono allo scopo, per la debolezza della dentiera e di essi il freno a comando è un elemento di pericolo e non di sicurezza. Insistere sull'insufficienza assoluta della dentiera è cosa superflua; essa è purtroppo pericolosamente documentata negli atti litigiosi ed altri ai quali ha dato luogo la costruzione e l'esercizio delle funicolari, nonché dei guasti successi in varie occasioni; l'esame, anche superficiale, per non dir altro, degli attacchi e dei giunti ne dà la immediata persuasione. Il freno Abt a comando è poi un elemento di pericolo grave, se si fa funzionare sul treno in discesa, gravissimo se si fa funzionare sul treno in salita; né alcuno si è mai attentato di assumersi la responsabilità di farne l'esperimento. Si avrebbe nel primo caso scarrucolamento con conseguenze imprevedibili, nel secondo caso rottura o strappo della fune e guasto al macchinario."*

Alla fine, ci si limitò a raddoppiare la dentiera ed irrobustirne gli attacchi.

Nulla invece fu fatto, invece, per ottenere il graduale arresto dell' argano; era palese che si confidava nella ormai prossima elettrificazione della macchina (1901) per un diverso governo della marcia.

Passeranno molti anni prima di giungere alle versioni attuali del freno di vettura che agiscono tramite morse idrauliche sui fianchi e sui piani di steccatura delle rotaie, eliminando dentiere, ingranaggi e contrappesi; dopo ogni intervento – oggi avviene molto di rado - il riarmo è automatico. Inoltre, gli attuali circuiti di sicurezza rilevano e trasmettono istantaneamente alla apparecchiatura di marcia la situazione dei veicoli, procurando l'immediato fermo dell'argano ed evitando alla radice tutto quanto preoccupava l'ingegner Galimberti.

La normativa

Quando il Comune inoltrò il progetto alla Prefettura, il Consiglio di Stato obiettò che "*non poteva aderire alla concessione delle sopraccitate funicolari per l'altipiano del Vomero, fino a che la relativa domanda al Governo non venisse riformata in guisa che sia lo Stato concedente non già il Municipio, al quale si consentiva solo di essere il concessionario con facoltà di trasmettere ad altri la concessione ottenuta.*"[14]

L'obiezione fu accolta e, col Regio Decreto 19 settembre 1886, fu approvata la convenzione stipulata il 4 settembre 1886 fra Governo e Comune; erano intervenuti nella stipula il Comm. Francesco Genala, Ministro dei Lavori Pubblici, ed il Comm. Agostino Magliani, Ministro delle Finanze; per il Municipio il Sindaco, Comm. Nicola Amore.

Tutto veniva riportato sotto il competente controllo della pubblica amministrazione. Ciascuno per la sua parte: gli Uffici Municipali per quel che riguardava il servizio, l'autorità governativa -Regio Ispettorato Generale delle Strade Ferrate, allora presso il Ministero dei Lavori Pubblici- per la parte tecnica.

Non v'era ancora l'esercizio di Stato delle Ferrovie e le linee ferroviarie erano gestite da Compagnie private per cui il Regio Ispettorato - l'attuale Direzione Generale della Motorizzazione Civile e dei Trasporti in Concessione - era gravato della sorveglianza sull'intera rete ferroviaria nazionale; si è perciò adoperato il termine Circolo Ferroviario o Circolo, come s'usava allora, per indicare l'equivalente dell'attuale Ufficio Provinciale MCTC.

La vigilanza veniva esercitata assiduamente, con le medesime procedure di oggi, salvo il fatto che nelle varie Commissioni istituite di volta in volta venivano inseriti anche funzionari del Genio Civile; la funzione ispettiva veniva esercitata con assiduità e - talvolta - con piglio arrogante:

...."questo Ufficio non può accettare l'apprezzamento di V.a S.a On.le circa il Decreto medesimo, che essendo un atto dell'autorità imperante e non dell'autorità contraente come questione di dare ed avere non può mettersi in discussione e deve accettarsi nella dizione come venne emanato"[15].

La costruzione dei due impianti avvenne prima di ogni inquadramento normativo del settore e si esaurì, per quanto possibile, nell'ambito delle disposizioni riguardanti le strade ferrate e così i progetti passarono al vaglio del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e vennero approvati con Decreto Ministeriale.

Da esperienze, successi ed inadeguatezze di quelle prime costruzioni cominciò a formarsi uno specifico quadro legislativo del settore che prende origine dal TU 1447 del 1912 il quale, approvando le disposizioni di legge riguardanti ferrovie concesse, tranvie ed automobili, assimila di fatto gli impianti a fune -mai però citati in quel testo- alle ferrovie e tranvie.

Una ulteriore tappa nella sistemazione normativa del settore è costituita dall'avvio, nel 1923, primo presidente il Professor Camillo Guidi, della preziosa attività della Commissione per le Funicolari Aeree e Terrestri (FAT), organo nazionale di consulenza obbligatoria del settore.

L'esperienza tecnica maturata nella costruzione e nell'esercizio delle prime funicolari, consegnata agli atti dei Circoli Ferroviari prima e degli Uffici Provinciali poi, la maturazione produttiva acquisita dai costruttori, i contributi teorici riportati in numerosi testi e riviste nonché le indicazioni dei deliberati FAT trovarono una prima espressione e sistemazione nel regolamento approvato con DM 15 maggio 1929 riguardante appunto l'impianto e l'esercizio delle funicolari terrestri, in cui si scorge puntuale traccia e risposta a problemi e difficoltà che tormentarono i pionieri costruttori ed esercenti dei primi impianti.

Questo ampio patrimonio di conoscenze ed esperienze maturate sul piano tecnico, gestionale e normativo a cavallo del '900, sono valse ad aprire la via ad una seconda generazione di impianti caratterizzata da dispositivi elettromeccanici volti a regolare e rendere sicura la marcia dei veicoli.

La Funicolare Centrale di Napoli, costruita nel primo dopoguerra, rappresenta una delle realizzazione più brillanti di questa seconda generazione.

Negli impianti più recenti, il governo della marcia è ormai affidato ad un programma di marcia che, in base della istantanea conoscenza dell'esatta posizione dei convogli e di tutti i parametri che riguardano la sicurezza, l'apparecchiatura e l'argano, modula automaticamente ed in continuità la velocità dei treni, le fermate d'emergenza e quelle occasionali.

Bibliografia

ATAN – Monografia illustrativa della funicolare di Montesanto – 1984

Regolamento d'esercizio delle Funicolari al Vomero, Civelli – Napoli 1895,

F. OGLIARI E G. CORNOLÒ, *Si viaggia… anche all'insù,* Milano, Areopago, 2004,

P. D'ARMINI – *Elementi di progetto per impianti a fune,* Roma, ESA, 1981,

A. MAFFEZZOLI, *Elementi di calcolo delle funivie in servizio pubblico,* Napoli, Pellerano, 1931.

P. FERRETTI – *Meccanica delle macchine* – Napoli, Liguori, 1956.

G. ALISIO, Il Vomero, Napoli, Electa Napoli 1994, pp. 34-35

[1] F. Ogliari e G. Cornolò,: *Si viaggia… anche all'insù*, – Areopago, Milano, 2004

[2] *Ibidem* .

[3] La maggior parte di quanto riguarda la costruzione e l'esercizio proviene dall'archivio delle Società delle Ferrovie del Vomero in cui è confluita gran parte della documentazione e della corrispondenza ereditata dalla Banca Tiberina, costruttrice degli impianti.

[4] Officine Nazionali di Savigliano a Banca Tiberina – lettera del 14 giugno 1890.

[5] Giancarlo Alisio, *Il Vomero* – Electa, 1987 – pag.35

[6] F. Ogliari e G. Cornolò,: *Si viaggia*, ...,p. 20

[7] Cfr il fascicolo *ATAN – Monografia illustrativa della funicolare di Montesanto* a circolazione interna – aprile 1984 edito in occasione dell'ammodernamento. In particolare, cfr l'introduzione, non sottoscritta, ma dovuta all'ingegner Salvatore Sasso.

[8] Ispettorato Generale delle Strade Ferrate – Ferrovie di Montesanto e Chiaia – verbale della visita di collaudo 18, 19, 28 ottobre 1897.

[9] Circolo di Napoli a Banca Tiberina del 27 dicembre 1989.

[10] W.B.Brown e C. a Banca Tiberina del 18 marzo 1893,

[11] Per tutto quanto riguarda l'organizzazione dell'esercizio, l'organigramma, le mansioni dei vari addetti, si rimanda al *Regolamento d'esercizio delle Funicolari al Vomero* – Napoli, Civelli, 1895. Per molti aspetti riguardanti il funzionamento delle macchine ho fatto riferimento ad informazioni fornitemi dal capo tecnico Raffaele Matassa, una vera enciclopedia delle vecchie funicolari.

[12] P. Ferretti – Meccanica delle macchine – Napoli, Liguori, 1956. pag. 367 e seguenti riguardanti la frenatura sulle rotaie.

[13] Relazione del Direttore d'esercizio ing. A. Galimberti al Consiglio d'amministrazione – novembre 1998; le obiezioni riguardano il pericolo insito in una frenatura dalla vettura che non sia affiancata da una tempestiva fermata dell'argano; uno delle possibili conseguenze,molto pericolosa, riguarda l'azzeramento del tiro nella fune (cd cordamolle); l'argomento è dibattuto a fondo in un mio manoscritto riguardante un episodio accaduto durante il montaggio del nuovo macchinario alla Funicolare Centrale.

[14] L'obiezione ministeriale è legata alla mancanza, in quel momento, d'una Legge che consentisse la titolarità d'una ferrovia locale ad un soggetto diverso dallo Stato; restava quindi obbligatorio il riferimento alla Legge fondamentale sui Lavori Pubblici. Inoltre non v'era ancora alcuna normativa specifica per gli impianti a fune che venivano accomunati alle ferrovie. Né v'era un ministero per i trasporti che restavano nell'ambito del Ministero dei Lavori Pubblici; il Ministero delle Comunicazioni sarà istituito in seguito.

[15] Circolo di Napoli a Banca Tiberina - 24 settembre 1898

VALENTINA RUSSO

Alle radici di una difficile coesistenza nella città stratificata: elaborazioni e progetti per la Funicolare Centrale e il cinema-teatro Augusteo in Napoli

A valle di numerose proposte incentrate sulla necessità di un più rapido collegamento tra il centro cittadino e le pendici collinari[1], la realizzazione della Funicolare Centrale di Napoli segna una tappa significativa nel panorama edilizio ed urbanistico partenopeo tra le due guerre in relazione, da un lato, alle modalità di confronto e di intervento nel tessuto storicamente stratificato e, dall'altro, riguardo al complesso intreccio instauratosi tra sapere ingegneristico e cultura architettonica[2]. Il progetto, giustificato dalla repentina crescita demografica del "Vomero Nuovo" e, di conseguenza, dal dover favorire sempre maggiori flussi di cittadini dalle zone residenziali verso il centro degli affari e viceversa[3], interesserà brani di città assolutamente disomogenei tra loro per epoca di impianto e caratteri ambientali, passando dal fitto tessuto urbano dei Quartieri Spagnoli ad aree la cui urbanizzazione appariva appena avviata o, come nel caso del Petraio, in via di programmazione in sede comunale. I poli estremi di delimitazione dell'intervento, coincidenti a monte con i lotti ancora liberi in corrispondenza dell'attuale piazza Fuga ed a valle con una maglia urbana tipologicamente molto caratterizzata lungo via Toledo, diverranno, a differenza delle stazioni intermedie, luoghi di ricerca di un linguaggio architettonico in grado di "attutire" la presenza del nuovo impianto nel contesto, senza, per questo, trascurarne la riconoscibilità.

Accanto alla collocazione spaziale, qualche riflessione occorre fare in riferimento alla collocazione temporale dell'opera, tenuto conto delle vicende politico-amministrative che segnano il terzo decennio del Novecento napoletano[4]: proposto, come si vedrà, dal 1921 e concluso nel 1929, l'intervento precederà, nella sua ideazione, l'insediamento ufficiale dell'Alto Commissariato per la città e provincia di Napoli, databile all'agosto del 1925, e vedrà la sua conclusione in un momento in cui la macchina amministrativa del regime, attraverso l'Alto Commissario, appare ormai in piena attività[5]. Il passaggio politico cui si assiste in città si rifletterà identicamente sulle tappe del progetto in esame, rallentato nella fase iniziale e portato a termine in tempi brevissimi proprio a partire dal '25. A quanto sopra occorre accostare una latente presenza, nelle soluzioni adottate per la stazione a valle della Terza Funicolare, delle ipotesi di Piano formulate, come è noto proprio tra il '25 e il '26, dall'*équipe*

presieduta da Gustavo Giovannoni, le cui proposte, rimaste su carta, appaiono indirettamente correlabili a quanto effettuato lungo l'asse di via Toledo[6]. Ci si riferisce, in particolare, all'idea avanzata dalla commissione Giovannoni di un raddoppio del collegamento nord-sud mediante l'allargamento di via Speranzella, parallela a via Toledo, e di vico d'Afflitto, nello studio di Piano portato a corrispondere dimensionalmente con via Santa Brigida[7]. L'insieme di queste ipotesi tese al potenziamento del ruolo urbano conferito a tale parte del centro cittadino, unitamente all'intenzione di procedere, come si legge nella *Relazione* di Piano, piuttosto che mediante sventramenti, attraverso "un diradamento da applicarsi gradualmente con metodico programma"[8], appaiono contenute *in nuce*, fino a concretizzarsi lungo via Toledo nel progetto della Terza Funicolare, occasione propizia per la costruzione, oltre al moderno impianto, di un polo multifunzionale nel centro pulsante della città.

L'idea di ottenere una rapida comunicazione con le zone collinari, possibile solo superando le barriere orografiche e del costruito esistente, è ascrivibile alle figure di Giovan Battista Comencini, udinese di nascita ma "professionalmente" napoletano[9], e di Nicola Daspuro, giornalista e librettista leccese[10]. Questi ultimi, con imprenditoriale lungimiranza, presenteranno all'amministrazione comunale nel febbraio del 1921 un'ipotesi di attraversamento della collina mediante lo scavo di gallerie nel tufo, superando un dislivello complessivo di 170 metri per un percorso totale di 1290 metri. Il sito di partenza del nuovo collegamento ferrato lungo via Toledo era stato, in realtà, oggetto già in precedenza di ipotesi progettuali da parte dei medesimi Comencini e Daspuro in occasione della presentazione agli organi competenti nel 1917 di *Chiaja Nova*; idea, quest'ultima, tesa al congiungimento del centro degli affari con via Chiaia e piazza dei Martiri mediante una strada dall'andamento curvo ed un traforo nella collina[11]. Lo sviluppo della prima e l'imbocco del secondo erano stati pensati in corrispondenza della parte bassa di vico d'Afflitto, notevolmente allargato e dotato di edifici porticati in sostituzione degli esistenti su entrambi i lati. Benché adottata nel 1919, tale ipotesi rimarrà inattuata e costituirà, nelle elaborazioni successive per la Terza Funicolare, un antecedente significativo nel ridisegno dei lotti compresi tra palazzo Berio e via Santa Brigida.

Approvato, dunque, il progetto Comencini-Daspuro per la Funicolare Centrale nell'agosto del 1921[12], l'idea di massima sarà sviluppata tecnicamente e finanziariamente da Comencini medesimo, affiancato dal socio ed ingegnere Guido Milone[13], ed esibita nuovamente in sede comunale nel gennaio del '22 da Luigi De Conciliis e Nicola Daspuro, entrambi in veste di imprenditori. Passato al vaglio della Commissione edilizia e del Consiglio tecnico, il testo definitivo della convenzione tra i privati ed il Comune, unitamente ad uno schema di contratto per la concessione ed esercizio della Funicolare, sarà approvato

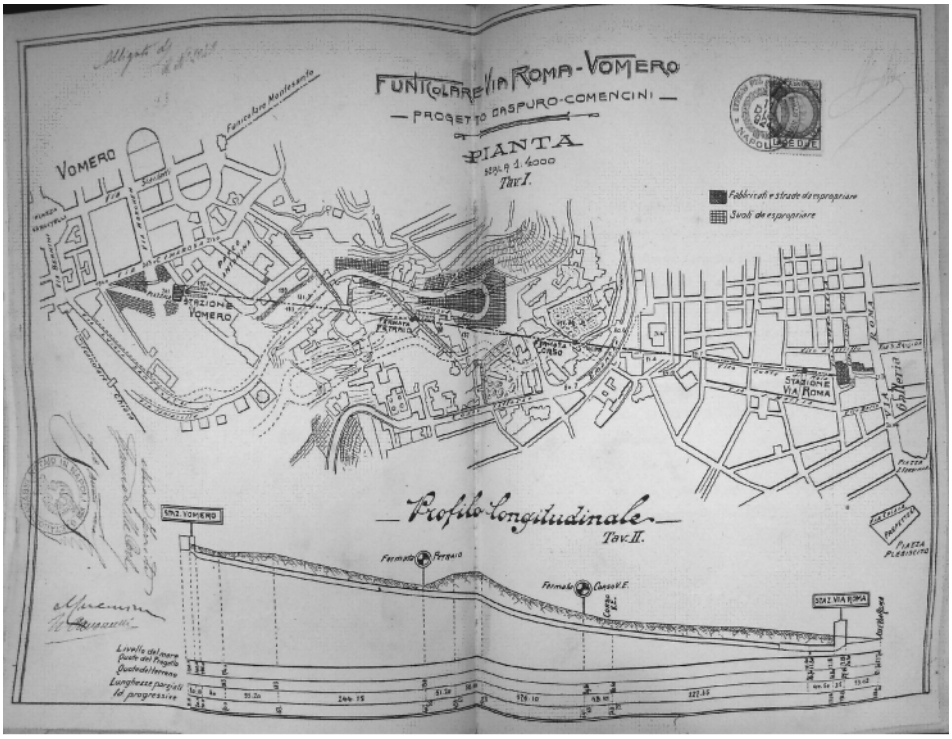


Fig. 1 - Progetto di G. B. Comencini e N. Daspuro presentato al Comune di Napoli nel 1921 (ANNa)

dalla Giunta comunale tra il novembre ed il dicembre del 1922. Adottato in sede locale, il progetto verrà confermato nella sua realizzabilità con Regio Decreto n. 226 del 1924; decreto con il quale saranno concessi non più di tre anni al Comune di Napoli per l'esecuzione dei lavori e per condurre le espropriazioni necessarie. *Conditio sine qua non* imposta dall'ente locale per la realizzazione dell'opera sarà la costituzione di una società concessionaria per la costruzione ed esercizio dell'impianto. Con tali premesse nascerà, pertanto, la Società Anonima Funicolare Centrale, costituita a Roma nel novembre del 1924 e composta, *in primis*, dalla Banca Nazionale di Credito e, quindi, da sette imprenditori romani, oltre ai già citati Luigi De Conciliis e Nicola Daspuro. La convenzione stipulata tra il Comune e la Società (11 dicembre 1924) confermerà i vincoli temporali imposti a livello governativo, con la clausola di avvio dei lavori entro sei mesi e chiusura degli stessi entro tre anni.

Lo studio di un inedito *corpus* di disegni appartenenti alla suddetta Società[14], unitamente al rinvenimento del progetto di Comencini e Daspuro (Fig. 1), mettono in rilievo l'esistenza di una prima ipotesi progettuale intorno alla quale si ragionerà negli anni citati, architettonicamente difforme da quanto in



Fig. 2 - Napoli, quartiere San Ferdinando (partic.). Foglio catastale (1895) (da G. Alisio, A. Buccaro, Napoli millenovecento, Napoli, Electa Napoli, 1999, p. 71)

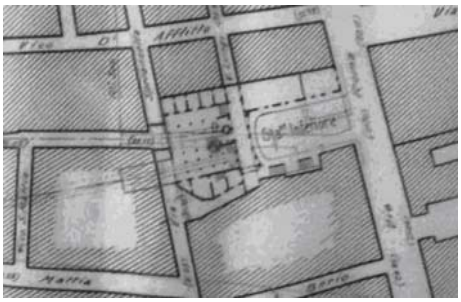


Fig. 3 - La planimetria della stazione inferiore della Funicolare nel progetto del 1922 ed approvato nel 1924 (Archivio S.A.Fu.Ce.)

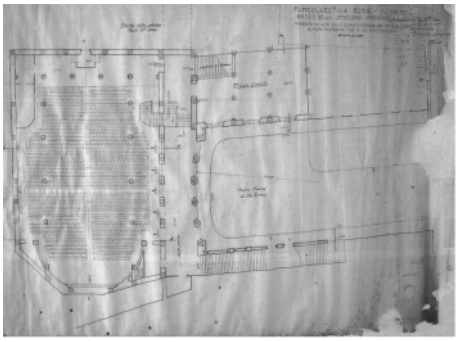


Fig. 4 - Pianta del cinematografo previsto superiormente alla stazione alla quota della platea. Si noti il passaggio coperto sul lato destro, prospiciente la "Nuova Piazza di via Roma" e raggiungibile mediante una lunga scalinata (Archivio S.A.Fu.Ce.)

seguito realizzato sia a monte che a valle. Frutto dell'elaborazione tecnica di Comencini e Milone, la proposta del 1924 si articolerà, riguardo, in particolare, alla stazione inferiore nel disegno di due corpi di fabbrica ortogonali e separati da una prosecuzione "costruita" di vico Lungo Gelso; quest'ultimo, corrispondente nella parte verso la stazione ad un passaggio aperto, si troverà, pertanto, ad essere sollevato rispetto al piano dello slargo di circa dieci metri e, dunque, ad essere raggiungibile mediante una scalinata.

Tale soluzione, incidente nel tessuto edilizio preesistente (Fig. 2) attraverso la definizione di una "piazzetta" in lieve pendenza, risultante da espropri e demolizioni, costituirà l'antecedente diretto di quanto realizzato a partire dal 1925 solo in relazione alle scelte funzionali relative alla stazione, alle parti destinate allo svago - la sala cinematografica, in particolare - ed a quelle adibite al lavoro con gli "studi commerciali". Ben diversa dall'esito finale appare, inoltre, l'organizzazione planimetrica e distributiva delle singole parti; sottoposta al piano stradale, la stazione della Funicolare (Fig. 3) è contenuta, difatti, in un rettangolo scandito da una maglia di pilastri ed è preceduta dal portico, corrispondente al vico Lungo Gelso, aggettante verso lo slargo. Analogamente difforme rispetto a quanto poi effettuato è il disegno del cinematografo (Fig. 4), disposto con l'asse maggiore parallelo a via Roma e concluso nella parte verso i Gradoni Conte di Mola da un fondale concavo.

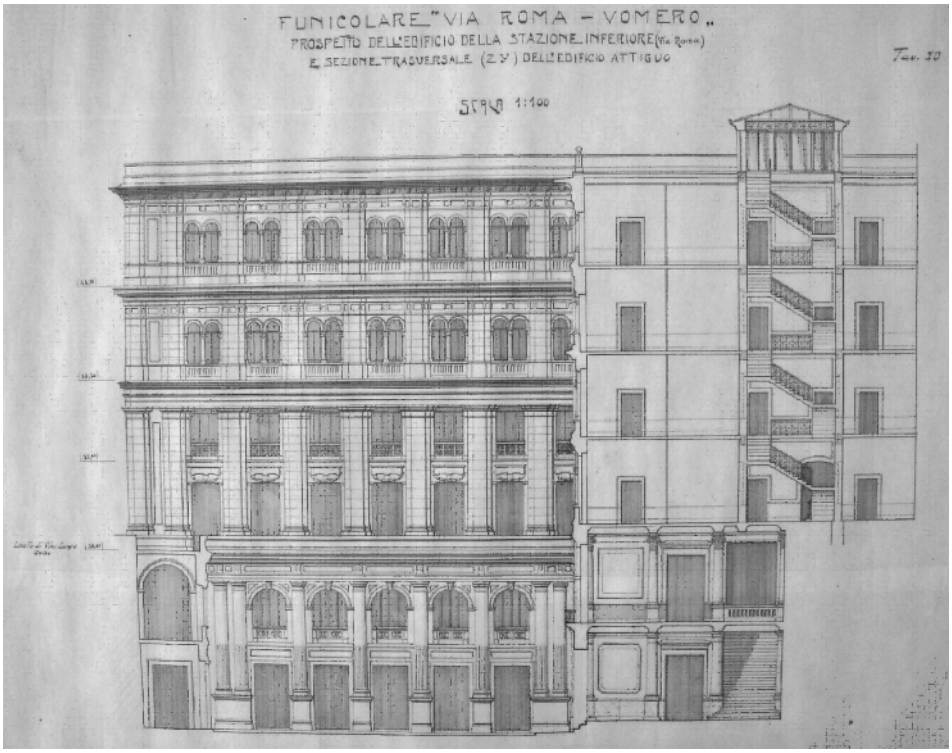


Fig. 5 - Il prospetto della stazione inferiore nel progetto di Comencini e Milone. Nessuna corrispondenza è ravvisabile tra le funzioni interne ed il disegno della quinta esterna (Archivio S.A.Fu.Ce.).

Le quinte verso lo slargo costituiscono per i tecnici coinvolti il luogo privilegiato in cui sperimentare le infinite possibilità espressive fornite dalla città "conforme"[15]. I due corpi ortogonali, entrambi articolati in sei livelli, vengono trattati in maniera assolutamente autonoma accostando stili ed elementi decorativi appartenenti ad epoche e contesti lontani nel tempo e nello spazio. La facciata di accesso alla stazione appare preceduta dal "portico-strada" lievemente concavo, teso a fare da sfondo al nuovo slargo per accogliere, con la sua forma, i rapidi flussi di pedoni (Fig. 5). L'ordine gigante delle colonne del portico, racchiudenti i pilastri in cemento all'interno, si ripropone nei due livelli superiori corrispondenti alla tribuna del cinema e ad un primo livello di "studi". La facciata viene, infine, conclusa da un doppio ordine di bifore, ben poco aderenti al *genius loci* partenopeo.

Il fronte ortogonale (Fig. 6), coincidente con l'accesso al cinematografo, si discosta con evidenza sia fisicamente che compositivamente dalla facciata di accesso alla stazione: all'assenza di corrispondenze negli allineamenti dei diversi ordini, si aggiunge il ricorso ad

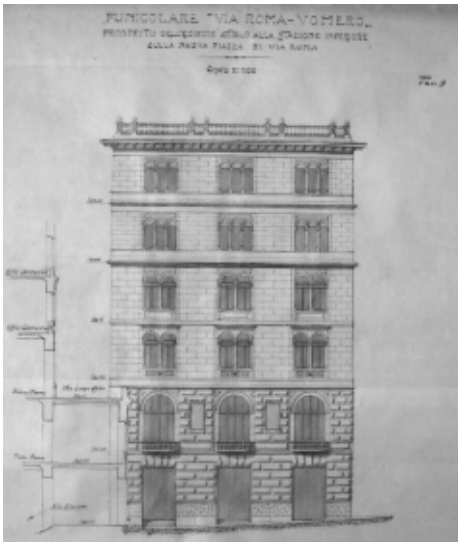


Fig. 6 - Il prospetto laterale alla stazione della Funicolare Centrale con l'accesso al cinematografo (Archivio S.A.Fu.Ce.)

un repertorio stilistico che passa con disinvoltura dal trattamento "rustico" del basamento ad un bugnato neomanierista nei primi due livelli, quindi ad una successione di due ordini di bifore per alleggerirsi agli ultimi due piani con trifore neogotiche. Passando liberamente dal Trecento al Seicento, dal Veneto a Roma, nessun riferimento al linguaggio delle fabbriche all'intorno - il settecentesco palazzo Berio, tra tutte - è ravvisabile nell'idea di Comencini e Milone.

L'interno della sala cinematografica, ricostruibile da una sezione trasversale compresa tra via Speranzella e la "Nuova Piazza di via Roma" (Fig. 7), denota una ricerca di equilibrio tra i mezzi forniti dalla tecnica "moderna" ed un lin-

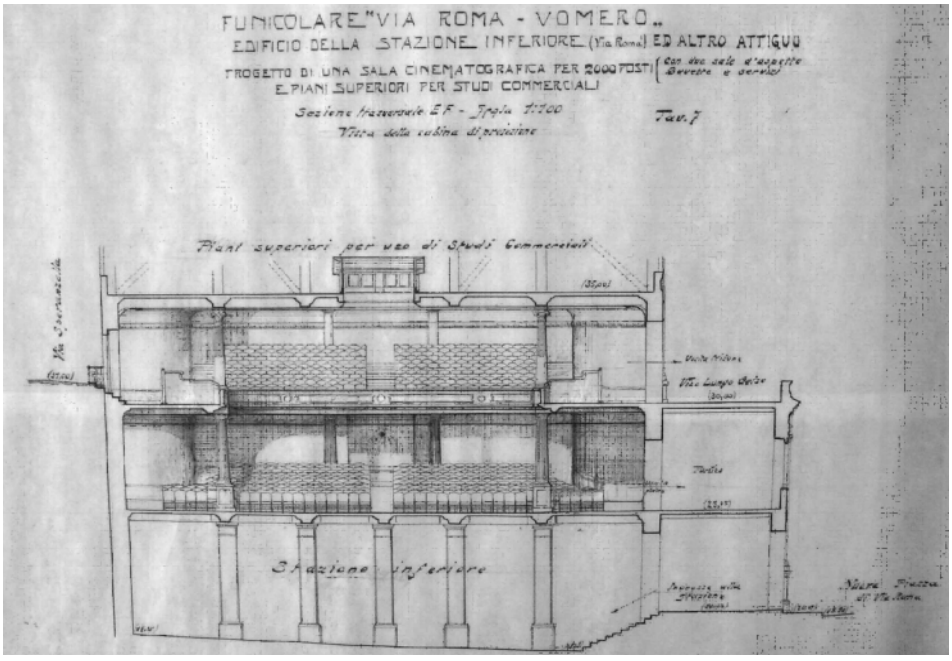


Fig. 7 - Sezione trasvesale della stazione e del cinematografo, nella soluzione approvata nel 1924. In alto è tratteggiata una struttura di copertura della sala, ancora da sviluppare tecnicamente (Archivio S.A.Fu.Ce.)

guaggio architettonico il cui "decoro" appaia consono alla funzione ospitata. Al sobrio disegno della stazione inferiore segue nel cinema un'articolazione dello spazio sui due livelli della platea e della tribuna - quest'ultima aperta verso il "nuovo" vico Lungo Gelso - scanditi da colonne rispettivamente di ordine dorico e corinzio; un lungo lucernario corre longitudinalmente alla sala e corrisponde, nell'imposta, al primo piano degli "studi". È in questi ultimi che il ricorso alle possibilità fornite dall'ingegneria emerge con forza (Fig. 8): pilastri isolati scaricano in falso sulla copertura della sala sottostante e sono collegati da puntoni inclinati contenuti nelle tramezzature di spina. Gli undici "studi" previsti a ciascun livello variano nelle dimensioni e nell'organizzazione planimetrica; tutti, in ogni caso, si aprono verso una corte centrale, segnata dal volume del lungo lucernario del cinematografo.

Con la morte di Comencini nel 1924 e con l'elaborazione degli esecutivi durante i primi mesi dell'anno successivo, il progetto già approvato vedrà significative modifiche sia nelle piante che nei corrispondenti alzati. Ad un'ideazione tutta "napoletana" della prima fase seguirà un percorso operativo influenzato, per la sistemazione lungo via Toledo, direttamente dall'ambiente professionale della Capitale; la società concessionaria, di formazione e sede principale in Roma, si servirà, pertanto, di tecnici appartenenti al medesimo ambito, tra i quali risalta, come già evidenziato in precedenti contributi[16], la figura di

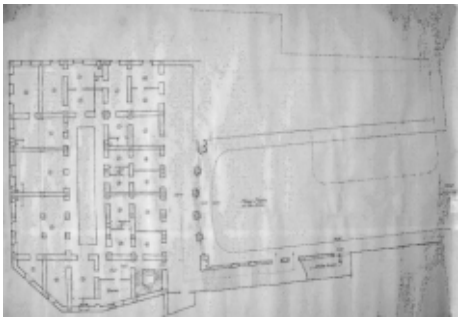


Fig. 8 - Pianta degli "studi commerciali" previsti agli ultimi tre livelli dell'edificio della Funicolare. Si noti la struttura puntuale in cemento, mascherata nelle partizioni interne e nelle murature perimetrali (Archivio S.A.Fu.Ce.)

Arnaldo Foschini (Fig. 12). Analogamente, l'esecuzione della stazione come del cinema si dovrà ad imprese romane sia per le parti strutturali sia per quelle decorative. L'eclettismo stilistico del primo progetto lascerà il posto, fino al 1929, al conferimento di un significato più unitario alle due nuove quinte prospettanti sulla "piazzetta", pur tralasciando qualsiasi dialogo con il fronte laterale di palazzo Berio, ridisegnato a seguito delle demolizioni.

In modo simile a quanto presente nelle prime soluzioni, anche il progetto eseguito mostrerà una palese scissione tra ricerca formale e sperimentazione tecnica. Alle spalle di neomaneristici prospetti segnati da intonaci trattati in modo "rustico" - dal bugnato delle aperture alle picchettature dei campi lisci superiori - si svilupperanno opere ardite entro e fuori terra (Fig. 9). La costruzione della lunga galleria sottostante gli edifici dei Quartieri Spagnoli e, accanto ad essa, la realizzazione di una

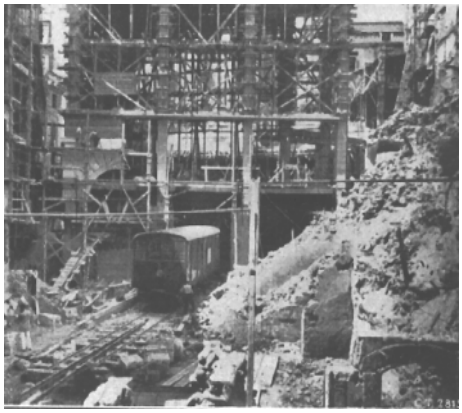


Fig. 9 - Il cantiere di completamento della facciata della stazione in una foto del 3 agosto 1928. Si distinguono la struttura in c.a. ed un iniziale rivestimento con archi a finto bugnato (da La Funicolare Centrale, cit., p. 7)



Fig. 10 - Napoli, piazzetta Duca d'Aosta. Le parti cui viene conferito maggior risalto nel progetto di Foschini corrispondono all'accesso alla Funicolare mentre un trattamento piuttosto indifferenziato è riservato ai fronti del cinematografo e degli "studi"



Fig. 11 - La quinta su piazzetta Duca d'Aosta, inaugurata nell'ottobre del 1928. Il disegno di Foschini appare semplificato nella parte centrale con l'assenza del balcone entro la nicchia. Un coronamento segnato dal fascio e cavallo littorio conclude la facciata (da La Funicolare Centrale, cit., p. 5)

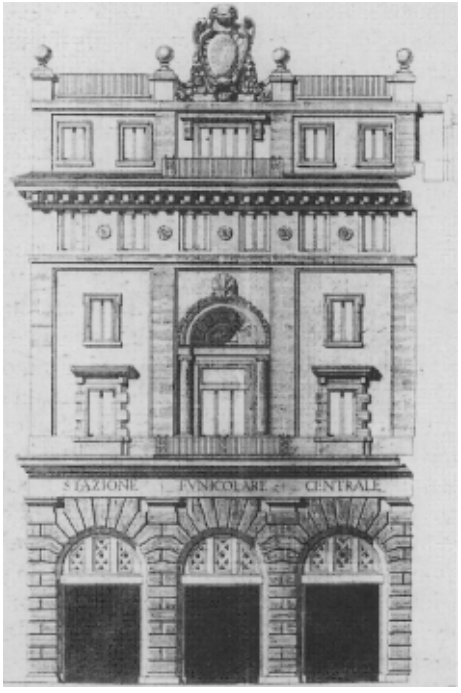


Fig. 12 - A. Foschini, prospetto di accesso alla stazione della Funicolare (da L'architettura, cit., p. 40)

sala per il pubblico - il cinema-teatro Augusteo - dal diametro di circa trenta metri richiameranno in città competenze più aggiornate nell'impiego del cemento armato, dalla Ferrobeton per il traforo alla romana società di ingegneria di un giovane Pier Luigi Nervi per la stazione ed il cinema[17]. Una simile importazione di linguaggi e, dunque, figure professionali non mancherà di generare critiche verso l'opera; tra tutte, quella di Camillo Guerra che nel 1928 guarderà al prospetto concluso della stazione (Fig. 11) sottolineando come "con inconsapevole ardimento si è portato di peso un mastodontico edificio di architettura rustica del 600 romano a rappresentare la nostra epoca di fronte a quella che ci dette la deliziosa grazia e la perfetta armonia settecentesca del Palazzo Berio", per concludere, andando con lo sguardo oltre le quinte urbane, che "pure quel fabricato annunzia al pubblico un'opera di tecnica veramente geniale che è la terza funicolare per il Vomero"[18].

[1] Cfr., in particolare, il progetto di una Funicolare aerea tra il corso Vittorio Emanuele e via Roma, ideato da A. Avena e S. Sorrentino nel 1884 (cfr. A. Gambardella, C. De Falco, *Avena architetto*, Napoli, E.S.I., 1991, pp. 69-79) ed A. Turrini, *Progetto di una rapida comunicazione fra il Vomero e Piazza del Plebiscito in Napoli. Doppia ferrovia funicolare elettrica*, Napoli, Tipografia Commerciale, 1922.

[2] Per una descrizione dettagliata delle scelte tecniche adottate nell'opera, occorre riferirsi soprattutto a fonti bibliografiche coeve all'intervento, dallo stampo celebrativo ed incentrate soprattutto sulla qualità e "modernità" delle soluzioni, tra cui *La Funicolare Centrale di Napoli*, Ceretti&Tanfani 1928; M. Bareggi, *La Funicolare Centrale al Vomero*, «L'Ingegnere», II, n. 12, 1928, pp. 695-696;

E. Peretti, *La funicolare centrale di Napoli*, «Rivista Italiana di Edilizia e Lavori Pubblici», novembre 1929, pp. 4-12; *Napoli. Le Grandi Opere. Dal settembre 1925 al giugno 1930*, Napoli, 1930 (ried., Napoli, 2006); E. Marelli, *L'impianto elettrico di trazione della funicolare centrale di Napoli*, Milano 1931. Riprendono tali scritti E. Bevere, G. Chiaro, A. Cozzolino, *Storia dei trasporti urbani di Napoli e delle linee interurbane gestite dalla SATN, dalle Tramvie di Capodimonte e dalle aziende municipalizzate*, Cortona, Calosci, 1998; G. Cornolò, F. Ogliari, *Si viaggia...anche all'insù. Le funicolari d'Italia*, Milano, Arcipelago edizioni, 2006, vol II, pp. 727-750.

[3] Cfr. G. Alisio, *Il Vomero*, Napoli, Electa Napoli, 1987, passim.[4] Cfr., tra le più recenti, G. Basadonna, *Mussolini e le opere napoletane del ventennio*, Napoli, Berisio, 1980; P. Varvaro, *Una città fascista. Potere e società a Napoli*, Sellerio, Palermo, 1990; P. Varvaro, *Il fascismo a Napoli*, in *L'architettura a Napoli tra le due guerre*, a cura di C. de Seta, Napoli, Electa Napoli, 1999, pp. 27-31; *Napoli e la Campania nel Novecento. Diario di un secolo*, diretto da A. Croce, F. Tessitore, D. Conte, Napoli, Liguori, 2007, 3 voll.

[5] Cfr. *Napoli. Le Grandi Opere*, cit.; P. Belfiore, *L'Alto Commissariato e le opere del regime*, in *L'architettura*, cit., pp. 31-36.

[6] Cfr. Commissione per lo studio del piano regolatore della città, *Relazione*, Giannini, Napoli, 1927; C. Valle, *Il Piano Regolatore di Napoli. Studio della commissione istituita dal Comune di Napoli sotto gli auspici dell'Alto Commissariato*, «L'Ingegnere», II, n. 3, 1928, pp. 159-167. Per tale studio, cfr. D. Lepore, *Studio per il Piano regolatore della città*, scheda n. 179 in P. Belfiore, B.

GRAVAGNUOLO, *Napoli. Architettura e urbanistica del Novecento*, Roma-Bari, Laterza, 1994, pp. 318-320 e ID., *scheda n. 30*, in *L'architettura*, cit., pp. 203-204.

[7] Per la genesi e gli sviluppi di tale idea di attraversamento dei Quartieri Spagnoli, si veda A. PANE, *Il progetto della «succursale» di via Toledo a Napoli (1914-1939)*, in *L'altra modernità. Città e architettura*, Atti del XXVI Congresso di Storia dell'Architettura (Roma, 11-13 aprile 2007), in corso di stampa.

[8] *Commissione per lo studio*, cit., p. 47.

[9] Per tale figura, nella sua evoluzione dal linguaggio storicistico di fine Ottocento verso il floreale, cfr. P. BELFIORE, B. GRAVAGNUOLO, *Napoli*, cit., pp. 19-20; E. MANZO, *Opere pubbliche e trasformazioni urbane a Napoli tra le due guerre*, in *Storia dell'Ingegneria*, Atti del 1° Convegno Nazionale, (Napoli 8-9 marzo 2006), vol. II, pp. 1097-1108.

[10] Noto con lo pseudonimo di *Pierre Suardon* con cui firma nella produzione teatrale, Daspuro sarà presidente del Sindacato Giornalisti oltre che impegnato sulle colonne del *Secolo*, della *Gazzetta del Popolo* e del *Figaro* di Parigi. Con G.B. Comencini e per conto della Società Edilizia Laziale, elaborerà nel 1913 il *Progetto per una Galleria tra Mergellina e la Stazione della Direttissima Napoli-Roma, ed ampliamento della Città sui Campi Flegrei*.

[11] *Chiaia Nova: Progetto dell'ing. G.B. Comencini e N. Daspuro di una nuova comunicazione tra via Roma-angolo del vico d'Afflitto-e via di Chiaia…* (cfr. E. MANZO, *Opere pubbliche*, cit., pp. 1102-1103).

[12] Cfr. ARCHIVIO NOTARILE DISTRETTUALE DI NAPOLI (ANNa), *not. Gaetano Tavassi*, 11 dic. 1924, in cui sono presenti la convenzione tra il Comune di Napoli e la Società Anonima Funicolare Centrale, la planimetria e la sezione di massima del progetto del 1921.

[13] Con Milone, quindi attivamente impegnato nella ricostruzione postbellica a Napoli, Comencini elaborerà nel 1921 il progetto di Albergo diurno in Galleria Umberto I per conto della Società Anonima "L'Alba". Entrambi, inoltre, saranno impegnati professionalmente, tra il 1925 e il 1928, nel progetto degli edifici ai lati della Galleria Laziale su piazza Sannazaro (cfr. *L'architettura*, cit., pp. 202-203).

[14] I disegni, conservati in un archivio privato, appartenevano alla Società Anonima Funicolare Centrale (S.A.Fu.Ce.). Devo un ringraziamento sincero all'ing. Antonio D'Auria e al dott. Mario D'Auria per avermi consentito lo studio di tali documenti. Per brevità, tali fonti verranno citate con la dicitura *Archivio S.A.Fu.Ce.*

[15] Riprendo una distinzione avanzata da Pasquale Belfiore in rapporto alle diverse "città" della Napoli fascista (cfr. P. BELFIORE, *L'Alto Commissariato*, cit., p. 31).

[16] Al Foschini possono attribuirsi i disegni delle facciate su piazzetta Duca d'Aosta approvati dall'amministrazione comunale e pubblicati in *L'architettura*, cit., p. 40 e 205 (cfr. ivi, *scheda n. 36*). La partecipazione di Foschini al progetto del cinema Augusteo, in collaborazione con Attilio Spaccarelli, è richiamata nel 1979 da Luigi Vagnetti, suo allievo e collaboratore (cfr. L.V., *Arnaldo Foschini, 1884-1968*, in *Arnaldo Foschini. Didattica e gestione dell'architettura in Italia nella prima metà del Novecento*, a cura di N. Pirazzoli, Faenza, Faenza ed., 1979, p. 25).

[17] Cfr. *La Funicolare Centrale*, cit., p. 6; P. BELFIORE, B. GRAVAGNUOLO, *Napoli*, cit., *scheda n. 42*; *L'architettura*, cit., *scheda n. 36*.

[18] C. GUERRA, *Polemiche per la speculazione degli ingegneri in architettura*, «Opuscoli di architettura tecnica», 1923-28, p. 13, cit. in F. MANGONE, *Dal liberty al barocchetto. Insegnamento e professione dell'architettura a Napoli, 1900-1930*, in *L'architettura*, cit., p. 41.

ANDREA SILVESTRI

Il contributo di Ercole Bottani e del Politecnico di Milano alla ricostruzione postbellica nel settore elettrico

Premessa

Le ferite inferte dal secondo conflitto mondiale, in Italia e in particolare a Milano, furono gravi nei settori sia degli edifici pubblici e privati (Figg. 1,2), sia delle infrastrutture, dei servizi e degli impianti industriali (Fig. 3).

Tutte le forme di ricostruzione comunque materiale, intraprese con energia e tempestività, contribuirono alla ricostruzione civile, democratica, spirituale del Paese e aprirono la via al boom economico e al conseguente benessere: sia pure con i progressivi germi di quel consumismo che avrebbe portato alla "scomparsa delle lucciole", per dirla con Pasolini.

In questa sede non ci occuperemo tanto della ricostruzione architettonica, strutturale, urbanistica[1], di Milano, quanto di quella industriale in senso lato, con una precisazione sviluppata al successivo punto 2: che il Politecnico, dalla sua nascita, non si è mai sottratto alla funzione di produrre innovazione e progresso tecnico, con le inevitabili conseguenze di ordine industriale, economico, sociale, innestate nel via via mutevole clima storico.

Gli antecedenti

Mi riferisco, per esempio, al contributo del fondatore, Francesco Brioschi (Fig. 4), non solo nel creare e portare

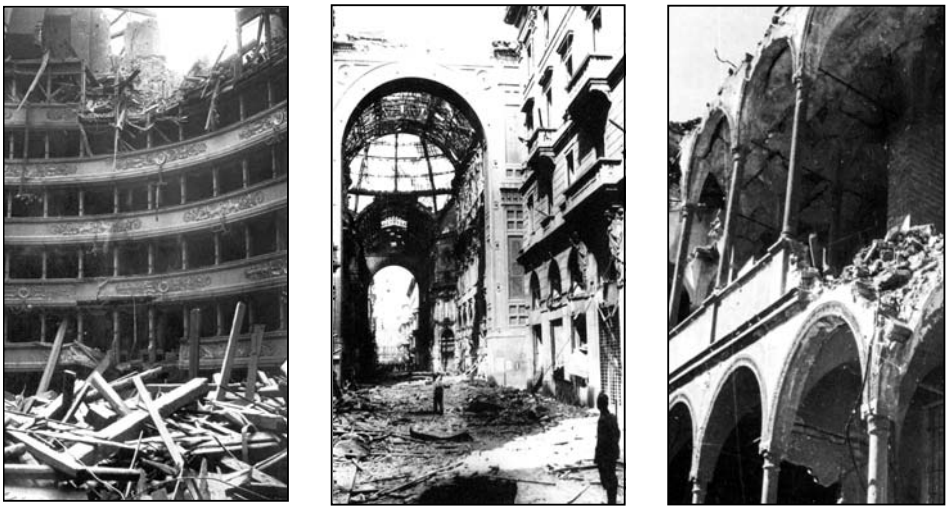


Fig. 1 - Da sinistra: l'interno della Scala; la Galleria; la Ca' Granda



Fig. 2 – Lo sventramento di una casa d'abitazione a Milano



Fig. 4 – Francesco Brioschi

al successo un'istituzione - il Politecnico, appunto - unica (con Torino) nell'Italia appena unitaria; ma anche nel condurre avanti con determinazione, dalla sua posizione privilegiata di Senatore del regno e membro influentissimo di istituzioni varie, sia le ragioni dell'istruzione tecnica sia concrete azioni tecniche che ebbero un ruolo chiave dopo l'Unità (le Commissioni per il Po e il Tevere, la questione ferroviaria, ecc.)[2].

Ma mi riferisco anche all'importanza che ebbe, a livello milanese, nazionale e oltre, l'opera del successore di Brioschi, Giuseppe Colombo (Fig. 5),



Fig. 3 – Danni al fabbricato dell'AEM in piazzale Trento

avviando praticamente dal nulla (in Italia) l'ingegneria meccanica e industriale; inventando con il suo *Manuale dell'ingegnere* un'editoria tecnico-scientifica ben congeniale a quella casa editrice Hoepli che lo pubblicò e lo pubblica; ma anche fondando e guidando la società elettrica Edison, che sarebbe diventata la più grande in Italia e tra le più rilevanti d'Europa (Fig. 6) nella produzione, nel trasporto e nella distribuzione dell'energia elettrica[3].

E altri uomini usciti dal Politecnico e poi suoi prestigiosi professori favorirono la modernizzazione di Milano: come Giuseppe Ponzio nel campo dei trasporti pubblici (Fig. 7) e della loro municipalizzazione, e in quello dei primi grandiosi impianti idroelettrici comunali in Valtellina (che avrebbero dato origine all'Azienda Elettrica Milanese: Fig. 8); o come Ettore Paladini, che impostò la soluzione degli importanti problemi delle reti fognarie di Milano[4]. Chiudo questa premessa, sulla presenza di uomini



Fig. 5 – Giuseppe Colombo

del Politecnico nella vita tecnica, imprenditoriale ma anche politica, citando alla rinfusa pochi altri nomi dei primi decenni di vita del Politecnico, qualcuno di per sé sufficientemente evocativo[5]: personaggi come Giovanni Battista Pirelli (Fig. 9), Enrico Forlanini, Ercole Marelli; o industrie come il Tecnomasio (Fig. 10), la Tosi, la Caproni, la Breda, la Riva (Fig. 11).

Anche dopo la prima guerra mondiale il Politecnico diede il suo contributo, per superare le carenze industriali e produttive che il conflitto stesso aveva evidenziato, con il potenziamento di attività di ricerca e per conto terzi rispetto a sole finalità didattiche.

Il secondo dopoguerra

Nel secondo dopoguerra, gravissimi furono i problemi nazionali connessi alle distruzioni di cui dicevo in apertura: ma qui ci si concentrerà in particolare sull'ambito elettrico.

In questo periodo e in quest'ambito risalta l'azione di un altro personaggio del Politecnico, appunto (come si dirà più avanti) Ercole Bottani.

Si trattava, in un Paese come il nostro, che aveva avuto un'elettrificazione molto intensa, confrontabile con quelle delle nazioni tecnicamente più avanzate, grazie all'abbondanza di risorse idriche e al loro sfruttamento per produrre elettricità, di riassicurare equilibratamente la disponibilità energetica che si era impoverita: infatti centrali, linee, stazioni, cabine erano state colpite, e non era ancora sufficientemente interconnessa anche verso l'estero la struttura sostanzialmente macroregionale delle singole società elettrocommerciali (la Edison in Lombardia e dintorni; la SIP, Società Idroelettrica Pie-

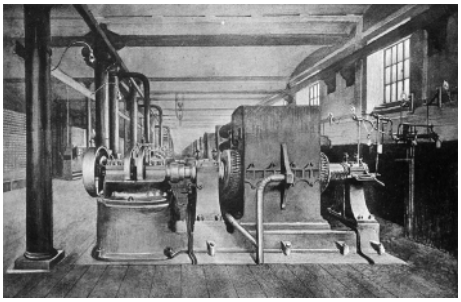


Fig. 6 – Centrale elettrica di Santa Radegonda (1883)



Fig. 7 – Piazza del Duomo

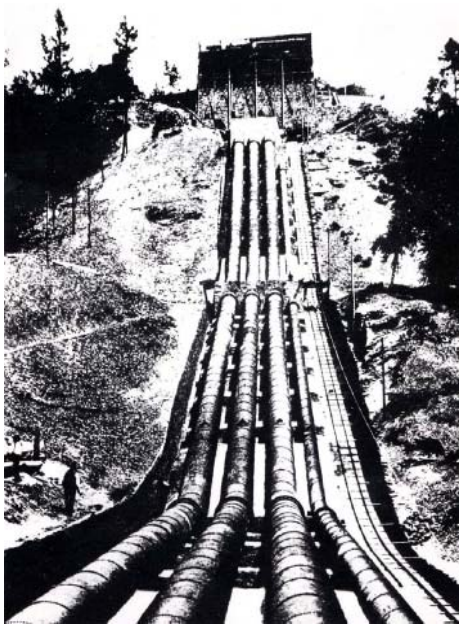


Fig. 8 – Condotta forzata della centrale di Grosotto (Sondrio)



Fig. 10 – Un volume celebrativo del Tecnomasio

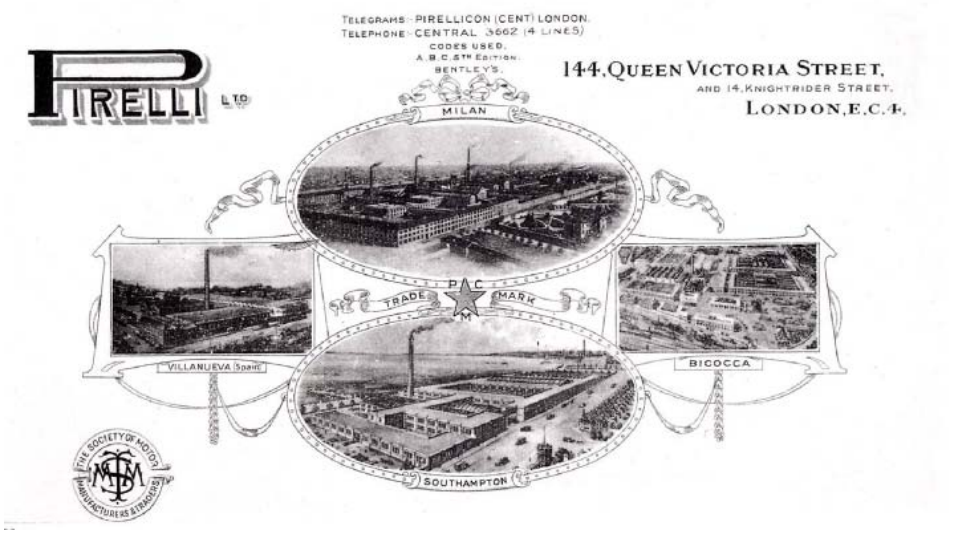


Fig. 9 – Una pubblicità internazionale della Pirelli

monte; la Società Adriatica di Elettricità - SADE - in Veneto, per citare tra le maggiori al Nord); senza contare le conseguenze della separazione fisica tra due Italie verso la fine del conflitto.

Anche a Milano, dove pure la situazione non era pessima (la distruzione più grave del sistema elettrico investì il centro-sud: Fig. 12), così come scarseggiavano le auto e le scuole non erano riscaldate, per carenza di alimentazione elettrica treni, filobus e tram potevano fermarsi, l'illuminazione era un lusso, gli stabilimenti faticavano a riprendere la produzione.

L'opera di Ercole Bottani

Per una minima contestualizzazione di Ercole Bottani (1897-1978), se ne forniscono qui di seguito pochi dati fondamentali[6]. Laureato nel 1922 al Politecnico, inizia subíto a lavorarvi presso l'Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba (IECE), curandone in particolare il trasferimento nella nuova sede a Città Studi nel 1927. Dopo una carriera tutta percorsa entro l'IECE (assistente, aiuto, libero docente, professore incaricato)[7], nel 1937 ottiene la cattedra di Misure Elettriche. Nel 1941 si trasferisce all'Istituto di Elettrotecnica (che dirigerà fino al 1965) e alla cattedra omonima, finché – istituita la laurea in Ingegneria elettronica – passa dal 1963 alla cattedra di Campi elettromagnetici e circuiti, fino al fuori ruolo nel 1967. La continuità dei rapporti di Bottani (Fig. 13) con la IECE è però documentata, tra l'altro, dall'incarico di Impianti elettrici II che vi mantenne dal 1941 al 1957.

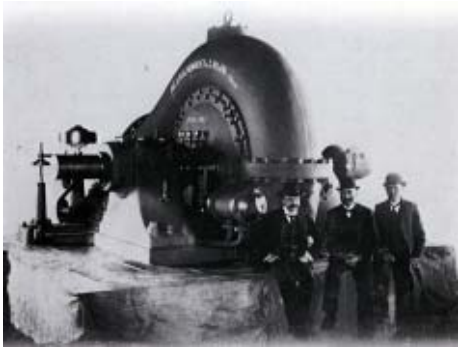


Fig. 11 – Turbina Francis di 3000 Hp della Riva-Monneret per la centrale del Niagara

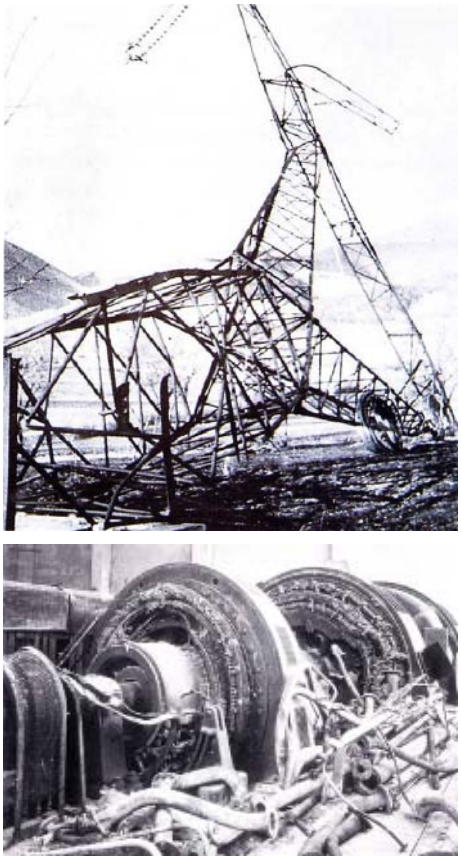


Fig. 12 - Centrale termoelettrica di Livorno. Sopra: un traliccio ad alta tensione; sotto: le macchine rotanti



Fig. 13 – Ercole Bottani

In campo didattico-scientifico, la prevalente attenzione di Bottani si focalizza sull'elettromagnetismo, nel cui studio rilevò l'opportunità, a favore della semplicità e della chiarezza, di basarsi (piuttosto che sulle equazioni differenziali di Maxwell) sulle corrispondenti equazioni integrali.

Questa impostazione innovativa, a partire dalle definizioni operative delle grandezze "concrete" corrente e tensione, e attraverso circuiti equivalenti agli effetti esterni e cioè ai morsetti, fu poi travasata nei suoi trattati di Elettrotecnica, su cui si sono formate tante generazioni di studenti e non solo a Milano.

Tra 1945 e '50, Bottani assurge ad un ruolo tecnico-pubblico di grande rilievo, come Commissario Governativo per l'energia elettrica in alta Italia. (Al centro-sud funzione analoga svolgeva il suo collega e amico Arnaldo Maria Angelini[8] dell'Università di Roma, poi Direttore Generale dell'Enel con la nazionalizzazione del 1963).

Si trattava, nel contesto brevemente delineato in 3, di fronteggiare l'insufficienza d'energia di cui si diceva: a ciò Bottani provvide con ampi poteri discrezionali, esercitati con equilibrio e determinazione, soprattutto in ordine alle inevitabili restrizioni dei consumi; mentre gli impianti (anche per l'impegno dell'industria elettrica) venivano ripristinati e ricostruiti. E non è senza significato che Bottani abbia potuto far fruttare la sua precedente esperienza di consulente per molte società produttrici di energia elettrica e di macchinario elettrico anche in quest'attività, come (per fare un altro esempio) nella riorganizzazione della Società Siemens in Italia.

Nel 1950 l'operazione di riorganizzare al Nord la funzionalità del sistema elettrico era praticamente compiuta, e Bottani poteva passare ad altre preziose iniziative, suggerite e alimentate peraltro dall'esperienza del Commissariato stesso; Bottani si era cioè convinto che la ripresa industriale richiedesse in Italia l'avvio - anche per non dover continuare a far riferimento all'estero - di un grande laboratorio di prove per macchine apparecchiature dispositivi elettrici, che fosse a servizio di costruttori e produttori ma portasse insieme avanti ricerche applicate d'avanguardia.

Il risultato, cui diede un contributo fondamentale la Edison, sarebbe stato nel 1956 il CESI[9] (Fig. 14), Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano Giacinto Motta (dal nome di un altro protagonista dell'industria elettrica[10], anche lui

uscito dal Politecnico). Il CESI, sotto la guida di Bottani che lo presiederà fino alla morte, avrebbe creato una rete d'eccellenza a livello non solo nazionale, tuttora attiva e prestigiosa (anche se recentemente suddivisa in due distinte strutture, una più votata alla ricerca, l'altra alla consulenza tecnica).

Quando poi Bottani, sviluppando i suoi interessi per le analogie tra fenomeni elettrici e quelli di altra natura, fondò al Politecnico il Centro di Studio sui Modelli Elettrici nell'ambito del CNR, un naturale sviluppo ne fu l'attività a favore della diffusione dei calcolatori elettronici (cfr. 4.6): è allora che al CESI fu installato un simulatore delle reti di trasmissione dell'energia elettrica, per la soluzione dei numerosi e difficili problemi posti dalla interconnessione allora in pieno sviluppo.

Alcuni pionieristici progetti milanesi per una linea metropolitana, erano stati bocciati a livello ministeriale all'inizio del Novecento, quando ancora non c'erano i grandi metrò europei - Parigi e Berlino - e americani, ed era un'eccezione quello londinese a vapore del 1863. Una iniziativa per riprendere quei progetti era stata (intorno al 1942) di un altro ingegnere del Politecnico, Marco Semenza, ma era stata bloccata dalla guerra.

Solo nei primi anni Cinquanta l'iniziativa di dotare Milano di una metropolitana faceva finalmente, per mano del Comune, passi in avanti, con la creazione di una società alla cui presidenza nel '55 fu chiamato Bottani (Fig. 15), anche nella sua veste fino ad allora di consigliere comunale.

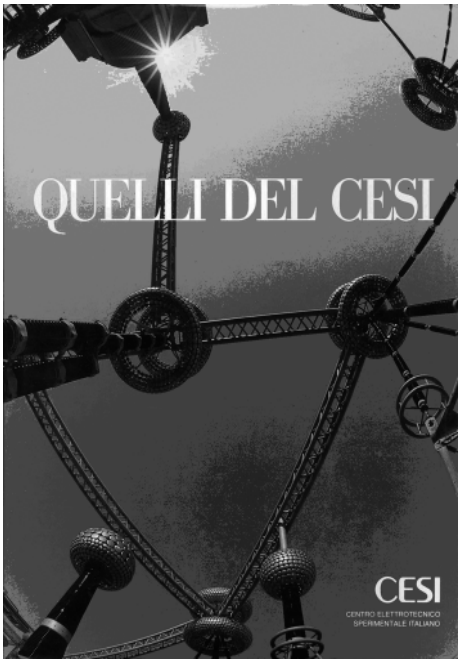


Fig. 14 – Un volume celebrativo del CESI

Dopo aver praticamente risolto tutti i problemi finanziari, amministrativi, costruttivi della MM e con la prima linea in avanzata fase di realizzazione (Fig. 16), nel 1961 Bottani lascia la presidenza in disaccordo con la decisione politica di passare l'esercizio della metropolitana all'ATM, contro l'autonomia della MM stessa.

E infine, alla nascita dell'Elettronica al Politecnico, significativamente ad opera di un Elettrotecnico di chiara fama con Bottani, riservo solo un cenno, perché spesso ne ha parlato e scritto Luigi Dadda[11], che, per volontà del suo Maestro Bottani e del Rettore d'allora del Politecnico, Gino Cassinis (il Rettore della liberazione[12] e della ricostruzione, futuro sindaco di Milano), nell'ambito

del Piano Marshall seguì in America la costruzione e avviò a Milano nel 1954 l'impiego del primo calcolatore elettronico in Italia.

Con l'apertura del Centro di Calcolo del Politecnico, partono i corsi di programmazione e si diffonde l'impiego del calcolatore nelle più svariate ricerche. La risposta dell'industria è pronta e intensa, dando anche origine a importanti collaborazioni con il Politecnico, per esempio della Società Edison (nel settore della progettazione di impianti idroelettrici) e della Pirelli (per lo studio del campo elettrico nei passanti degli impianti ad altissima tensione).

Il Politecnico di Milano diventa uno dei più attivi promotori della diffusione del calcolo elettronico nelle università italiane, e nella costituzione di consorzi di calcolo interuniversitari come l'unica via percorribile in Italia per poter mettere a disposizione dei ricercatori (oltreché dell'industria) potenze di calcolo paragonabili a quelle delle università americane.

Sempre Bottani nel 1955 promuove al Politecnico l'istituzione dei nuovi corsi sui "Calcoli numerici" e sulle "Calcolatrici elettroniche" e sulle loro applicazioni (quest'ultimo affidato allo stesso Dadda) per studenti elettrotecnici e



Fig. 15 – Ercole Bottani (al centro)

meccanici, in seguito per tutti gli allievi; e nasce anzi la laurea in Elettrotecnica con indirizzo elettronico e delle comunicazioni elettriche, con largo anticipo rispetto alle altre università italiane. La denominazione dell'indirizzo era in realtà un *escamotage* per inaugurare un'area didattica ancora non formalizzata come sezione della classica laurea elettrotecnica che l'aveva prodotta, aggirando gli ostacoli burocratici connessi con l'istituzionalizzare una nuova specializzazione. Quando infine nel 1960 parte a livello nazionale la laurea in Elettronica, la legge istitutiva recepisce le esperienze pionieristiche del Politecnico di Milano.

E l'intuizione "giovanile" di Bottani sulla carica innovativa dell'elettronica, da cui sarebbero derivati i controlli automatici, l'informatica e l'odierna ICT, è un'ulteriore dimostrazione dell'apertura antesignana di Bottani, del suo insostituibile contributo alla storia della ricostruzione e alla ripresa della modernizzazione nel nostro Paese.



Fig. 16 – Il "varo" della prima vettura della Linea 1 della Metropolitana Milanese

[1] Cfr. *L'età della speranza. Milano dalla ricostruzione al boom*, a cura di A. Gigli Marchetti, Milano, Skira, 2007.

[2] Cfr. i tre volumi, su progetto editoriale di C. G. Lacaita e A. Silvestri, *Francesco Brioschi e il suo tempo (1824-1897)*, Milano, Franco Angeli: I *Saggi* (2000); II *Inventari* (2000), III *Scritti e discorsi* (2003).

[3] Cfr. G. Colombo, *Industria e politica nella storia d'Italia. Scritti scelti: 1861-1916*, a cura di C. G. Lacaita, Milano, Cariplo-Laterza, 1985.

[4] Per una scheda bio-bibliografica su Ponzio e su Paladini, si vedano le voci (rispettivamente di Alessandra Candido e Annamaria Galbani) in *Foto di gruppo 1865-1939*, a cura di A. Silvestri, Politecnico di Milano, 2005.

[5] Sempre in *Foto di gruppo 1865-1939*, cit., si possono leggere le voci su Giovanni Battista Pirelli (di Francesca Albani), su Enrico Forlanini (di Sara Calabrò), su Alberto Riva (di Marcello Mantoan). Su Forlanini inoltre cfr.: *La passione dell'invenzione. Enrico Forlanini ingegnere e aeronauta*, a cura di S. Calabrò, Milano, Telesma, 2004.

[6] Cfr. R. Manigrasso, A. P. Morando, *Ercole Bottani*, Milano, Edizione ATM, 1994.

[7] Cfr. P. Regoliosi, A. Silvestri, *L'Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba*, in *Il Politecnico di Milano nella storia italiana (1914-1963)*, vol. II, Milano-Bari, Cariplo-Laterza, 1988.

[8] Cfr. *Raccolta di scritti sull'energia elettrica del Prof. Arnaldo Maria Angelini*, Roma, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL-Enel-Società Italiana per il Progresso delle Scienze, 2006.

[9] Cfr. A. Galbani, L. Paris, A. Silvestri, *La ricerca nel settore elettrico*, in *Storia dell'industria elettrica in Italia. Gli sviluppo dell'Enel. 1963-1999*, a cura di G. Zanetti, Roma-Bari, Laterza, 1994.

[10] Su cui cfr. (oltre alla voce di A. Galbani in *Foto di gruppo 1865-1939*, cit.) il capitolo dedicato a Motta (pp. 887-916) in *Il Gruppo Edison*: *1883-2003. Profili economici e societari*, a cura di M. Fortis, C. Pavese, A. Quadrio Curzio, Bologna, Il Mulino, 2003; nonché il volume di L. Segreto, *Giacinto Motta. Un ingegnere alla testa del capitalismo industriale italiano*, Roma-Bari, Laterza, 2005.

[11] Cfr. almeno L. Dadda, *Il primo elaboratore elettronico in Italia*, nel secondo dei due volumi *Il Politecnico di Milano nella storia italiana (1914-1963)*, cit. Ma sul contemporaneo fermento italiano in tema di calcolatori, si veda *La nascita dell'Informatica in Italia*, a cura di L. Dadda, Milano, Polipress, 2006.

[12] Cfr. A. Galbani, A. Silvestri, *Il contributo del Politecnico di Milano al movimento di liberazione*, Milano, All'insegna del pesce d'oro di Vanni Scheiwiller, 1996.

Enzo Siviero, Marcello Arici, Francesca Arici

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell'ingegneria del primo Novecento. Parte I : il profilo del professionista, dall'architetto all' ingegnere

Tratteggiare l'immagine professionale di Giuseppe Arici, figura eclettica nell'ingegneria del primo novecento è cosa non semplice, per la sua complessa e poliedrica personalità di architetto e di ingegnere che gli consentì di percorrere ambiti professionali molto diversi tra loro, ma sempre distinguendosi per capacità e talento.

Innanzi tutto egli è *homo faber* in grado di affrontare e portare a termine problemi tecnici diversi con inventiva e sapienza costruttiva, partendo dalla intuizione iniziale fino al compimento dell'idea. È l'artigiano che porta avanti l'idea affinando il suo manufatto, da materia informe a prodotto finito, con capacità e caparbietà, quasi con perfezionismo, curandone tutti i dettagli. Cesellature e dettagli che manifestano curiosità ed interesse per la cosa in sé ma anche lo spirito di servizio di cui si sente investito nello svolgere al meglio il ruolo professionale che si è assunto. Sia che progetti la maniglia di una porta, sia che il progetto riguardi un intero edificio, un ponte o una strada egli ne definisce minuziosamente tutti i passaggi, le componenti, i meccanismi fino ad ottenere il prodotto finito e funzionante quasi fosse una macchina da calcolo, *una calcolatrice meccanica* che deve fornire risultati corretti e non può sbagliare. Percorre nuove strade, non influenzato da scuole, mode e correnti d'epoca, ma affidandosi ad una profonda cultura costruttiva, esprime nel prodotto architettonico finale le sapienti influenze che ha assorbito e che ripropone con grande originalità. Manifesta lo stesso impegno sia nel definire un rotismo meccanico che nel progettare la scala in cemento armato di un edificio per civile abitazione, non solo guardandone l'aspetto funzionale ma curandone l'aspetto estetico e compositivo al fine di ottenere un effetto architettonico unitario che, in definitiva, è ciò che lo attrae e che motiva il suo lavoro.

La sua è *architettura* in senso lato, perché il suo ruolo è quello dell'artigiano che per costruire il prodotto, dapprima ne progetta le funzioni e gli obbiettivi, realizza i singoli pezzi, costruisce anche le attrezzature necessarie per produrli, definisce tutti i dettagli costruttivi e perviene al prodotto finale con un risultato unitario che deve soddisfare le esigenze funzionali, tecniche ed estetiche che ne motivano la costruzione.

Nel percorso della sua vita professionale di ingegnere e costruttore, l'oggetto del suo lavoro cambia più volte. In genere l'attività di un ingegnere progettista si sviluppa e cresce, partendo da un campo di interesse iniziale e/o di

mercato, costruendo per esperienze successive la personalità professionale individuale che, anche se si modifica nel tempo, manifesta e definisce sempre l'ambito personale di interesse. Anche se l'argomento degli studi e dei progetti cambia, in genere, la formazione del curriculum del professionista si forma e si completa per sommatoria ed acquisizione delle varie esperienze progettuali consentendo di individuarne e definirne la singola personalità. In ogni caso, anche in ragione del mercato e dei successi professionali precedentemente raggiunti, nel corso della vita il progettista aggiunge, mattone dopo mattone, pezzi alla sua figura professionale fino a completare il puzzle, raggiungendo anche, in alcuni casi, vette professionali elevate. In questi casi vengono lasciate tracce profonde nella società e nell'ambiente locale o nazionale, e, anche se raramente, dallo studio dell'autore e delle sue opere emergono caratteristiche peculiari che possono determinare la nascita di scuole e correnti di pensiero. Nel caso di Arici nulla di tutto questo. Egli percorre il cammino di progettista, costruttore edile ed artigiano nel contesto palermitano di quegli anni raggiungendo, con un certo successo, tappe professionali qualificate e apparentemente soddisfacenti. Sembrerebbe logico che proseguisse in tale ambito, migliorandone i risultati per consolidare ed ampliare il successo economico e professionale ormai in un contesto diventato più favorevole ed in grande sviluppo negli anni della ricostruzione del paese. Invece curiosità, interesse e passione lo portano a sviluppare una invenzione che viene poi trasformata in un sofisticato prodotto artigianale che, tuttavia, mai raggiungerà la dimensione industriale. Questa, d'altra parte, non avrebbe mai potuto essere raggiunta, essendo il prodotto uno strumento professionale di nicchia, ad uso di ingegneri strutturisti che si occupano di progetti di costruzioni in cemento armato.

Tuttavia egli si dedica a sviluppare con meticolosità e passione il progetto delle sue calcolatrici logaritmico-meccaniche con lo stesso approfondimento progettuale con cui avrebbe curato un'opera di architettura o la costruzione di un ponte, con la profonda convinzione di fornire un servizio indispensabile alla evoluzione della tecnica ed allo sviluppo della società. Il materiale che ci è rimasto dall'archivio del suo studio professionale e dal suo ufficio della D.I.C.T.A. non è molto vasto, tuttavia uno studio sistematico richiederebbe maggiore tempo, maggiore spazio e maggiore competenza. Riportiamo una breve sintesi del suo percorso di ingegnere del primo novecento, convinti che ciò possa essere utile ad aggiungere un piccolo segmento alla storia dell'ingegneria italiana, registrandone i suoi contributi originali e professionalmente onesti, lasciando eventualmente ad altri l'onere di una valutazione più approfondita.

Nel seguito la lettura della produzione professionale nel campo dell'architettura verrà delineata dalla nipote, che ha seguito le sue tracce come architetto, mentre l'aspetto delle invenzioni di

ingegneria sarà illustrato dal figlio, oggi ingegnere a Palermo, nella seconda parte. Infine viene riportata la cronologia delle sue opere di architettura.

Giuseppe Arici progettista, costruttore ed architetto

L'attività architettonica di Giuseppe Arici come progettista e costruttore, svolta a Palermo prevalentemente tra i tardi anni '20 e la fine degli anni '40, va inquadrata nel contesto storico in cui si trovò ad operare al suo ritorno dagli studi milanesi. Un panorama culturale, quello della Palermo del primo dopoguerra, ancora dominato dalla figura di Ernesto Basile, i cui epigoni stancamente ne perpetuano codici e stilemi, in presenza però di una mutata condizione politica ed economica. Il perduto ruolo produttivo della città dell'età dei Florio, l'ascesa al potere del regime fascista, infatti, sono i fattori che inequivocabilmente segnano la fine di quella felice oasi modernista che era stata la Palermo basiliana. Palermo sta ritornando ad una condizione di perifericità, in cui la cultura architettonica locale subisce l'influenza dei paradigmi di una modernità proveniente dall'esterno.

Il contesto appare dunque caratterizzato da un momento di forte dialettica tra una cultura ed una pratica dominanti, in crisi, ma pervicacemente votate all'autoconservazione, e le istanze della nuova cultura razionalista di respiro nazionale ed europeo. In questa luce, la figura e l'opera di Arici, assolutamente aliene al mondo accademico e per formazione legate alle istanze di rinnovamento, restituiscono bene – insieme a quelle di altri professionisti operanti nello stesso periodo, quali, ad esempio, Salvatore Caronia Roberti e Giuseppe Vittorio Ugo - una dimensione dell'architettura cittadina che nel pragmatismo del fare (un'impostazione di stampo decisamente più artigianale che artistico) riesce a offrire una risposta concreta e di qualità alla crisi sottesa a tale dialettica.



Fig. 1 – Il logo dello studio professionale

Tale risposta, forse proprio perché legata ad una dimensione personale e quasi morale dell'esercizio della professione, avulsa dal dibattito accademico, non produrrà purtroppo a Palermo una scuola per le generazioni di architetti a venire. Da qui inizia lo scollamento tra teorie dell'architettura e pratiche dell'edilizia che così pesantemente segnerà il volto della città lungo il corso del Novecento.

La produzione architettonica di Arici consta di un numero limitato di opere, la lettura della quali rivela un preciso percorso evolutivo, che lo porta, nei lavori

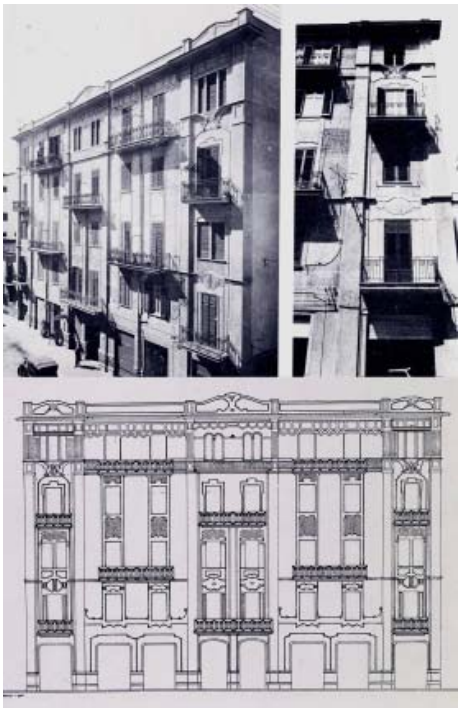


Fig. 2 – Edificio di via Tunisi, 12



Fig. 3 – Edificio di piazza Virgilio, 8

più maturi, ad una concezione progettuale genuinamente razionalista. Le opere realizzate consistono in cinque edifici condominiali, progettati e realizzati tra il 1925 ed il 1936, una villa monofamiliare a Mondello (Villa Verzera, 1937), la sede nautica del Circolo Canottieri a Mondello (1947, con Giuseppe Vittorio Ugo), ed alcuni lavori di architettura degli interni per privati, svolti per lo più in collaborazione con l'artista scenografo Gino Morici.

Ne proponiamo in questa sede, anziché un esame analitico/cronologico per singole opere, una lettura trasversale e sintetica, da svolgere attraverso l'identificazione di tre categorie tematico-interpretative, che cerchino di coglierne gli aspetti maggiormente caratterizzanti. Tali categorie sono state rintracciate nella concezione progettuale unitaria, a tutti i livelli e a tutte le scale del progetto, dall'investimento imprenditoriale, alla struttura, al disegno di dettaglio degli interni; nella questione linguistica, con la progressiva rarefazione dell'apparato decorativo e il perseguimento di un vocabolario razionalista; nella questione, infine, più specificamente planimetrica del tema residenziale, contributo alla cultura dell'abitare del tempo.

La prima caratteristica di lettura appare particolarmente interessante quando si compari con l'odierna tendenza - ormai quasi una necessità - alla specializzazione e separazione operativa delle figure professionali coinvolte nel processo edilizio. Un'analisi anche rapida dell'archivio dei disegni, rivela la volontà di

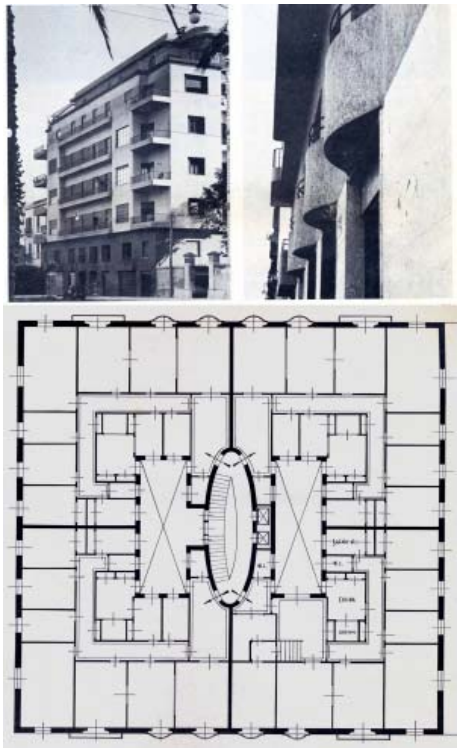


Fig. 4 – Edificio di via Borrelli

controllo a tutte le scale di ogni singolo progetto. Questo appare vero non solo nelle prime opere, come il condominio di via Tunisi del 1925 (fig. 2) o quello di piazza Virgilio degli anni 1926-28 (fig. 3), dove il progetto risulta ancora legato al vocabolario modernista di matrice basiliana, e dove pertanto il disegno di dettaglio viene prodotto da una logica decorativa unitaria, ma anche nelle successive e più mature opere, quali il condominio di via Borrelli del 1936 (fig. 4), la villa Verzera o il circolo Lauria, dove la concezione "macchinista" non rinuncia al controllo del dettaglio a scopi non solo estetici ma fondamentalmente funzionali.



Fig. 5 – Scala dell'edificio di via Borrelli

In questo senso, oltre alla "transcalarità" dell'approccio progettuale (dalla strategia di occupazione del lotto urbano fino al disegno della maniglia) va sottolineata la capacità di integrazione dei diversi aspetti e ingegneristici e architettonici del processo edilizio.

In particolare, l'uso corretto e sapientemente plastico del cemento armato raggiunge notevoli livelli di espressività spaziale nell'inserto centrale della scala ellittica del condominio di via Borrelli (fig. 5), o nell'esile porticato curvo della villa Verzera (fig. 6). Da menzionare infine, il rapporto di collaborazione quasi simbiotico instauratosi con lo scenografo Morici, dove sorprendente appare la capacità di sintesi operativa tra approccio ingegneristico dell'uno e

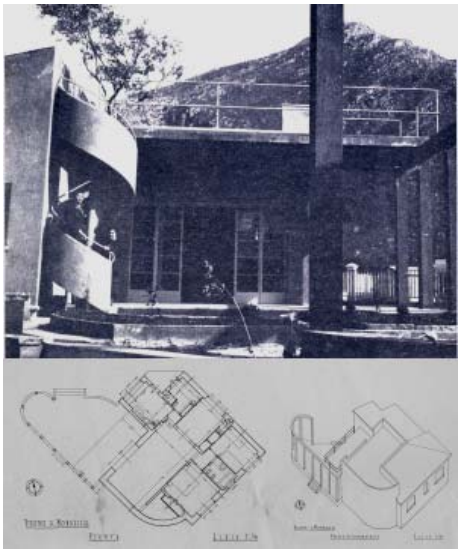


Fig. 6 – Villa Verzera

approccio artistico dell'altro. Questo fertile connubio produce ambienti di altissimo pregio spaziale, dove alla sensibilità artistica di Morici si affianca la capacità di sintesi tra economia e sperimentalismo degli spazi, delle forme e dei materiali, caratteristica di Arici.

Per quanto riguarda l'evoluzione linguistica, si propone una lettura dei prospetti degli edifici condominiali prodotti in sequenza nel decennio '25-'36 (fig. 7), quando l'attività' prevalente di Arici è quella di imprenditore edile e progettista. È interessante notare come un perdurante atteggiamento di frugalità rispetto alle esigenze "decorative" del fronte urbano, si evolva in un progressivo affrancamento dagli apparati imposti dalla cultura architettonica prevalente, che porta, nelle opere mature, ad un linguaggio fatto di piccoli giochi di massa, contrappunti luminosi e geometrici, onesta corrispondenza tra interno ed esterno, tra struttura e pelle dell'edificio. Per un'analisi puntuale e informata si riman-

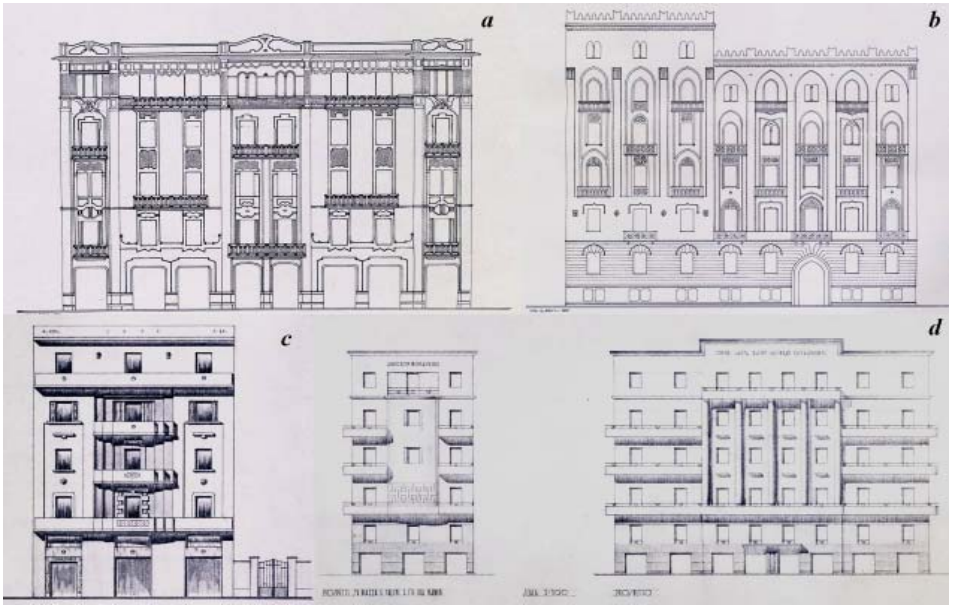


Fig. 7 – Prospetti degli edifici a Palermo. a) Via Tunisi. b) Piazza Virgilio. c) Via Agrigento. d) Via Simone Corleo

da all'articolo di De Simone e Provenzano (1982). Vale la pena menzionare, come momento evolutivo intermedio, il condominio di via Agrigento del 1932 (fig. 8), dove il linguaggio modernista ancorché semplificato di via Tunisi e piazza Virgilio, cede il passo a un approccio tardo Déco, nel processo di assimilazione dell'apparato decorativo al trattamento plastico del volume, in cui lo slittamento dei piani ed il susseguente gioco delle ombre divengono gli elementi di decoro sia in pianta che in alzato. Lo stesso avviene nel condominio di via Simone Corleo (fig. 9).

In ultimo, il tema dell'abitazione presenta anch'esso un'evoluzione nella ricerca di un'ottimale distribuzione degli spazi. In particolare, rispetto al tema tipologico dell'edificio condominiale, il contributo di Arici appare significativo e, in qualche modo, innovativo, rispetto alla relativa giovinezza di tale tipologia. Una prima innovazione di carattere urbano consiste nella piena integrazione dei piani terra, con l'introduzione della tipologia commerciale, in stretta relazione con la strada. La tessitura geometrica dei fronti, fin dalle prime realizzazioni, ingloba in modo naturale le saracinesche dei negozi e dei garage a formare parte integrante dell'unità edilizia.

Per quanto riguarda la distribuzione ai piani, si assiste a un progressivo affinamento funzionale, che vede nella riduzione degli spazi destinati alla circolazione e nell'ottimale separazione tra le funzioni di servizio e quelle di soggiorno un'evoluzione verso una più contemporanea maniera dell'abitare. La distribuzione interna viene puntualmente riportata in alzato, con un trattamento dei fronti di servizio che fin dalle prime opere risponde ad una preoccupazione di tipo modernamente funzionale.

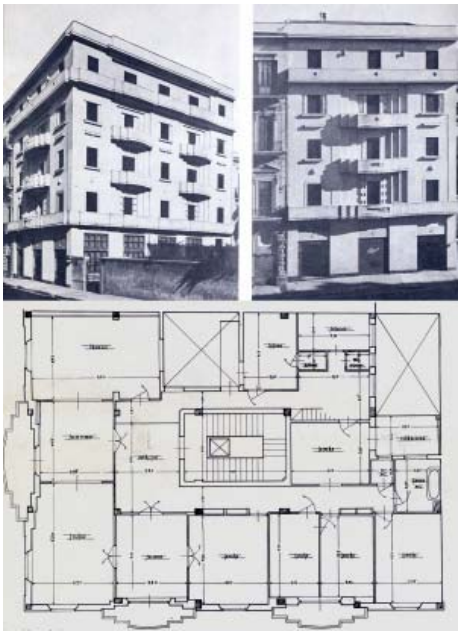


Fig. 8 – Edificio di via Agrigento

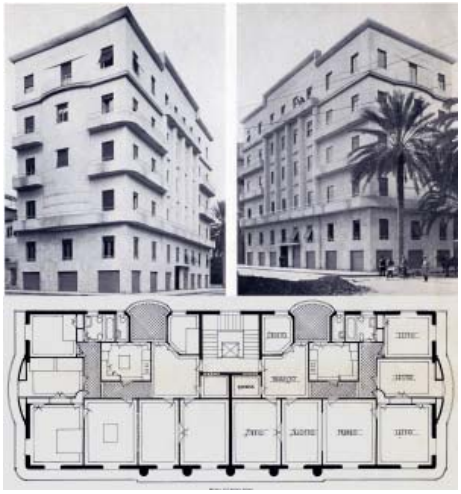


Fig. 9 – Edificio di via Corleo



Fig. 10– Circolo dei canottieri Lauria, Mondello

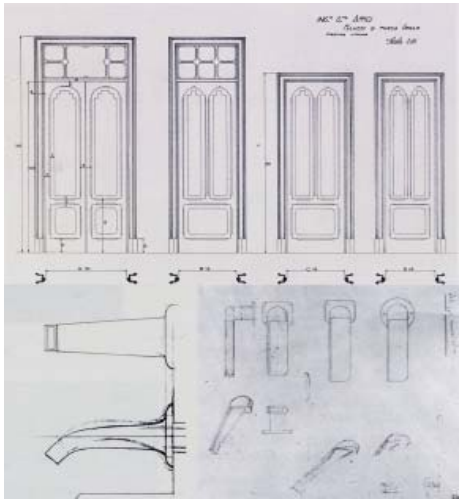


Fig. 11– Il disegno dei particolari: porte, rubinetti e maniglie

Il più compiuto tra gli edifici condominiali risulta anche in questo caso l'edificio di via Borrelli, dove la soluzione delle due corti di servizio ai lati della scala ellittica centrale consentono una dislocazione perimetrale delle stanze destinate all'abitazione, ed un conveniente attestarsi all'interno degli ambienti di servizio; da qui risulta un più omogeneo trattamento dei fronti che possono organizzarsi sulla base di considerazioni di carattere urbano.

È però nella unifamiliare villa Verzera che Arici raggiunge una piena libertà planimetrica nella distribuzione degli ambienti, in tutto assimilabile all'ottimizzazione dell'uso degli spazi di tipo moderno, realizzando una delle prime opere nella città di Palermo non solo figurativamente riconducibili al Movimento Moderno.

Progetti ed opere (da R. La Franca, I progetti del Regime: dossiers dei protagonisti*, 1987)*

1925, Edificio condominiale in Via Tunisi, Palermo.

1926/28, Edificio condominiale in Piazza Virgilio, Palermo.

1932, Edificio condominiale in Via Agrigento, Palermo.

1934, Edificio condominiale in Via S. Corleo, ang. Via Manin, Palermo.

1936, Edificio condominiale in Via Borrelli, Palermo.

1937, Villa Verzera, Mondello (Palermo).

1947, Circolo dei Canottieri, sede nautica, Mondello (Palermo).

Bibliografia e scritti

G. ARICI, *Prontuario per l'uso della macchina per il calcolo del cemento armato ARICI T3. Manovre e sviluppo dei procedimenti di ricerca*, D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1950

G. ARICI, *Le Calcul du Béton Armè a l'Aide de la Machine ARICI 55*, D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1960

G. ARICI, *Nuove istruzioni per l'uso*

rapido della calcolatrice per cemento armato ARICI 55, D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1968

G. ARICI, *ARICI 68: Uso, Procedimenti ed Applicazioni in 20 Esempi* - D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1969

R. DE SIMONE - F. PROVENZANO, *Giuseppe Arici* - Servizio speciale sulla Rivista "In Architettura", giornale della progettazione, n. 11, Palermo. Nov. 1982

I. A. PROVENZANO, *Urbanistica e Architettura a Palermo fra le due guerre*, Pezzino Editore, Palermo. 1984

AA.VV., *Palermo: architettura tra le due guerre (1919-1939)*, S.F. Flaccovio Editore, Palermo. 1987

M. DI LIBERTO - A. CHIRCO, *Via Libertà ieri ed oggi*, Dario Flaccovio Editore, Palermo. 1998

P. BARBERA, *Architettura in Sicilia tra le due guerre*, Sellerio Editore, Palermo. 2002

M.C. RUGGERI TRICOLI, *Dizionario degli artisti siciliani*. Vol I: architettura, Ed. Novecento, Palermo. 1993

W. ROBBRECHT, *Introducing the Arici Mathematical Devices*, "Slide Rule Gazette, a publication of the UKSRC", Issue 6 , Hopp& Barnes Editors, Fordham, UK. 2005

G. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori* - Tecnologia e scienza del calcolatore astronomico dei Greci. Istruzioni per l'uso dei regoli calcolatori logaritmici matematici, cemento armato e speciali, con numerosi esempi di calcolo, www.giovannipastore.it, G. Pastore Ed. Policoro (Matera), pp. 345-390, 2006

M DI LIBERTO, *Le vie di Palermo*, Dario Flaccovio Editore, Palermo. 2006

R.PIRAJNO, A. M. RUTA, I. VESCO, *Gino Morici. Un eclettico personaggio del Novecento palermitano*, Eidos edizioni, Palermo. 2007



Fig. 12 – Interni di casa Savona (in collaborazione con Gino Morici)



Fig. 13 – Particolare della scala dell'edificio di piazza Virgilio

Questo articolo, scritto da più autori e promosso da Enzo Siviero, vede compresenti il figlio di Giuseppe Arici (ingegnere e docente universitario) e la nipote Francesca (architetto e dottoranda). I tre punti di vista incorniciano da più angolature un professionista antico che pur nel tempo trascorso, può trasmettere non poche suggestioni a chi opera oggi e a coloro che opereranno domani.

Enzo Siviero, Marcello Arici, Francesca Arici

Giuseppe Arici (1900-1980) figura eclettica nell'ingegneria del primo Novecento. Parte II: il profilo dell' ingegnere

La figura poliedrica di Giuseppe Arici vive due momenti distinti ma intimamente legati e complementari. Al profilo dell'architetto, presentato nella prima parte della nota, si affianca e segue il profilo dell'ingegnere-inventore che viene qui delineato, al fine di illustrare in maniera più completa la varietà di attività a cui il professionista palermitano si è dedicato nel corso della sua carriera. Infine viene riportata una documentata biografia che inquadra l'evoluzione temporale dell'estesa e diversificata produzione professionale.[1]

Giuseppe Arici inventore, costruttore ed ingegnere

Da giovanissimo, ancora studente, Arici mostra il suo grande interesse per l'evoluzione tecnica a servizio dell'abitare, realizzando strumenti ed apparecchiature di immediata utilità. Quando le abitazioni nella città vengono dotate dell'illuminazione elettrica, egli per gioco sperimenta e fornisce tutte le porte di ingresso delle unità abitative del condominio dove abita di campanelli elettrici a pulsante di sua invenzione. Nei primi anni di attività professionale si dedica alla nuova tecnologia del cemento armato intuendone le grandi potenzialità di sviluppo. Ne utilizza la capacità resistente e semplicità costruttiva per modellare forme curve di travi e pareti ed originali travi forate, traendone apparenze plastiche ed estetiche ma funzionalmente valide. Sperimenta i nuovi solai misti in cemento armato e laterizio, ed i solai leggeri tipo Perrèt con soluzioni autoportanti, innovative ed ardite, che richiamano le esperienze di Gaudì. Inventa e collauda tecniche di montaggio e di vincolo per i solai misti ed introduce nuove tipologie di orizzontamenti.

Nel costruire i suoi edifici a struttura portante in cemento armato, fa scuola alle maestranze, formando una nuova classe di carpentieri, ferraioli e decoratori molto capaci, che in seguito diverranno essi stessi apprezzati costruttori edili nella Palermo di allora. Utilizzando le sue capacità di ingegnere meccanico sviluppa e si fa costruire innovative attrezzature per il cantiere, che utilizza in edilizia e per la costruzione di ponti e strutture speciali. Insieme alle attrezzature operative per i cantieri sviluppa prototipi di macchine per il calcolo delle sollecitazioni negli elementi strutturali e per il dimensionamento delle sezioni in cemento armato. Occorre ricordare che, in quel periodo, i calcoli statici venivano effettuati in massima parte per via grafica, ricorrendo appunto alla disciplina

della Statica Grafica ed ai mezzi di calcolo del tempo, che erano allora i regoli calcolatori, introdotti in Italia da Quintino Sella ingegnere e ministro dello Stato Unitario (Pastore, 2006); le macchine da calcolo iniziano infatti a svilupparsi soltanto in quegli anni.

Con questi prototipi in legno, cartone e metallo, progetta e dimensiona le strutture dei suoi edifici, traendone grande utilità nello sviluppo del suo lavoro (Fig. 1). Quando la calcolatrice per cemento armato diventa oggetto del suo interesse ed inizia la produzione in serie delle sue macchine, progetta e realizza anche le attrezzature per la costruzione dei pezzi e tra queste anche particolari dentatrici per ingranaggi di tipo innovativo.



Fig. 1 – Prototipi dei dischi per la calcolatrice



Fig. 2 – Spaccato della calcolatrice presentata all'Expo '58

Le calcolatrici Arici per il cemento armato

L'idea base del prototipo e della prima calcolatrice è la soluzione del problema che si pone al progettista strutturale del dimensionamento delle sezioni di travi e pilastri in cemento armato e per la determinazione dell'armatura. Il problema matematico si scrive attraverso un sistema di equazioni con un numero *n* di equazioni inferiore al numero delle incognite *m*, per cui esistono infinite soluzioni che soddisfano il sistema. Per ottenerne la soluzione, in un problema reale, occorre fissare un set di valori a priori per (*m*-*n*) variabili e, per ogni scelta, ottenere la soluzione relativamente alle variabili restanti. Arici stesso scrive (Arici, 1968): "...fra le infinite possibilità, il progettista sceglie, determina, prima ancora di conoscere le dimensioni. O, viceversa, conosce le dimensioni della sola soluzione che ha, a priori determinato,...il progettista deve affidarsi al proprio intuito, aiutato dalla esperienza, e corretto attraverso alcuni tentativi." Riportando su scale indipendenti alcune delle variabili significative si può, invece, valutare l'influenza sulla soluzione dei parametri prescelti, singoli o in gruppo; scegliendo poi, tra le soluzioni possibili, quella ottimale. Il meccanismo è molto semplice ed utilizza scale logaritmiche circolari che consentono di esplorare, in continuo, tutte le possibili soluzioni. Scrive, nel suo libro, G. Pastore: "La macchina calcolatrice, completamente originale sia come principio di funzionamento che come realizzazione, è stata prodotta in serie e

venduta in Italia ed all'estero. Ha permesso ai progettisti di avvalersi di un mezzo veloce e sicuro. Infatti, la peculiarità di questa macchina è quella di permettere sia il calcolo di tutte le sezioni resistenti in cemento armato in modo rapido, sia la possibilità di utilizzare il modulo di omogeneizzazione n variabile, e sia, a calcolo ultimato, di ricontrollare tutti i dati del calcolo in quanto le scale restano immobili dopo il posizionamento fino alla soluzione finale. Inoltre, i parametri di input possono essere invertiti con quelli finali, ottimizzando la sezione già al primo tentativo di calcolo."(Pastore, 2006)

Sulla base di questa idea è stata costruita e messa in commercio la calcolatrice Arici T3 (fig.3) con ingranaggi in bronzo, involucro in bachelite, portatile con custodia-contenitore. La calcolatrice consentiva il dimensionamento immediato ed ottimale delle armature per flessione, pressoflessione e delle staffe. A questo modello seguono negli anni la calcolatrice Arici 55, in alluminio pressofuso, per la quale Arici ottiene la Medaglia d'Oro al salone internazionale delle invenzioni dell' Expo 58 a Bruxelles (fig. 2, 4 e 5), la Arici 64 modello americano non entrato in commercializzazione e la Arici 68 modello con cui conclude la produzione (fig. 6 e 7).

Le calcolatrici prodotte erano molto robuste, curate in tutti i dettagli, mostravano grande attenzione al design, ed erano tutte trasportabili, con meccanismi di sicurezza per lo spostamento, entro raffinate custodie in cuoio. Nel modello Arici 55, in particolare, si riscontra la cura per il design ed una certa influenza dei prodotti Olivetti di Marcello Nizzoli, che erano stati esposti a New York al Museum of Modern Art nel 1952.Nella presentazione e distribuzione commerciale delle calcolatrici entra in contatto con Laboratori ed Istituti Universitari italiani ed esteri tra cui l'Università di Lovanio in Belgio e con insigni accademici della Scienza delle Costruzioni (citiamo soltanto Odone Belluzzi e Riccardo Baldacci) con i quali intrattiene rapporti, anche epistolari, di stima ed amicizia.

Nota Biografica



Fig. 3 – Calcolatrice Arici T3



Fig. 4 – Calcolatrice Arici 55

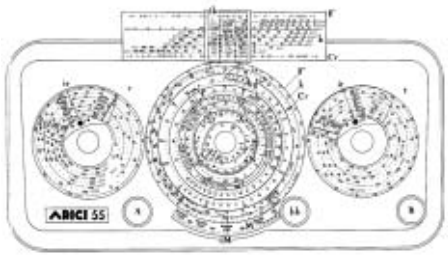


Fig. 5 – Schema calcolatrice Arici 55



Fig. 6 – Calcolatrice Arici 68



Fig. 7 – Spaccato della calcolatrice Arici 68

Giuseppe Arici è nato a Messina il 22/2/1900. Frequenta la Facoltà di Ingegneria di Palermo fino al 1921 quando si trasferisce al Politecnico di Milano (allora Regio Istituto Tecnico Superiore) dove si laurea in Ingegneria Industriale nel 1923. Ritornato a Palermo inizia una attività tecnico-commerciale come rappresentante di solai misti in cemento armato e laterizio, che vengono proprio allora introdotti nella pratica tecnica in luogo dei solai in ferri a doppio T e voltine, e dei solai in legno ancora in uso a Palermo. Si specializza nella nuove tecnica del cemento armato sperimentando per gli orizzontamenti e per le coperture di edifici industriali soluzioni costruttive originali. Sperimenta il solaio duplex, un nuovo tipo di solaio a nervature incrociate che viene adottato nella costruzione del nuovo palazzo delle Ferrovie a Palermo. Nel 1925 inizia l'attività di costruttore realizzando, su suo progetto, un edificio di 5 piani, a struttura interamente in cemento armato, in Via Tunisi a Palermo. Prosegue l'attività di progettista, calcolista e costruttore realizzando tra il 1927 ed il 1929 l'edificio di Piazza Virgilio. A seguito della recessione conseguente la crisi economica del 1929 abbandona temporaneamente l'attività di costruttore edile per dedicarsi alla costruzione, nel ruolo di appaltatore pubblico, di strade e ponti per conto della Provincia di Palermo. Si dedica alla costruzione di nuove strade, trasformazione di trazzere in rotabili, cilindrature stradali. Nel 1932 torna all'attività edile costruendo in proprio l'edificio di via Agrigento. Nel 1934 progetta e realizza l'edificio di via Simone Corleo e nel 1936 costruisce su suo progetto l'edificio di via Borrelli 50. Nello stesso periodo collabora con lo scultore Nino Geraci e con il pittore scenografo Gino Morici per lavori di interni privati (casa Savona (Pirajno et al., 2007), Foderà, Signa, Verzera, Arici ecc.). Nel 1937 progetta e costruisce il villino Verzera a Mondello. Per il cal-

colo delle strutture degli edifici in cemento armato, da lui progettati e realizzati, utilizza vari tipi di prototipi di calcolatrici meccaniche di sua invenzione. Nel 1940, scoppiata la seconda guerra mondiale, entra nel corpo dei Vigili del fuoco e vi resta fino al 1943, esercitando la sua perizia di ingegnere sotto i pesantissimi bombardamenti alleati che sconvolsero Palermo.

Nell'immediato dopoguerra, con l'Italia ancora divisa in due parti con i tedeschi al nord e gli americani in Sicilia, fonda insieme al geometra Giuseppe Vecellio, allora tecnico dei cantieri siciliani della Girola Costruzioni, l'Impresa Costruzioni e Ricostruzioni (I.CO.RI.) di cui assume il ruolo di Direttore Tecnico. In questa qualità prende parte a vari lavori di ricostruzione della città e, tra questi, ai lavori di ricostruzione del Palazzo di Giustizia di Palermo. Nel 1946, coinvolto dall'amico Gino Morici, partecipa alla produzione e gira un film, con la scenografia di Morici e con gli attori Aldo Silvani, Claudio Gora, Marina Berti, Flora Lillo ed altri. Chiusa la parentesi cinematografica e quella di direttore tecnico di impresa, riprende l'attività di progettista e realizza alcune nuove costruzioni tra cui, insieme all'architetto Giuseppe Vittorio Ugo, la nuova sede a mare del Circolo Canottieri Roggero di Lauria a Mondello Valdesi. In quegli anni riprende lo studio di una calcolatrice logaritmico-meccanica per il cemento armato, sviluppandone uno dei suoi prototipi e progetta la calcolatrice che metterà in produzione nel 1950 con il nome Arici T3.

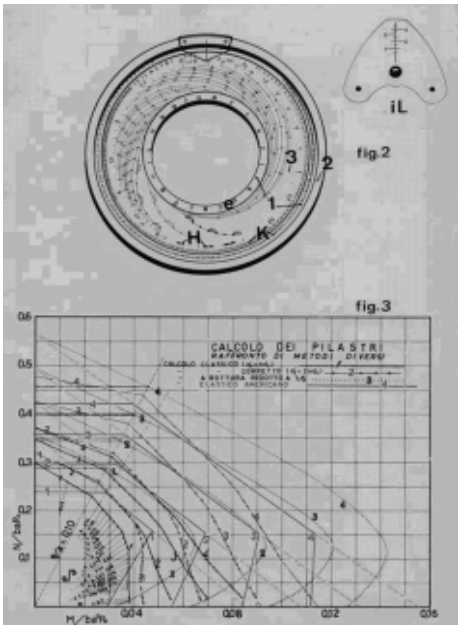


Fig. 8 – Disco intercambiabile e grafico per il calcolo delle armature nei pilastri

Negli anni seguenti si dedica alla produzione in serie ed alla commercializzazione della sua calcolatrice in Italia. Nel 1950 si reca negli Stati Uniti dove prende contatti per la commercializzazione negli U.S.A. e ne mette a punto il Brevetto internazionale. Nel 1956 espone alla Fiera di Milano e viene contattato dal gruppo Olivetti per la eventuale produzione e distribuzione della calcolatrice per cemento armato. Conosce in quella occasione Natale Capellaro e Mario Tchou, del gruppo dirigente Olivetti, e resta fortemente influenzato dalle loro innovative concezioni, ma il contatto con la Olivetti fallisce. Mette allora in produzione e lancia commercialmente il modello Arici 55 in Italia e all'estero. Vengono scritti i manuali di istruzione in italiano, francese e

spagnolo. In Italia la commercializzazione viene effettuata direttamente dalla D.I.C.T.A., sua società di distribuzione, all'estero in Europa dalla ditta Northern Europe di Bruxelles. Nel 1958 partecipa all'esposizione internazionale delle invenzioni di Bruxelles "EXPO 58" dove gli viene conferita la medaglia d'oro per le migliori invenzioni. Mentre prosegue l'attività tecnico-commerciale di distribuzione con la D.I.C.T.A., continua ad esercitare la professione di progettista strutturale. Nel 1963 viene invitato per un ciclo di conferenze presso alcune università americane e si reca nuovamente in U.S.A. dove prende contatti con l' American Concrete Institute, la Portland Cement Association e con la Soiltest Inc. per la distribuzione di un modello di calcolatrice americano. Sulla base della normativa sul cemento armato vigente negli Stati Uniti, che adotta il *calcolo a rottura* in luogo delle *tensioni ammissibili*, progetta un modello da distribuire tramite la Soiltest e ne costruisce il prototipo, la Arici 64. Ritardi nella traduzione del libro americano e l'impossibilità di recarsi nuovamente in quel paese per definirne gli aspetti tecnico-commerciali determinano la fine del sogno americano. Inizia la produzione del modello Arici 68 che contempla alcune nuove acquisizioni del modello americano e si dedica alla pubblicazione del periodico semestrale tecnico-specialistico Cemento-Acciaio. Continua la produzione e commercializzazione del nuovo modello fino al 1975, anno in cui ne cessa la costruzione, limitandosi a produrre gli aggiornamenti ed effettuarne le manutenzioni. Fino alla sua morte, avvenuta il 9/9/1980 si dedica all'assistenza ai clienti ingegneri ed a saltuari lavori di consolidamento e ripristino di costruzioni edilizie.

Conclusioni

A conclusione dell'articolo, si riportano le parole di Rosario De Simone e Fausto Provenzano: "Arici usò dell'opera architettonica come di un veicolo sintetico che era di per sé compatibile a rendere evidenti la serie di intenzioni e programmi nel campo delle strutture e delle tecniche costruttive, così come nel campo dell'economia del prodotto abitativo. Questo costante impegno sarà presente in tutto il suo lavoro fino a quando non troverà più opportuno intraprendere nuove esperienze; ciò fece più volte nel corso della sua vita, come indicano i momenti della sua biografia.

La disponibilità verso campi differenti e che tuttavia si intrecciano continuamente, solo in breve arco di tempo si concentrò nel campo dell'architettura, senza per questo precludersi alla vivacità e ricchezza di applicazioni parallele. La specificità dell'impegno figurativo costituì la stagione forse più esauriente delle sue tensioni, ma non fu certo l'unica, né fu vissuta con quella esclusività che a volte rende nevrotico l'operare dell'architetto nello stretto ambito disciplinare. Individuo per natura concreto e lontano da astratti dibattiti, ad Arici bastò cimentarsi nel fare belle case e, per certi versi, come si è visto ci riuscì. Il fardello di doverci per giunta

"credere"se lo risparmiò, e lo risparmia a noi oggi, a quanti almeno confidano sul fatto che l'architettura se arte, è la più indispensabile fra le cose superflue". (De Simone, cit.).

Cronologia della calcolatrice Arici

(Traduzione da W. Robbrecht, 2005):

Arici T3: 1950- Produzione e distribuzione di questo tipo in Bachelite con parti meccaniche in bronzo e ottone.

- Presentazione alla Fiera di Milano.

Arici 55: 1955- Anno di inizio della produzione. Costruzione ed assemblaggio a Palermo, alcuni pezzi sono fabbricati a Milano. Viene redatto un manuale in Italiano.

1956 - Presentazione alla Fiera di Milano. Brevetti in Europa.

1957- Presentazione all'Esposizione Internazionale Expo 58 a Bruxelles. Conferimento del premio: Medaglia d'Oro.

1960 - Viene redatto un manuale in Francese. Contatti con l'Università di Lovanio (Belgio). Vengono vendute le prime calcolatrici in Belgio e Francia.

1963 - Viaggio negli USA con conferenze presso le Università americane, l'American Concrete Institute, la Portland Cement Association e la Soiltest Inc.

1964 - Sviluppo e realizzazione di un modello per il mercato USA in accordo con le norme americane. Viene redatto un manuale in Inglese.

1966 - Si ferma la distribuzione in Usa. Gli items destinati agli USA vengono trasformati in un nuovo modello con nuovi accessori.

1967 - Inizia la pubblicazione della rivista tecnica "Cemento–Acciaio" (gratuita per i clienti e per ingegneri progettisti).

Arici 68: 1968- Anno di inizio della produzione e distribuzione in Italia.

1969 - Viene stampato un manuale in Italiano.

1972 - Produzione e distribuzione dei nuovi dischi per n=15 seguendo le nuove norme italiane.

1975 - Fine della produzione. La produzione complessiva stimata della calcolatrice Arici è di 300 unità per l'Arici T3, 1300 unità per l'Arici 55, 1100 unità per l'Arici 68.

Bibliografia e scritti.

G. Arici, *Prontuario per l'uso della macchina per il calcolo del cemento armato ARICI T3. Manovre e sviluppo dei procedimenti di ricerca,* D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1950.

G. Arici, *Le Calcul du Béton Armè a l'Aide de la Machine ARICI 55,* D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1960

G. Arici, *Nuove istruzioni per l'uso rapido della calcolatrice per cemento armato ARICI 55,* D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1968.

G. Arici, *ARICI 68: Uso, Procedimenti ed Applicazioni in 20 Esempi* – D.I.C.T.A. Ed., Palermo. 1969.

R. De Simone - F. Provenzano, *Giuseppe Arici* – Servizio speciale sulla Rivista "In Architettura", giornale della progettazione, n. 11, Palermo. Nov. 1982.

I. A. Provenzano, *Urbanistica e Architettura a Palermo fra le due guerre*, Pezzino Editore, Palermo. 1984

AA.VV., *Palermo: architettura tra le due guerre (1919-1939)*, S.F. Flaccovio Editore, Palermo. 1987.

M. DI LIBERTO - A. CHIRCO, *Via Libertà ieri ed oggi*, Dario Flaccovio Editore, Palermo. 1998.

P. BARBERA, *Architettura in Sicilia tra le due guerre*, Sellerio Editore, Palermo. 2002.

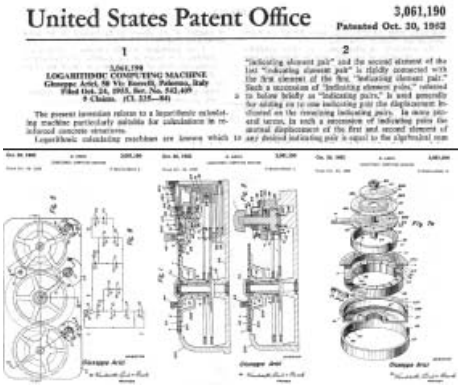

United States Patent Office 3,061,190 Patented Oct. 30, 1962

Fig. 9 – Brevetto americano della calcolatrice Arici

M.C. RUGGERI TRICOLI, *Dizionario degli artisti siciliani*. Vol I: architettura, Ed. Novecento, Palermo. 1993.

W. ROBBRECHT, *Introducing the Arici Mathematical Devices*, "Slide Rule Gazette, a publication of the UKSRC", Issue 6 , Hopp& Barnes Editors, Fordham, UK. 2005.

G. PASTORE, *Antikythera e i regoli calcolatori* - Tecnologia e scienza del calcolatore astronomico dei Greci. Istruzioni per l'uso dei regoli calcolatori logaritmici matematici, cemento armato e speciali, con numerosi esempi di calcolo, www.giovannipastore.it, G. Pastore Ed. Policoro (Matera), pp. 345-390, 2006.

M DI LIBERTO, *Le vie di Palermo*, Dario Flaccovio Editore, Palermo. 2006

R.PIRAJNO, A. M. RUTA, I. VESCO, *Gino Morici, un eclettico personaggio del Novecento palermitano*, Eidos edizioni, Palermo. 2007.

[1] Questo articolo, scritto da più autori e promosso da Enzo Siviero, vede compresenti il figlio di Giuseppe Arici (ingegnere e docente universitario) e la nipote Francesca (architetto e dottoranda). I tre punti di vista incorniciano da più angolature un professionista antico che pur nel tempo trascorso, può trasmettere non poche suggestioni a chi opera oggi e a coloro che opereranno domani.

Carlo Meola

Cento anni di solitudine nell'Irpinia balcanica. Emigrazione, capitali ed elettrificazione a Greci

Origine del capitale

Quella mattina del lontano gennaio 1897 il piccolo Carlo Meola, primogenito di molti fratelli (papà Marco e mamma Assunta avrebbero messo al mondo ben 14 figli), fece una terribile gaffe, le cui conseguenze avrebbero segnato la sua vita. L'attempato ladruncolo, da lui sorpreso a tagliare una quercia ai limiti del podere paterno, invece di scappare all'arrivo del cane, un maestoso "corso" richiamato dalle sue grida, si era limitato ad accarezzare lui ed il cane che scodinzolava festoso invece di ringhiare.

Il presunto ladro di legna, gli rivelò non solo di essere suo nonno e suo omonimo, ma anche di essere il legittimo proprietario del podere; aveva quindi aggiunto, in modo ironico che, se Marco ed Assunta avessero continuato a fare figli, la legna se la sarebbero dovuta andare a fare in America, magari nel bosco alla periferia di Canton dove viveva suo zio Nicola, emigrato da una decina di anni.

All'età di quindici anni, Carlo, avendo constatato che la mamma aspettava un altro fratellino, volle che lo si battezzasse con il nome di Nicola; questo gli diede modo di comunicare allo zio d'America la bella notizia e al tempo stesso di chiedere consiglio per emigrare a sua volta.

L'11 maggio 1902, diciassettenne, sbarcava dunque ad Ellis Island, dalla nave Karamania, per poi recarsi dallo zio a Canton, dove da anni esisteva una piccola comunità "*arberesh*": la diaspora albanese, che aveva lì, come in altri posti tra cui Lodi nel New-Jersey, ricreato una nuova *Katundi* (Greci in albanese) con varie *fis* (famiglie), ed in cui riporre la *bes* (fiducia totale della antica tradizione arberesh).

L'emigrazione da Greci (fig. 1), e dalle altre comunità albanesi (specialmente siciliane e calabresi) verso gli Stati Uniti, alla fine dell' '800, era stata così intensa che si diceva che l'albanese-italico era una delle lingue ufficiali di Garden Castle (già Clinton Castle, fig. 2), una celebre fortezza "centro di accoglienza" su un isolotto a cento metri da Manhattan a New York. Qui il "capitale umano" veniva custodito e salvato dalle organizzazioni criminali oltre che dai "pirati" di manodopera di vario tipo.



Fig. 1 -Greci in una cartolina di inizio Novecento

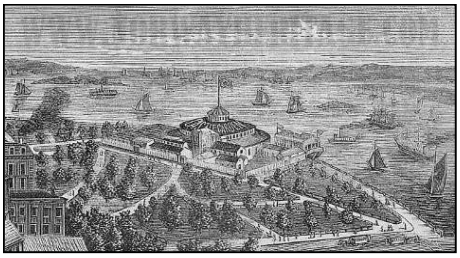


Fig. 2 - Garden Castle

Per valutare il fenomeno, si pensi che, malgrado la prolificità delle "spose" (prolificità in parte giustificata anche dall'elevata mortalità infantile) gli abitanti di Greci erano scesi da circa 5000 nel 1880, a poco più di 3000 nei primi del '900.

Nel 1905 Carlo fu raggiunto a Canton dal fratello Leonardo, quindicenne, sbarcato a New York col piroscafo Berlin. Insieme, diedero vita ad una piccola, ma redditizia, fabbrica di mattoni che consentì loro di mettere da parte un po' di denaro ("pezze"), per tornare in Italia varie volte, e quindi sposarsi. Carlo partecipò con "onore" persino alla prima guerra mondiale, dove, fatto prigioniero, scappò con l'aiuto di *arberesh* austriaci ed ebbe una croce di ferro al valore, dopo essere stato proposto per la medaglia d'argento.

Al ritorno dalla guerra scoprì che a Greci, dove aveva lasciato la moglie, la "spagnola", aveva reso lui vedovo e, orfano a soli tre anni, suo figlio Matteo il quale, affinché Carlo potesse tornare in America, fu lasciato alle cure delle giovanissime zie. Nel frattempo, una visita alla comunità *arberesh* di Lodi, dove si era sviluppata una fiorente industria tessile, convinse Carlo che il futuro delle attività imprenditoriali era legato ormai all'elettricità e che le prospettive delle aziende elettriche erano più che rosee, avendo constatato come quest'ultime, di fatto, potessero non solo avere grandi profitti ma anche un potere di sviluppo e controllo per l'intera produzione industriale.

Allorché anche le sorelle e l'altro fratello Nicola progettarono di trasferirsi a New York (avvenne nel 1923), Carlo, che non amava il Bronx, si preoccupò della sorte del figlio Matteo. Durante una visita a Greci si risposò ed al tempo stesso decise di costruire una centrale termoelettrica e quindi un'azienda in grado di fornire l'elettricità a Greci e dintorni. Non vi erano in quei paraggi risorse idriche significative né, all'epoca, alternative al termoelettrico. Nelle intenzioni originarie, Carlo non aveva rinunciato a tornare negli States, pensando di affidare l'azienda al fratello Leonardo e/o alla moglie, nei suoi periodi di assenza dall'Italia.

Nascita di una azienda elettrica in alta Irpinia

Creare un'azienda elettrica a Canton, avrebbe posto solo problemi tecnici e finanziari, cose che, giovanissimo, Carlo aveva già fronteggiato con successo. In Italia, invece, la gestione "legale" e burocratica del progetto fece scivolare il nostro pur coraggioso e tenace imprenditore in un lunghissimo tunnel, essendo di fatto costretto ad affidarsi a legali, notai e mediatori vari!

Il tutto si concluse finalmente con la creazione di una regolare società: la dit-

ta "Fratelli Meola - Azienda Elettrica e Molini", che nell'anno di grazia 1924, nasceva con un capitale interamente versato di 600 mila lire. In realtà, costi accessori sproporzionati, alcune truffe subite e correlate alle suddette vicende legali, misero in gravissime difficoltà la giovanissima azienda elettrica.

Alla fine degli anni '20, vinte tutte le cause, l'azienda era però sopravvissuta e definitivamente di proprietà dei fratelli Meola. Le vicende umane, legali e burocratiche, ebbero, agli occhi dei compaesani grecesi, dimensione di epopea che fu ricordata, secondo costume di Greci, con un canto-nenia in albanese ("cikki-gniakku 'ma bursi chiena") ed utilizzato dalle mamme come ninna nanna fino agli anni '50.

Occorre qui, per inquadrare i fatti, dare delle scale, ricordando quanto accadeva altrove. Nel sud, a Capua ed Avellino, erano state realizzate, prima ancora della nascita della SME, delle piccole centrali termoelettriche ed a Napoli, alcuni teatri, avevano realizzato delle centrali elettriche per la loro illuminazione, più per il capriccio dei loro nobili proprietari e frequentatori, che per vere e proprie esigenze produttive.

La SME era nata nel 1899 ad opera della Compagnia Napoletana di Illuminazione e Gas, della Comit e della Società Franco Suisse di Ginevra, ed aveva poi realizzato una centrale elettrotermica agli inizi del secolo (Bufola 26 KVA), ma la prima centrale a Napoli, la Maurizio Capuano al porto, entrò in funzione solo nel 1925. Non c'è da meravigliarsi: all'epoca l'ingegneria elettrotecnica non esisteva in Italia e la richiesta stessa di energia elettrica era scarsissima perfino a Napoli.



Fig. 3 - I tecnici della Muzzi

L'azienda elettrica vera e propria, dotata di un gruppo elettrogeno azionato da motori diesel, fu progettata e realizzata dalla Muzzi (oggi Muzzi-Costruzioni Meccaniche). La presenza dei tecnici della Muzzi fu un'assoluta novità ed il paese immortalò con una foto cartolina la loro presenza (fig. 3).

L'impianto era in grado di elargire una potenza di "ben" 150 KVA... ma iniziò nel 1924 la sua attività con un'utenza limitata solo a Greci paese e costituita da sole 34 utenze forfettarie, cioè senza contatore (illuminazione casalinga serale con due lampadine da 15 watt), un mulino (il proprio), e dall'impianto di illuminazione pubblica: una vera ancora di salvezza.

Il relativo contratto con il comune mise a dura prova le parti ed i relativi legali anche per... l'assoluta mancanza di normativa e di precedenti, diventando un prototipo adottato e seguito in innumerevoli comuni del sud.

La Fratelli Meola durante il regime fascista

La giovane società, di Carlo (2/3) e Leonardo (1/3), per sopravvivere, cercò di utilizzare il surplus di potenza elettrica generabile, con ulteriori imprese; utilizzando dei motori elettrici ed altre macchine, la Fratelli Meola aggiunse all'attività molitoria, quella olearia (frantoio) e quella di pastificio (con poca fortuna) fino ad attività agricole come la trebbiatura e la sgranatura, per conto terzi e su aie comunali. Si riportano qui, con evidente analogia ad immagini dell'Istituto Luce ('il duce che trebbia'), foto di questo tentativo di elettrificazione agricola ingentilite dalla presenza della nuora di Carlo con l'antico costume di Greci. I vecchi metodi di trebbiatura: pietre trascinate sulle messi da due muli (fig. 4).



Fig. 5 – Azionamento motore elettrico



Fig. 4 - Vecchi metodi di trebbiatura



Fig. 6 – Raccolta della paglia

Sull'aia viene azionato un motore elettrico: sullo sfondo l'edificio della centrale (fig. 5).

Alle spalle della rudimentale trebbiatrice si raccoglie la paglia dei covoni: una leccornia per il povero mulo (fig. 6).

Ovviamente vi furono diverse difficoltà, in primis, il reperimento di operai. All'inizio, ai due proprietari Carlo (fig. 7) e Leonardo, si aggiunse il primogenito di Carlo, Matteo, che, pastore fino ai 13 anni, era diventato poi motorista a 15 (aveva avuto il diploma dalla Muzzi: all'epoca le industrie rilasciavano diplomi di tecnici e motoristi!).

All'inizio degli anni '30 però, Leonardo era costretto a tornare negli USA per racimolare finanziamenti dalla *fis* che viveva lì; inoltre Carlo, anche a causa di una grave infermità occorsa alla seconda moglie, mai ripresasi dallo shock delle vicende giudiziarie, mandava i figli Matteo e Marco Alberto a studiare in un collegio salesiano. Leonardo, poi, sarebbe perito in un incidente negli States lasciando a Greci moglie e due figli in tenera età. Carlo rimasto solo, trasformò, in tempi successivi, un barbiere (Alfredo Zoccano), due agricoltori (Cesare Mazzetta e Matteo Mascia), ed un mugnaio flautista (Pasquale Scrima), in polivalenti operai elettromeccanici. Essi costituirono un nucleo fisso nell'azienda, per molti anni. A questi si aggiungevano, quando occorreva, operai saltuari e talvolta, fino al 1944, operai del nord che per motivi politici venivano spediti in confino a Greci. D'estate, e durante le feste natalizie, lavoravano comunque per l'azienda i due figli di Carlo, Matteo e Marco Alberto, il nipote-figlio Armando, orfano di Leonardo: tutti "studenti lavoratori" secondo logica e tradizione "made in USA". L'azienda sopravvisse, prosperando "purtroppo" meglio dell'economia di Greci, e salvandosi, in qualche circostanza, grazie all'aiuto finanziario del fratel-

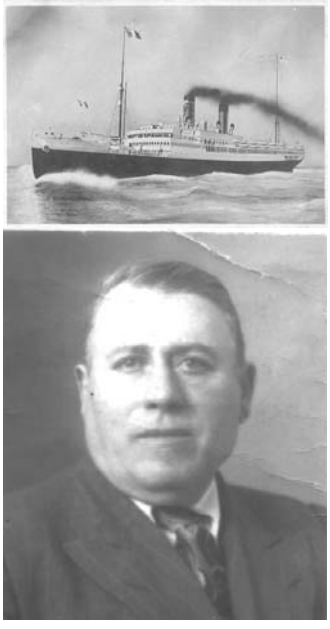


Fig. 7 – Il Karamania e Carlo Meola



Fig. 8 – Nicola Meola

lo minore Nicola che, rimasto a New York, era diventato proprietario di una catena di supermercati nel Bronx (fig. 8).

Vi era stata intanto un'importante svolta della storia dell'elettrotecnica: la SME aveva introdotto nel '28, prima nel paese, il trasporto in alta tensione e la rete unificata e l'elettrificazione si era quindi incamminata in questa direzione. La Fratelli Meola si era dunque adeguata a questa svolta eliminando la termogenerazione ed occupandosi solo di distribuzione. Acquistava energia dalla società Campania, impegnandosi ad un minimo forfettario di 100 KW a 2000 Volt, la trasportava, la trasformava e la distribuiva alla tensione di esercizio. La sua vecchia centrale era diventata una piccola stazione di trasformazione. La svolta, aveva risolto molti dei gravi problemi dei primi piccoli pionieri dell'elettrificazione, a cui rimaneva solo la distribuzione (e le licenze di distribuzione molto appetite da società più grandi come la Campania che erano pronte a comprarle). Il bilancio imprenditoriale per Carlo Meola non era certo proporzionato all'impegno profuso, né premiante per la giustezza intrinseca dell'opera intrapresa. La sua azienda rimaneva prigioniera dell'economia di Greci e questa non poteva decollare, non tanto per la mancanza di finanziamenti (gli intraprendenti arberesh sapevano procurarsi i capitali), quanto per l'assoluta mancanza delle infrastrutture. La strada nazionale passante sul fondo valle di Greci era comunque l'antica via Flavia che Orazio aveva già percorso nel suo viaggio a Brindisi (*Satire:... aqua rarissima , panis longe...etc.*). Qui passava anche il collegamento ferroviario tra Puglia e Campania, allora come adesso, di una "ingiustificabile" inefficienza viste le notevoli esigenze di trasporto dei prodotti agricoli per le storiche industrie conserviere campane (come oggi provato dagli impressionanti trasporti autostradali su Tir).

Il fascismo, aveva fatto poco per lo sviluppo dell'economia dei paesi montani. La bonifica della pianura foggiana, assieme alle sanzioni delle Nazioni Unite, dando impulso alla produzione granaria, avevano fatto sviluppare la meccanizzazione di attività come la trebbiatura e quella molitoria, provocando un percepibile aumento di fabbisogno e consumi di energia elettrica. Sfortunatamente però, la politica granaria finì per convertire l'economia montana di Greci, orientata alla pastorizia ed alla produzione di bestiame (passava per Greci un millenario tratturo: la transumanza che partiva da Pescasseroli), in una economia agricola orientata quasi esclusivamente alla produzione di grano duro e mais. Mutati i tempi, la produttività sarebbe collassata in modo irreversibile a causa della distruzione di imponenti boschi e dei pascoli estivi distesi su una trentina di kmq di territorio in altopiano (600-1000 m.s.l.m.) e della decadenza di oliveti e vigneti, questi ultimi un tempo rinomati (Taurasi non è lontana), e mai più ripristinati dopo la filossera.

Carlo Meola, tuttavia, allora non era un uomo infelice perché, come soleva

dire, sentiva attorno a sé i segni inevitabili del progresso; inoltre la sfortuna dei suoi matrimoni era, allora, alleviata dalla felice realtà dei suoi due figli. Il primo, Matteo (fig. 9), laureatosi in matematica nel 1938, il secondo Marco Alberto, brillante studente di ingegneria elettrotecnica, erano, come si soleva dire, ragazzi d'oro! Anche i giovani orfani di Leonardo, Maria (che aveva superato con grande forza d'animo i postumi di una poliomelite) ed Armando, suoi secondi figli, promettevano bene, partecipando alla vita dell'azienda e studiando con profitto. Questi gli accadimenti fino a qualche anno prima dell'inizio della seconda guerra mondiale.



Fig. 9 – Matteo Meola

Il periodo bellico e post-bellico fino agli anni '60

Il periodo subito prima, durante e dopo il conflitto, fu drammatico per l'azienda, e la famiglia di Carlo. Durante la guerra, l'illuminazione e soprattutto le attività molitorie, continuarono perché la Fratelli Meola (Matteo, laureato in matematica, era anche studente in ingegneria) riuscì ad usare come fonte di energia una ruota ad acqua che sfruttava il deflusso delle acque di un ruscello. L'attività consentì alla popolazione locale di sfuggire in parte ai morsi della fame che devastarono letteralmente il paese nelle fasi finali della guerra. Il dopoguerra stesso fu molto difficile anche per l'azienda. Fino agli anni 50, le uniche fonti di approvvigionamento materiali furono quelle dei residui bellici: dalla componentistica dei carri armati (p.e. cuscinetti a sfera) a quella dei camion militari (i Dodge). Preziosi furono i fili di rame "armati" con cavo di acciaio già in dotazione per le prolunghe dell'esercito alleato, per l'alimentazione ed il sostegno delle lampade della illuminazione pubblica.

Il crudo inverno di Greci aggrediva i porta lampade sospesi con le raffiche della bora dei Balcani che riesce, ancora oggi, a seppellire sotto la neve perfino le abitazioni (fig. 10).Tali materiali erano ovviamente reperibili solo su mercati speciali come quello di Poggioreale



Fig. 10 – Greci sotto la neve

e con provenienza di origine molto poco controllata.

Le peripezie dei figli dei fondatori Carlo e Leonardo, ormai giovani adulti e parte attiva nell'azienda, furono non meno notevoli. Matteo non aveva indossato la camicia nera durante la sua seduta di laurea e questo gli costò un misterioso ostracismo "postale". Le sue domande di neolaureato a concorsi vari e/o di supplenza arrivavano sempre troppo tardi; così dovette accettare un incarico alla scuola nautica di Procida dove l'umidità della abitazione che era riuscito ad affittare (il sospetto di antifascismo equivaleva allo stato di extra comunitario attuale) gli provocò una nefrite acuta seguita da una flebite. Le malattie lo salvarono dagli obblighi militari e dalla guerra, ma gli causarono due infarti precoci: il primo a 35 anni ad Avellino, dove si era trasferito alla fine della guerra, per contribuire alla conduzione dell'azienda, il secondo, fatale, a 42 anni a Napoli, dove, per motivi di salute, si era ritrasferito.



Fig. 9 – Marco Alberto Meola

Marco Alberto, ancora studente del biennio di ingegneria era partito per la guerra come sottotenente dell'artiglieria (fig. 11) dove aveva collaborato all'inizio con reparti tedeschi in Toscana per funzioni di guardia costiera. Subito dopo l'armistizio italiano era rimasto "incastrato" nell'esercito della repubblica di Salò da cui era miracolosamente fuggito. Aveva quindi ripreso a studiare laureandosi rapidamente in ingegneria elettrotecnica: un corso di laurea relativamente recente e comunque istituito molti anni dopo la fondazione dell'azienda elettrica paterna.

Nel dopoguerra la 'DC dei terroni' (raccogliendo i voti del sud cattolico ed anticomunista) vinceva varie elezioni salvando la grande industria nel Nord ed i piccoli imprenditori borghesi dalle grinfie di "Baffone"; "Peppone e compagni" spaventavano la Padania di quei tempi! Anche il Nord-Est era allora molto cattolico e povero quasi come Lucania, Puglie, Calabria, Sicilia e la Campania "felix"! I governi democristiani, a differenza dei Savoia, non spedirono vagoni di soldatini meridionali nelle trincee del Carso. Viceversa essi ricostruirono, o realizzarono, certo non a costo zero come con le riforme universitarie, molte infrastrutture nel Nord tra cui reti ferroviarie ed autostradali (solo più tardi un impegno analogo si estenderà anche per ragioni di mercato, al Centro ed al Sud, con l'autostrada del Sole). Al

tempo stesso fecero del loro meglio (ed anche di più), per salvare o far nascere grandi complessi industriali del Nord quali l'Olivetti, la Montedison, la Fiat, la Pirelli etc. Un esercito di 'terroni' si trasferiva, stavolta con mezzi propri, verso le terre in cui splendeva il sole dell'avvenire.

Il dopoguerra di Greci fu lunghissimo, la popolazione che era diminuita dal 1920 alla fine degli anni trenta del solo 15 per cento (da 3200 a 2800), subì una riduzione molto più drastica dimezzandosi tra gli anni '60 ed '80. Gli italiani si divertivano a vedere "Rocco e i suoi fratelli", e nei cineforum gli intellettuali discutevano a lungo sui messaggi sociali ma anche freudianamente liberatori del film! Il dopoguerra non era finito nemmeno per l'università italiana in stato comatoso già da prima della guerra per le sciagurate leggi razziali che avevano specialmente colpito i bienni delle facoltà di ingegneria. Queste in particolare, sottodimensionate fino al "deprecato '68", furono gli arti focomelici di una ricostruzione industriale che, pur di notevoli dimensioni, non aveva nel suo DNA inclinazione ad innovazione e ricerca tipiche della vocazione ingegneristica.

Dalla nazionalizzazione alla fine della prima repubblica

Nei fatti, e fino agli inizi degli anni '60, la Fratelli Meola nuotando in un mare popolato da pesci come la SME, l'Edison, etc. poteva affermare, come il "ciciniello" della gastronomia partenopea o la "ceca" livornese: "anche io sono un pesce". Con il primo governo di centrosinistra, il vetusto e malandato, ma non passivo "ciciniello", venne "ope legis" acquisito dall'ENEL. Il neonato ente statale, dopo aver definito il proprio quadro dirigenziale (scelto naturalmente recuperando integralmente i quadri di colossi elettrici talvolta passivi), nazionalizzò e si accinse anche a ristrutturare le arretrate aziendine di elettrificazione dei piccoli paesini, tra cui quella del comune di Greci.

Fortunatamente, per così dire, il fondatore dell'azienda, Carlo Meola, era morto da qualche anno, anche perché annichilito dalla scomparsa prematura del figlio Matteo. L'ENEL provvide anche, dopo un congruo (e ben accetto) aumento di stipendio, ad assumere solo due degli operai della vecchia azienda che, poco dopo, andarono in riposo con pensioni e liquidazioni i cui notevoli costi erano stati preventivamente detratti dal già magro rimborso dato ai proprietari della Fratelli Meola per la nazionalizzazione. Le scelte fatte lasciarono disperati gli operai non assunti. Ancora più grave fu l'ulteriore spopolamento di Greci, dovuto alla successiva, inevitabile concentrazione e localizzazione dei centri dell'ENEL, in città o centri abitativi di maggiore dimensione. L'anacronistica ed improduttiva agricoltura granaria, sviluppata dal fascismo, ormai abbandonata, non aveva alcuna attrattiva per i giovani.

Infine, la politica gestionale di stampo politico-statale, della giovane ENEL, gravata da costi più elevati di quelli della gestione privata (erano lauti, allora, gli stipendi di innumerevoli dirigenti e

dipendenti), condusse, in seguito, a notevoli aumenti dei prezzi tariffari e ciò malgrado il controllo politico della scala mobile ed una certa stabilità dei costi del petrolio di quei tempi. Spiccava in positivo, viceversa, la volontà di istituire validi centri di ricerca per l'ingegneria e l'energetica, un vero fiore all'occhiello del nuovo ente. Nei fatti, però, con l'istituzione dell'ENEL, sarebbe stata soffocata ogni iniziativa diretta verso l'alternativa nucleare, la sola capace di ridurre significativamente i consumi di petrolio.

Fino agli inizi degli anni '80, in Italia, anacronistiche ed inquinanti acciaierie nelle grandi città del Sud, vetuste ed obsolete industrie chimiche e meccaniche a Nord, ingoiarono uomini e risorse. Le periferie urbane diventano disumani ghetti, mentre comunità di contadini-pensionati sopravvivono in solitudine nei centri rurali. Grandi assenti, salvo qualche eccezione nel sistema produttivo, sono università, centri di ricerca ed in definitiva l'ingegneria industriale.

Il paese fa a meno dell'ingegneria, ma poi…guarda con invidia il sistema universitario americano e arriva al paradosso di voler far valutare la propria università da giurie "internazionali": la moglie affidata al sagrestano!

In questo stato di cose sopravvengono le distruzioni ed i morti provocati dal grande terremoto dell'80 Quest'ultimo, tuttavia, non fu solo il colpo di grazia di tale processo di necrosi del Sud contadino, ma lo mise sotto i riflettori dell'Europa intera, favorendo la presa di coscienza di componenti politiche responsabili, primo tra tutti il presidente Pertini. Il pur concreto intervento dello Stato, dopo il terremoto, ebbe varie conseguenze sia nelle zone terremotate che nel resto del paese. Vi fu, con la partecipazione dello Stato il ripristino e la ricostruzione edilizia civile ed industriale nei centri colpiti. Queste opere, purtroppo, si trasformarono spesso, non in tessuto urbano vivo, ma piuttosto in parchi di "seconde case". Al tempo stesso quei fondi mancarono molto agli altri usuali beneficiari di Pantalone: Roma aveva ripetuto gli errori fatti in Etiopia. Case e infrastrutture nella colonia, anziché in Padania. La piega della politica nazionale subisce anche le spinte decisive di altre vicende. La caduta del muro di Berlino già preceduta dallo stop ad ogni ipotesi di governo con i comunisti (uccisione di Moro) rende la presenza della DC inutile per i piccoli imprenditori "produttivi" del Nord, come inutile diventa per le democrazie atlantiche l'anticomunismo della chiesa cattolica in occidente o quello dell'Islam in Medio Oriente. La DC del Nord viene di fatto sostituita dalla Lega, la cui nascita segna anche la fine della prima repubblica e l'inizio della ondivaga vicenda politica della seconda repubblica, fino ai nostri giorni.

La coscienza della necessità di tracciare un quadro di priorità di tipo nazionale, o almeno europeo, si affievolisce completamente (con l'eccezione della realizzazione della moneta unica), e si da il via libera ad operazioni di privatizzazione di ogni settore.

Riprivatizzazione e ricomparsa della produzione elettrica a Greci

Accanto alla situazione nazionale si aggiunge, perenne e perfino peggiorata, una situazione internazionale in cui petrolio, nucleare, tecnologie, ambiente e finanza si ritrovano, quasi perversamente intrecciati, alle problematiche energetiche. Da tali intrecci, in fondo, hanno avuto origine le direzioni, all'apparenza contraddittorie, della legislazione energetica: passata dalle origini private (con fondi privati), alla nazionalizzazione, e poi ad una riprivatizzazione che utilizza fondi di Stato. Gli ultimi finanziamenti avvengono solo a favore di iniziative capaci di ridurre, ma non troppo (escludendo cioè il carbone ed il nucleare), i consumi di gas e petrolio: dai finanziamenti per la cogenerazione, a quelli per il solare (trappole solari e fotovoltaico), per il vento ed infine l'utilizzo delle bio-masse non-fossili e rinnovabili, di nuovo grano e mais e magari rifiuti urbani.

Quasi per nemesi storica, allora, compaiono oggi, sullo spoglio paesaggio dell'altopiano di Greci, una cinquantina di mulini eolici: un vero e proprio parco con una potenza di punta di 26 MW ed una produttività di circa 2000 ore annue (fig. 12).

I gruppi eolici sono, in prevalenza, da 0.6 MW di produzione Vestas. La loro progettazione e realizzazione è stata fatta della IVPC su terreni presi in fitto dai piccoli possidenti. La IVPC è una società sorta ad Avellino che si sviluppa poi con numerose sigle (1, 2, 3, 4); nel 2004 ha avuto un fatturato in Italia di 81 milioni di euro. IVPC è soggetta al controllo di una società irlandese, la Trienergy Ltd, a sua volta controllata dalla UPC una società di diritto americana assieme alla Enenrgiel BV olandese. UPC è leader mondiale nel controllo della generazione eolica ma opera prevalentemente in Italia dove lo stato è il suo principale cofinanziatore; Trienergy e IVPC interagiscono con Unicredit Infrastrutture. Il tutto rientra in un forse utopistico quadro di legislazione europeo, teso a favorire le fonti di energia rinnovabili e nell'ambito del quale si possono anche fare buoni affari. Lo sviluppo di queste opere di efficacia incerta, se realizzate nell'ambito dell'economia di mercato, richiedono garanzie di profitto per i gruppi d'investimento e questo si traduce in elevati co-



Fig. 12 – Impianti eolici

sti pubblici. Infatti, oltre ai cofinanziamenti diretti dello Stato, c'è anche, da parte del gestore della Rete Nazionale, l'impegno al ritiro totale dell'energia prodotta ai costi di distribuzione. In paesi liberali come gli USA, UPC è presente, per l'eolico, in misura molto ridotta.

A Greci non si è giunti, ancora, alla generazione di energia elettrica per combustione di rifiuti urbani: sarebbe antitetica all'ecologia dell'eolico ma il denaro, che fa venire la vista ai ciechi, toglie l'olfatto anche ai cani da caccia. Le battaglie contro le discariche (già presenti o in progetto nei paraggi Ariano e Savignano) si potrebbero tramutare in battaglie a favore della neo termo-generazione, con l'usuale "specchietto per le allodole": sostituire l'oro nero del petrolio con biomasse (ancora grano e mais) o con l'oro di Napoli: i rifiuti urbani. Basterebbero gli aiuti di ulteriori "illuminate legislazioni". Del resto, per far danaro con le "bufale", non è necessario fare mozzarelle!

Conclusioni

Che cosa c'entra questa piccola, autobiografica cronaca grecese con la storia dell'ingegneria di questo paese? È implicito che ogni storia di emigrazione è soprattutto una storia di emigrazione della "qualità"! Parafrasando il celebre marchese di Caccavone: *"l'uommene sentenno l'uosemo, se ne' so' fuiute e' pressa …ca' so' rimaste sule e' fessi"*. L'università italiana, ed in particolare le facoltà di ingegneria, sono diventate per chi scrive quello che fu Greci per Carlo Meola: una perenne trasformazione "a costo zero" per pubblico e privato! L'"uosemo" (puzza di bruciato) è evidente! Decisioni sul nucleare affidate a referendum fanno il paio con le lauree brevi. Calcoli strutturali (ex gloria italiana) di grandi opere, affidato a periti informatici con codici "taroccati" fanno il paio con agriturismo senza turisti e senza contadini, e così via. Il tutto assecondando uno spirito d'impresa che vuole fondare il suo successo su finanziamenti statali e/o riduzione dei costi del lavoro. Miti da terzo mondo.

Un paese che vuole e deve produrre, soccombe se incapace di utilizzare la più importante delle risorse: l'ingegneria nella sua accezione più alta, quella del detto di Leonardo "*quando ti avviene di parlar dell'acqua consulta prima la 'sperienza e poi la ragione*". Esperienza e ragione, infatti, accanto alle doti intrinseche di Leonardo di tenacia e invenzione, segnano la storia ed il perenne cammino dell'ingegneria in ogni latitudine.

Mónica Silva Contreras

Puentes colgantes entre las estructuras metálicas de la arquitectura venezolana en la década 1920

Los puentes han sido claves en la historia de la arquitectura para enfocar la idea de monumento hacia piezas con valor principalmente técnico. Lo que haría estéticamente valioso al Palacio de Cristal de Pastón, sorprendente a la Torre Eiffel y notable a la Galería de las Máquinas de 1899, era similar a lo que hizo posible la construcción de los viaductos de George Stephenson, Isambard K. Brunnel o el mismo Eiffel, por nombrar sólo algunos.

De ahí la consideración de los puentes como parte del patrimonio construido. También debido a su significado histórico, económico o social, además del técnico, instalaciones fabriles, ferrocarriles, puertos y otros sistemas de comunicación, tienen un valor basado en múltiples lecturas para su conservación.

Tal vez fuera con los puentes como mejor se aprovecharon las ventajas, genuinamente modernas, de las estructuras metálicas, producidas en otras latitudes, e importadas y ensambladas en Latinoamérica. Así ocurrió en Venezuela, donde la estandarización fue la base para su importación y montaje, así como para mudarlos y reedificarlos en distintos emplazamientos.

1910, año Centenario

Mediante un decreto presidencial se ordenaba la construcción de cinco nuevos edificios públicos en Caracas, entre otras obras que llevaban, implícita o abiertamente, el compromiso de usar concreto a partir de la producción en la recién estrenada Fábrica Nacional de Cemento[1] La celebración de la Independencia nacional se convertía en un laboratorio de prácticas para los profesionales de la construcción en Venezuela.

Pero con el Centenario se buscaba llevar la celebración más allá de los límites urbanos. A partir de ese año se dedica la mayor parte del presupuesto de obras públicas al establecimiento de una red de carreteras por todo el país. El objetivo era la integración de un territorio que sólo en parte había sido conectado a fines del siglo XIX mediante ferrocarriles incompatibles entre ellos. La meta se cumpliría y la Memoria y Cuenta que anualmente rendía el Ministerio de Obras Públicas al Congreso de la República reseñaría con orgullo en 1929: "el sitio predominante que asignan a Venezuela los datos estadísticos como país de alto kilometraje caminero de las Américas…".[2]

Así, en abril de 1910 es decretada la Carretera Central del Táchira, región natal del entonces presidente Juan Vicente Gómez. Obra de prioridad presidencial, redundaba en beneficios más allá de lo económico. Señalaba Luis Vélez, Ministro de Obras Públicas en

1915: "…dada su magnitud, inusitada entre nosotros en trabajos de esta naturaleza, se ha obtenido un cúmulo grande de enseñanzas prácticas y saludables, por la aplicación de métodos de estudio y de organización de trabajos, depurados ya y seleccionados, en vista de nuestras condiciones locales, hábitos y costumbres; beneficio éste, como hemos dicho en otra ocasión, de gran valía para la práctica profesional y para la economía de las obras que en lo futuro se emprendan entre nosotros".[3]

La política de carreteras gomecista exigía la construcción de un número de puentes sin precedentes en el territorio nacional. La práctica del oficio y las capacidades adquiridas para el mismo resultaban para el Ministro tan valiosas como el objetivo político y económico de una red de carreteras. Los obstáculos para su traslado no sólo generaban un enorme trabajo de logística, sino que generaban enormes gastos que sólo podía justificar la urgencia por instalar un paso, a veces irremediablemente metálico, sobre un río.

Moderna construcción metálica

La mayor parte de los obstáculos geográficos en la construcción de las carreteras que configuraban ese sistema fue solventada mediante la importación de estructuras metálicas desde Europa y los Estados Unidos. Su compra conllevaría a la adopción de medidas estándar con puentes prefabricados en los lugares necesarios, determinados por las Comisiones Exploradoras del Territorio. De este modo, en enero de 1915 se publicaban las especificaciones y costos, con gráfico de las estructuras incluido, para la instalación de puentes con armadura metálica de 18 metros (60 pies), 24 metros (80 pies) y 30 metros (100 pies), los más usuales en las carreteras de ese tiempo.[4] Las ventajas de la producción en serie y de la estandarización tipológica se combinaban con la contradictoria situación de ensamblar estructuras diseñadas, fabricadas y adquiridas bajo conceptos modernos en parajes lejanos a toda forma de modernidad. En ese sentido, fue tan notable la implantación de procedimientos regulares para la importación y emplazamiento de los mismos por parte de los profesionales venezolanos, como el esfuerzo por movilizarlos en territorios apenas explorados.

Sobre los tres puentes que por esos años se habían construido en la zona andina del país - los puentes sobre el río Quinimari, sobre el río Torbes en la Carretera Central del Táchira y el puente sobre el río Frío - se comentaría: "Estos tres puentes han ofrecido la circunstancia especialísima de que, teniendo que ser transportados a lomo de mulas todas sus piezas, inclusive los propios cables, de excesivo peso, se planteado la cuestión de su transporte como un problema de difícil solución…".[5] La construcción de estas obras de arte implicaba abrir la vía "a los vehículos o bestias, según el caso, que lleven los materiales, víveres y demás elementos necesarios a la ejecución de dichas obras".[6] De hecho, el orden de los trabajos estaba afectado por el desamparo en lugares deshabitados.

Instrucciones para encargar puentes

El puente colgante encargado en 1914 a *John A. Roebling's Sons Co.* en Trenton (New Jersey), para cruzar el río Frío en Táchira, según proyecto inicial de Luis Vélez, no sólo trasciende por haber sido pedido a una importante firma. Para ese momento era "el puente de mayor abertura construido hasta ahora en el país", con 100 metros entre sus torres de 8,92 m de altura y sólo 2,13 metros de ancho.[7] Pero su imagen es notable también porque la experiencia de su construcción describe la complejidad práctica que representaba transportar estructuras de esta categoría a las difíciles ubicaciones geográficas en que eran necesarias.

Toda la correspondencia referida al encargo del puente sobre el río Frío fue publicada como base oficial para el MOP para los *Modelos de encargos al extranjero* en lo relativo a puentes colgantes.[8] Como tantas otras piezas de equipamiento urbano o territorial en Venezuela, las especificaciones con que se solicitaba el puente al fabricante incluían los planos generales y detalles necesarios para su montura, las herramientas y utensilios necesarios para ello, la cuidadosa protección de las piezas de más pequeñas, así como la pintura. Pero incluían también, tal vez con mayor énfasis en su importancia, la indicación para el embalaje de las piezas. Combinar las dimensiones de los cables y los paquetes de piezas con su peso fue la clave para resolver el transporte de sus partes, el más difícil de los problemas para su construcción.

Las instrucciones para el encargo describían: "…la fábrica debe procurar que, en lo general, ningún bulto o caja pase de 180 a 250 libras de peso. Sin embargo, en limitados casos, los bultos o cajas pueden pesar hasta 400 libras; y como excepción, cuando fuere inevitable, hasta 500 a 550 libras. El peso de 550 libras es un límite del que no se debe pasar. No es posible transportar los cables entre dos o más mulas….Lo único practicable es transportar rollos de 500 a 550 libras de peso, enteramente independientes y separadas un rollo de otro; cada rollo entre dos mulas muy fuertes y escogidas, por el sistema de troje o parihuela entre dos mulas".[9]

Esa complejidad logística hacía que además del logro estructural que implicaban las dimensiones, por lo esperado y complejo de su realización, distintos pasos de las carreteras de Venezuela adquirieran carácter monumental. Tal vez no en el proyecto de los fabricantes, que tendrían tipos adecuados a cada medida o implantación, pero si en la imagen del lugar, referencia fundamental para los transeúntes de aquellos caminos en territorio venezolano. Se constituían en modernos arcos de triunfo que celebraban los logros de la ingeniería sobre los obstáculos naturales.

Soluciones locales en la inmensidad del llano

Desde que se importara el primer puente con estructura metálica en 1874, sería mucho lo que experimentaran los ingenieros en Venezuela con las modernas ideas de prefabricación, transporte

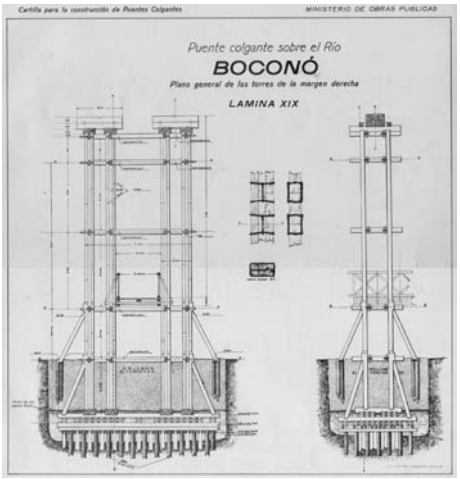


Fig. 1 - Puente Colgante sobre el río Boconó: Plano general de las torres de la margen derecha (Cartilla para puentes colgantes…, Lámina XIX)

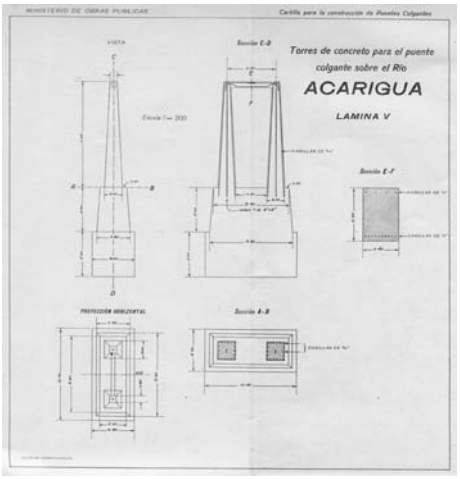


Fig. 2 - Torres de concreto para el puente colgante sobre el río Acarigua (Cartilla para puentes colgantes…, Lámina V)

y montaje de edificaciones prefabricadas. De acuerdo a las *Memorias* del MOP en 1874 hasta 1935, cuando se produjo un giro notable en la vida política del país y sus obras públicas, fueron proyectados y/o construidos, entre innumerables puentes de armaduras rígidas, sesenta y siete puentes colgantes para las carreteras venezolanas. Diecisiete de esas estructuras tuvieron todas sus partes metálicas, nueve en la abrupta topografía andina del estado Táchira.

Lejos de puertos y ferrocarriles, a los ingenieros que se adentraron en ese territorio les fue posible contar sólo con la tracción de animales y la mano de obra de una población con escasa formación y experiencia para el armado de aquellas estructuras imprescindibles en los profundos pasos de los ríos andinos.

A pesar del alza en los precios del acero, consecuencia de la primera guerra mundial, la construcción de puentes en los llanos era "…un trabajo de perfeccionamiento que consideramos de la mayor importancia y utilidad".[10] Como los que se instalaban en la también llanera Gran Carretera Oriental, los puentes sobre el trazado de la Gran Carretera Occidental de Venezuela, decretada en 1916, eran afectados por los enormes costos del metal, que entre 1915 y 1917 reportaba un aumento del 155%.[11]

En ese panorama destaca la *Cartilla para Puentes Colgantes*, del ya mencionado Luis Vélez, Ministro de Obras Públicas.[12] Con su trabajo, este ingeniero estandarizaba el uso de concreto, alambre, maderas y mano de obra local como alternativa ante los costos del acero y las dificultades para su transporte: "…un sistema de puentes que carece no sólo de toda pesada estructura metálica, sino también de pernos y tornillos,

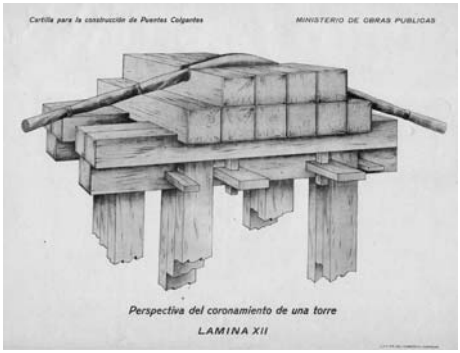


Fig. 3 - Perspectiva del coronamiento de una torre (Cartilla para puentes colgantes…, Lámina XVII)

siendo el material metálico sujeto a distante transporte únicamente una cantidad de alambres divisible en bultos de poco peso".[13]

La *Cartilla* se divide en dos partes, de acuerdo a los materiales alternativos para la construcción de los puentes:

"Dos tipos de puentes presenta el sistema adoptado: el primero apropiado a los sitios cercanos a las vías existentes, donde puede obtenerse el cemento a precios razonables, ofrece cimientos, estribos, torres y anclajes de concreto; en el segundo, estas partes de la obra y todo el puente está construido únicamente con madera y alambres".[14]

A través de dos ejemplos, los puentes sobre los ríos Boconó y Acarigua, de 120 metros entre las torres, las del primero en madera y las del segundo en concreto, se indicaba el modo de hacer los cálculos a de los ingenieros a cargo de las obras. Inicialmente, el cálculo del número de cables y el peso en alambre necesario para éstos y las péndolas. Paralelamente a ese cálculo, algunas láminas muestran el armado de las torres

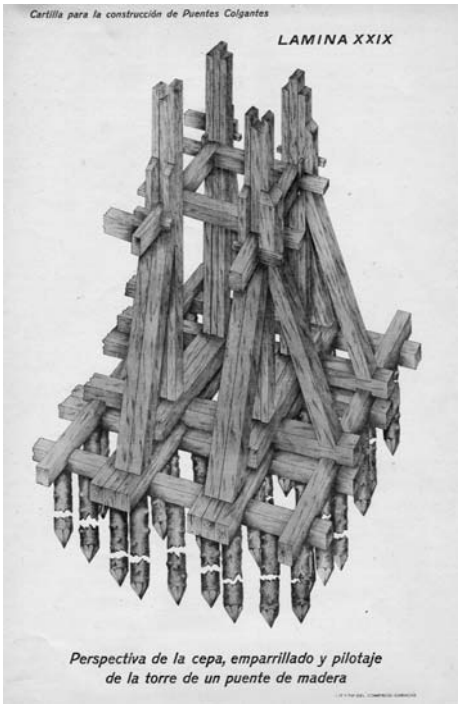


Fig. 4 - Perspectiva de la cepa, emparrillado y pilotaje de la torre de un puente de madera (Cartilla para puentes colgantes…, Lámina XXIX)

de concreto con un perfil I y cabillas. Mucho más numerosas y elaboradas son las láminas que muestran el ensamblaje de las piezas de madera para las torres y la técnica para las juntas de los cables de alambre, mientras se explica su dimensionado. La reproducción de fotografías dejaría ver el resultado del sistema con la construcción de estructuras entre 13 y 120 metros.[15]

De aquellos sesenta y siete puentes colgantes entre 1874 y 1935, treinta respondieron entre 1920 y 1922 a las pautas dictadas por la *Cartilla* de Vélez. Si la carretera entre las montañas con



Fig. 5 - Puente sobre el río Ocumare en La Corina, 36 metros, carretera Maracay-Ocumare (Cartilla para puentes colgantes…)

que la Cordillera de los Andes llega hasta Venezuela fue posible gracias a grandes estructuras importadas, el sistema producido desde la División de Puentes del MOP fue el adecuado para sortear los anchos ríos de los llanos.

Los puentes de la *Cartilla* resultarían contradictoriamente modernos, pues la idea de un manual que indicaba sistemas constructivos estandarizados, a manera de soluciones universales para la construcción de grandes estructuras, contrasta con los materiales empleados, artesanales en su mayoría.

Diez años más tarde, una comisión de ingenieros fue encargada de examinar el puente proyectado por Luis Vélez sobre el río Acarigua, siguiendo las pautas de su propia *Cartilla*. En su reporte al Ministro de Obras Públicas la comisión indica que estos puentes colgantes de 2,50 metros de ancho "fueron una solución oportuna a la suprema necesidad de hacer expedito el tráfico en las carreteras de la República y sobre todo en la Gran Carretera Occidental sin la demora y gastos que exigían la construcción de obras definitivas, difíciles de acometer en aquella época".[16] Se trataba de estructuras concebidas con una vida de diez años, que llevaban quince en servicio, en carreteras cuyo tráfico aumentaba y que debían ser reemplazadas por obras permanentes.

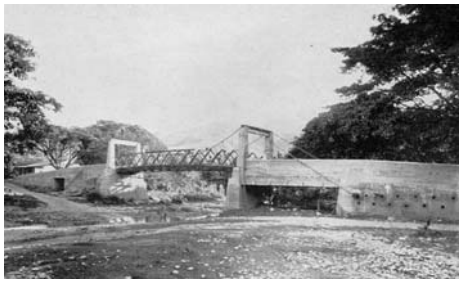


Fig. 6 - Puente Guayas, 21 metros, Gran Carretera Occidental (Cartilla para puentes colgantes…)

La estructura en evaluación, con sus ambiciosos cinco metros de ancho y torres de concreto armado, dejaba ver la intención por instalar un puente permanente que se contradecía con el resto de sus elementos de madera. Ante la difícil sustitución progresiva de los mismos por partes metálicas, los ingenieros concluían que al costo del puente propuesto por Vélez sólo lo excedería en 14% el costo inicial de un puente definitivo: "Pero si se tiene en cuenta la mayor duración y capacidad de carga viva de esta última solución, concluimos que es la más económica".[17]

Una vez pasada la circunstancia bélica que había alejado el acero de las obras públicas venezolanas, el razonamiento de sus ingenieros se inclinaba hacia la durabilidad de las estructuras. El reemplazo de los puentes de la *Car-*

tilla continuaría con aquellos criterios de estandarización previos al conflicto: "…ha sido adoptada la viga llena en luces de hasta 20 metros; la viga armada para tramos entre 20 y 60 metros; y para las grandes luces de hasta 200 y 300 metros el tipo de puente colgante que no obstante las dificultades que ofrece su montura permite un óptimo aprovechamiento del material".[18] Pero los puentes ideados por Vélez habían sido, sin embargo, un aporte notable a la historia de la construcción en un país que cargaba con las consecuencias de una guerra lejana y debía continuar hacia su maduración con sus propios procesos de integración territorial.

Lugares con carácter moderno

En el inventario de las estructuras diseminadas por el mapa de Venezuela, destacan dos piezas que vuelven la vista hacia las estructuras importadas. El mismo año 1922 en que el MOP reportara al Congreso esos puentes colgantes de producción local, se menciona la circunstancia especial de un puente en estudio sobre el río Guárico, como parte de la Gran Carretera Oriental de Venezuela.[19] Las vegas inundadas durante buena parte del año hacían necesaria una estructura más sofisticada que aquellas con que se cruzaban otros ríos llaneros.

En 1926 se informa que en El Sombrero "se ejecutan los trabajos requeridos para la erección de un puente de hierro sobre el río Guárico … cuyo material de hierro se está movilizando ya de Puerto Cabello al lugar de los trabajos».[20] A un puerto lejano del lugar de las obras había llegado la estructura fabricada por la *Societé Metallurgique Knutange*, sin que se la mencione en las publicaciones oficiales, pero visible en las partes que componen el puente.[21]



Fig. 7 - Puente Juan Vicente Gómez sobre el río Guárico. Gran Cartera Oriental Puente El Sombrero (Memoria MOP 1931, p. cxliv)

Año tras año se informaría el progreso de la obra: "por las dimensiones de este puente, este es uno de los más grandes y elegantes que franquean nuestros más caudalosos ríos".[22] En 1930 se recalca que, con sus 125 metros entre torres y sus 213 metros de longitud, el Puente Juan Vicente Gómez «repre-

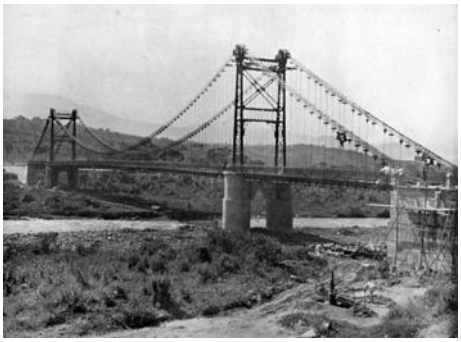


Fig. 8 - Puente Libertador sobre el río Torbes, Carretera Central del Táchira (Memoria MOP 1931, p. xxxi)

senta una de las más excelentes estructuras de acero que existen en Venezuela".[23]

Otro gran protagonista de estos notables eventos en las carreteras venezolanas de los años veinte sería el Puente Libertador sobre el río Torbes, en la carretera de Táriba a San Cristóbal.

En proyecto desde 1922, tal como el anterior, con 112,80 metros entre sus torres, éstas se apoyan sobre pilas de concreto construidas en el lecho del río. La pieza fabricada por *G.Leinekugel le Cocq et Fils* en Corréze (Francia),[24] sería levantada por varios de los mismos profesionales que participaban de la construcción de aquel en el Guárico.

Rafael Ruiz, John Brown, Antonio Simompietri, Eduardo Tamayo y Luis Ramozzi, junto al mencionado Luis Vélez, fueron los hacedores de estas, las dos más espléndidas obras de esos tiempos. Su ubicación en las dos grandes carreteras en que se centraban esfuerzos por comunicar el territorio, los hacían hijos dilectos de la División de Puentes del Ministerio de Obras Públicas.

Se enaltecían ante los venezolanos y en cada evento internacional donde fue posible, como magníficos logros de los ingenieros venezolanos con las técnicas europeas. De ahí que los delegados en el Congreso de Carreteras en Münich de 1934, se refirieran a estas piezas como "una palpable demostración de la manera admirable como se ha desarrollado en Venezuela la construcción de carreteras".[25]

Patrimonio construido por derecho propio

Mientras aún se admiraba la construcción de los puentes sobre el Guárico y el Torbes, se evaluaba aquel puente colgante "según los planos e instrucciones del MOP" sobre el río Acarigua (120 m) y otro sobre el río Guache (60 m) en la Gran Carretera Occidental de los Llanos.[26] En ese momento se plantearían modificaciones para mejorar los puentes de la *Cartilla* con más capacidad de carga, aumento de su ancho desde 2,50 a 3 metros, sustituyendo los "hilos paralelos devanados en sitio" por cables torcidos, travesaños de madera en los tableros por acero y otras mejoras en las estructuras.[27]

Los cambios a este manual serían introducidos por el mismo Velez a partir del proyecto de cuatro puentes de 120, 81, 33 y 42 metros entre torres. Estos puentes con torres articuladas - Ospino, La Yuca, Piscuri y Navay - eran estructuras en las que el material y sus técnicas habían sido apropiados por los profesionales del hierro venezolanos, adecuados a la integración del territorio de una forma más definitiva que en la edición de 1922.[28]

La *Cartilla* seguía teniendo valor. Eran instrucciones que pretendían tener validez universal para los ingenieros de su tiempo. Un catálogo, herramienta moderna por excelencia, de posibilidades con un sistema de ingenio local y aún de alta conveniencia "…dado del recio clima y otras circunstancias locales, reducir a un mínimo el período de construcción de la obra".[29] Pero, por

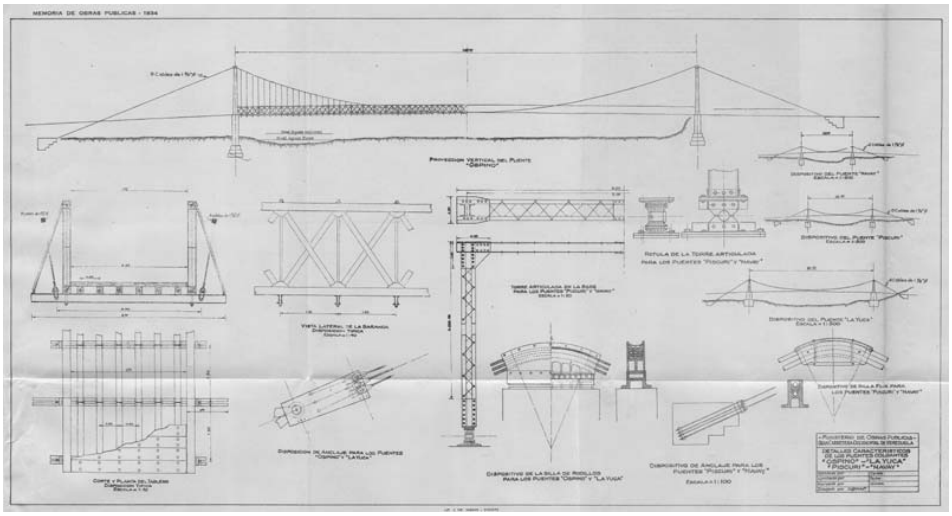


Fig. 9 - Puentes Piscuri, Navay, Yuca y Ospino (Memoria MOP 1934)

su permanencia en el tiempo, los puentes importados de fabricación norteamericana o europea, en vigas armadas, vigas de alma llena o estructuras colgantes, siguieron siendo la opción más válida.

El puente Juan Vicente Gómez sobre el río Guárico y el puente Libertador sobre el río Torbes, fueron las estructuras colgantes más grandes del país hasta la construcción en 1967 del Puente de Angostura sobre el río Orinoco.

Sería ya ésta una coyuntura distinta en la historia de Venezuela. El estado petrolero financiaba desde los años cincuenta obras de infraestructura en que se combinaban los conocimientos y la práctica de los profesionales locales con la investigación que se adelantaban en otras latitudes. La consideración monumental que estas estructuras utilitarias tuvieron en las ciudades y el territorio venezolano materializaba una reconfortante adopción de modernidades en un medio que deseaba desmesuradamente una modernización. Sería una falta hoy no considerar ése como uno de sus valores fundamentales.

A ello se suman sus dimensiones, el origen de algunos en lejanas fábricas europeas pero fundamentalmente el rol de todos en la investigación y práctica locales.

Sería una falta no recordar el valor de algunos como patrimonio construido o de otros como imagen desaparecida de una cultura técnica entre los profesionales del país. Caracterizan un momento histórico que debe ser leído y atendido con la mirada que debe dirigirse a la valoración y conservación del patrimonio moderno.

[1] *Memoria MOP 1910*, pp. xxvi-xxvii. Sobre este tema: M. SILVA CONTRERAS, *El concreto en Venezuela: las décadas de ensayo*, «Tecnología y Construcción», 17-III, 2001, pp. 9-26.

[2] *Memoria MOP 1929*, p. 3.

[3] J.VALLENILLA, *Carreteras de Venezuela*, Caracas, Litografía del Comercio, 1917, p. 11.

[4] *Memoria MOP 1916***,** plano No. 3, p. s/n.

[5] *Memoria MOP 1915*, p. xix. El puente sobre el río Quinimari en Táchira, inaugurado en 1904, era una estructura techada, con cables y otros elementos metálicos pero con torres de albañilería. El puente sobre el río Torbes, terminado por Luis Vélez en 1914, era una viga Howe de 44 metros colgada de torres con 4,90 m de altura.

[6] *Memoria MOP 1915*, p. xvi.

[7] *Ivi*, p. xix.

[8] *Ivi*, pp. cclxxvi-cclxxviii.

[9] *Ivi*, p. xix-xx.

[10] *Memoria MOP 1917*, pp. 24-25.

[11] *Memoria MOP 1918*, p. 36.

[12] *Cartilla para puentes colgantes. Formada y puesta en práctica bajo la inmediata dirección personal e instrucciones del Doctor Luis Vélez, Ministro de Obras Públicas 1922*, Caracas, Litografía del Comercio, 1922. Una primera versión de la Cartilla fue publicada en la *Memoria que presenta el Ministro de Obras Públicas a las Cámaras Legislativas en su reunión constitucional de 1922*, Caracas, Litografía del Comercio, 1922, pp. 15-121. Sobre este tema: M. SILVA CONTRERAS, *La cartilla de 1921: los puentes colgantes de los ingenieros venezolanos*, «Arquitectura Hoy-Economía Hoy», 214, 1997, pp. 12-13.

[13] *Cartilla para puentes colgantes…*, pp. 3-4

[14] *Ivi*, p. 4.

[15] Como complemento a la utilidad de la *Cartilla*, se incluían unas *Planillas para anotar los datos, las especificaciones y la lista de los materiales necesarios para la construcción de cada puente* y luego las *Formulas y tablas para el cálculo de vigas de concreto armado*, de acuerdo a las constantes del material obtenidas por el MOP a partir de investigaciones con el Cemento Nacional.

[16] *Memoria MOP 1933*, p. 148.

[17] *Ivi*, p. 149.

[18] *Memoria MOP 1931*, p. vii.

[19] *Memoria MOP 1922*, p. 7-9.

[20] *Memoria MOP 1927*, pp. 96-97.

[21] En 1957 fue trasladado a la carretera entre El Dorado y Santa Elena de Uairén, sobre el río Cuyuní. *Memoria MOP* 1955-56, p. 44; *Memoria MOP 1959*, p. 3.

[22] *Memoria MOP 1928*, pp. 70. En 1930 se señala "…el paso del río Guárico, a la salida de El Sombrero, ha sido salvado mediante la erección de un magnífico puente colgante". *Memoria MOP 1930*, p. lxxv.

[23] *Memoria MOP 1930*, pp. lxxiv-lxxvii.

[24] *Memoria MOP 1931*, p. 297.

[25] F.ALVAREZ y E.TAMAYO, *Descripción de las carreteras de Venezuela presentada al VII Congreso Internacional de Carreteras*, "Revista Técnica MOP", 63, abril 1935, pp. 26-65.

[26] *Memoria MOP 1934*, p. 98.

[27] *Ivi*, p. 390.

[28] *Puentes de la Gran Carretera Occidental*, "Revista Técnica MOP", 60, agosto1934, pp.19-20.

[29] *Memoria MOP 1934*, p. 391.

Luigi Stendardo

Struttura e rivestimento in un'opera di ingegneria civile di Gaetano Minnucci

Talora accade che nell'apparecchiatura costruttiva di un manufatto di ingegneria civile restino intessuti significativi stralci della riflessione teorica che ha alimentato il pensiero ed il dibattito architettonico di un'epoca. La fabbrica non si limita ad essere documento di storia materiale che testimonia del sapere e del saper fare propri di una *tékhnç*, ma si fa enunciato di una teoria, dà conto dell'osservazione della realtà da un punto di vista preciso e consapevole.

È il caso del serbatoio dell'acquedotto pugliese realizzato a Corigliano d'Otranto, alla fine degli anni Trenta, opera 'minore' di Gaetano Minnucci (1896-1980).

Tenace deuteragonista - conformemente all'originaria accezione di combattente, assai più che a quella successivamente affermatasi di attore - del dibattito architettonico italiano dagli anni Venti all'inizio dei Sessanta, Minnucci coltiva, in simbiosi con una fecondissima attività professionale, ampi interessi culturali non solo nei campi dell'ingegneria e dell'architettura. Viaggia; si documenta; allunga lo sguardo laddove il moderno gli appare più stimolante; soggiorna e studia in Olanda; si procura riviste straniere, manuali; studia progetti, tecniche, dettagli costruttivi; li fotografa, li ridisegna; raccoglie un vastissimo repertorio di soluzioni progettuali, distributive, tecnico-costruttive; mette insieme una ricchissima biblioteca.

Gran parte di questo materiale sarà utilizzato nella progettazione, nella didattica, nella capillare produzione di articoli, saggi, manuali. Questo materiale, insieme a tanta documentazione di progetti, appunti, lezioni, fotografie, corrispondenza, costituisce il fondo Minnucci conservato presso l'Archivio di Stato di Roma, mentre la sua biblioteca costituisce oggi il fondo Minnucci della biblioteca della Facoltà di Architettura della Sapienza.

L'attività universitaria ha inizio relativamente tardi, dieci anni dopo la laurea, conseguita nel 1920 presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Roma, ma sarà intensa e multiforme; si occuperà a vario titolo di diverse materie (estimo, tecnica delle costruzioni, composizione, architettura tecnica, impianti tecnici, elementi costruttivi) in perfetta armonia con una figura di architetto, precedente l'epoca della disintegrazione della disciplina, in cui erano compresenti molti saperi e nella quale era difficile individuare il limite tra lo studioso e il professionista perché le diverse esperienze si alimentavano vicendevolmente.

L'impegno universitario è solo un aspetto della sua intensa attività culturale. È con Piccinato tra i fondatori del

G.U.R. (Gruppo Urbanisti Romani); promuove con Libera la formazione del M.I.A.R. (Movimento Italiano per l'Architettura Razionale); è redattore della rivista "L'Ingegnere" del Sindacato Nazionale Fascista Ingegneri e poi della rivista "Architettura" del Sindacato Nazionale Fascista Architetti.

Le sue opere costruite costituiscono, una per una e nel loro complesso, una compiuta sintesi della cultura architettonica e del sapere tecnico-scientifico di un autore e, più in generale, di un'epoca. In tal senso nella sua produzione architettonica sono significativamente affrontati e sviluppati molti di quei temi che ricorrono e connotano il carattere di molte costruzioni, restituendo una peculiare identità al moderno italiano a fronte di un, ancora troppo diffuso, pregiudizio che tende ad appiattirlo sullo sfondo del movimento moderno e lo interpreta infelicemente come una sua provinciale, talora vernacolare, regionalizzazione o, in alternativa, lo classifica frettolosamente nell'ambigua categoria storiografica dell'architettura fascista. Nel rapporto di corrispondenza tra i poli del potere e della cultura - Roma capitale e Milano *in primis* - e la provincia, è spesso in quest'ultima, e su opere 'minori', che alcuni progettisti di livello nazionale hanno scritto interessanti pagine di un testo a fronte dell'architettura e della città del Novecento, sperimentando una declinazione dei temi della costruzione dell'architettura moderna italiana scevra dall'enfasi e dai monumentalismi che hanno caratterizzato la costruzione nelle grandi città nello stesso periodo.

A questo proposito appare emblematica l'opera di Gaetano Minnucci contemporaneamente impegnato, tra l'altro, nella costruzione della Roma fascista (Città Universitaria, E.U.R., Casa del Balilla a Montesacro…) e in incarichi in provincia tra i quali l'Accademia Marinara all'estremità opposta dell'Appia, il serbatoio di Corigliano d'Otranto per l'Acquedotto Pugliese e, poco più tardi di nuovo in un porto romano sull'Adriatico, il mercato del pesce di Ancona. Attività parallela nella capitale e in provincia (ancora nelle Marche, in Puglia, in Emilia Romagna) che proseguirà con disinvolta continuità anche nell'Italia repubblicana, svolgendo importanti incarichi pubblici (Ministero della Marina Mercantile all'E.U.R., Policlinico 'A. Gemelli', diverse realizzazioni I.C.P. e INA-Casa…) e privati.

Uno dei fili conduttori della sua opera è la costante attenzione dedicata alla costruzione ed al suo ruolo nella definizione della forma architettonica. Un'attenzione fondata su una profonda ed estesa conoscenza e padronanza della tecnica, nella quale resterà indissolubilmente radicata ogni elaborazione teorica, formale, estetica di Minnucci, che pure percorrerà tutto lo spessore della cultura architettonica contemporanea a partire dal doppio binario dell'espressionismo e del razionalismo.

Sia dal punto di vista tecnico costruttivo sia da quello architettonico formale, Minnucci manifesta una specifica attenzione per gli edifici industriali[1] ed in particolare per le opere di ingegneria idraulica[2], maturata soprattutto

nei Paesi Bassi; in questo campo sarà di nuovo impegnato negli anni Cinquanta nei progetti e nelle realizzazioni di due centrali idroelettriche sul Tevere. Tuttavia, al di là di questo interesse, a stimolare la curiosità dell'ingegnere verso un incarico minore e lontano[3] e, soprattutto, ad alimentare la passione progettuale che vi profuse, fu probabilmente la natura del tema genuinamente espressionista che intorno alla fabbrica del serbatoio poteva essere sviluppato[4]. L'interno cavernoso e acqueo della vasca è permeato da un'idea di spazio che può essere efficacemente descritta ripercorrendo la traccia del lavoro "degli artisti dello *Jugendstil* tedesco e dell'*Art Nouveau* internazionale [che] contraevano le forme, levigavano le pareti, i soffitti e i pavimenti, inventavano piante labirintiche, imperniate su ambienti centrali, inserivano disorientanti effetti di specularità, costringevano la luce a seguire percorsi sorprendenti [e] ottenevano degli ambienti che contenevano gli abitanti come una custodia in muratura, come il feto nel grembo materno"[5]; a somiglianza di quanto avviene "in alcuni dei palazzi che Victor Horta costruì a Bruxelles e Hector Guimard a Parigi, ci si muove come in grotte sottomarine. Le cupole […] filtrano la luce […] i pavimenti di pietra levigata brillano come se fossero bagnati"[6]. Nella vasca di Corigliano c'è tutto questo, a meno degli abitanti. Cosa straordinaria doveva poi apparire la concreta possibilità, che rientrava nell'aspirazione apparentemente contraddittoria e paradossale degli espressionisti, di coniugare la messa in forma dell'interno cavernoso con una costruzione in forma di torre. Questa,



Fig. 1 - Il serbatoio dell'acquedotto pugliese a Corigliano d'Otranto

"contraddistinta da dinamismo, pulsione verso l'alto e sviluppo verticale, doveva attirarsi la speciale predilezione degli espressionisti"[7] e - scartata dal punto di vista tecnico una prima e più usuale ipotesi di serbatoio sospeso su una struttura a traliccio[8] - la fabbrica di Minnucci finirà per aderire all'idea delle "torri della generazione degli espressionisti [che] non erano, di regola, strutture leggere e ariose, che si sarebbero potute solidificare in costruzioni scheletriche, bensì massicci corpi voltati, oppure masse apparentemente plasmabili"[9].

Questa complessa relazione tra interno ed esterno si traduce, nel serbatoio cilindrico di Corigliano d'Otranto, nella messa in opera di una doppia costruzione, che rilancia la questione costruttiva ed architettonica del rapporto tra struttura e rivestimento. Con continuità il tema, non nuovo ma periodicamente rinnovato, si ripresenta in forme diverse alla sfera tecnica e a quella della speculazione teorica dell'architettura e si ripropone, con rinnovato vigore, proprio nel momento in cui la prorompente affermazione e la capillare diffusione nell'edilizia corrente dell'applicazione del calcolo strutturale del cemento armato, contribuiscono a rianimare la *querelle* già accesa tra scuole di applicazione e *beaux arts*.

Si può provare a restituire la complessità e l'organicità del modo in cui Minnucci ha maturato una riflessione e una possibile risposta al tema, mettendo a confronto e incrociando la lettura di tre frammenti della sua estesa produzione architettonica, teorica e tecnica.

Il primo è costituito dal serbatoio in esame, un manufatto tecnico di ingegneria civile in cui l'azzeramento di ogni complessità funzionale o distributiva e di ogni esigenza, reale o presunta, di sovrastruttura formale, consente di mettere a fuoco con estrema lucidità il tema del rapporto tra forma e tecnica costruttiva.

Il frammento teorico è essenzialmente estrapolabile da due scritti: il primo è il saggio su *L'architettura e l'estetica degli edifici industriali* apparso nel 1926 su "Architettura e Arti Decorative"[10]; il secondo, una sorta di manifesto programmatico steso a quattro mani con Adalberto Libera, è la *Presentazione*[11] alla prima mostra del M.I.A.R. tenutasi a Roma nel 1928.

Non ultima, la riflessione tecnica può essere stralciata da *Gli elementi costruttivi dell'edilizia*[12] - manuale pubblicato nel 1945 e più volte riedito,sul quale si è formata più di una generazione di tecnici soprattutto, ma non solo, romani - ed in particolare dal capitolo dedicato alle murature.

Il doppio involucro del serbatoio[13] è costituito da una struttura cilindrica cava interna in calcestruzzo armato - la cui sezione è essenzialmente concepita come una mensola verticale che si rastrema verso la sommità per passare da uno spessore di circa un metro e mezzo al piede a poche decine di centimetri in testa - e da una cortina muraria esterna in conci di pietra artificiale, vincolata al nucleo centrale a mezzo di sottili solette anulari, che si succedono in verticale secondo un passo di circa tre

metri. La copertura dell'invaso cilindrico - il cui diametro medio interno misura poco più di trenta metri, pari all'incirca all'altezza del volume d'acqua ospitato - è costituita da una coppia di sottili membrane sferiche collegate da costole radiali, con una monta di circa cinque metri ed un oculo centrale in chiave, sormontato da un lanternino. Nello spessore dell'intercapedine, pari a circa un metro, illuminato ed aerato da sottili feritoie, risale una gradonata elicoidale.

Gia circa dieci anni prima del progetto di Corigliano d'Otranto, Minnucci aveva tracciato i lineamenti di un'estetica degli edifici industriali[14], riconoscendo al nitore tecnico di officine, dighe, serbatoi un valore formale fondativo dell'architettura contemporanea e aveva su questo tema compiutamente impostato la riflessione sul rapporto tra costruzione e decorazione. La questione viene riproposta con forza, due anni più tardi, in occasione della prima esposizione del M.I.A.R., quando Libera e Minnucci definiscono *razionale* l'architettura in mostra proprio per il suo essere in primo luogo costruzione tecnica.

"L'abbiamo decisamente chiamata *razionale*, benché questa parola non corrisponda perfettamente al concetto, ché non si può definire solo razionale un'opera che come l'architettura deve essere anche arte. Ma è la parola più esatta che contraddistingua o definisca questo concetto, chiarificandone il contenuto di costruzione, tecnica, raziocinio che la differenzia da altri tentativi […]. L'architettura razionale - come noi la intendiamo - ritrova le armonie, i rit-

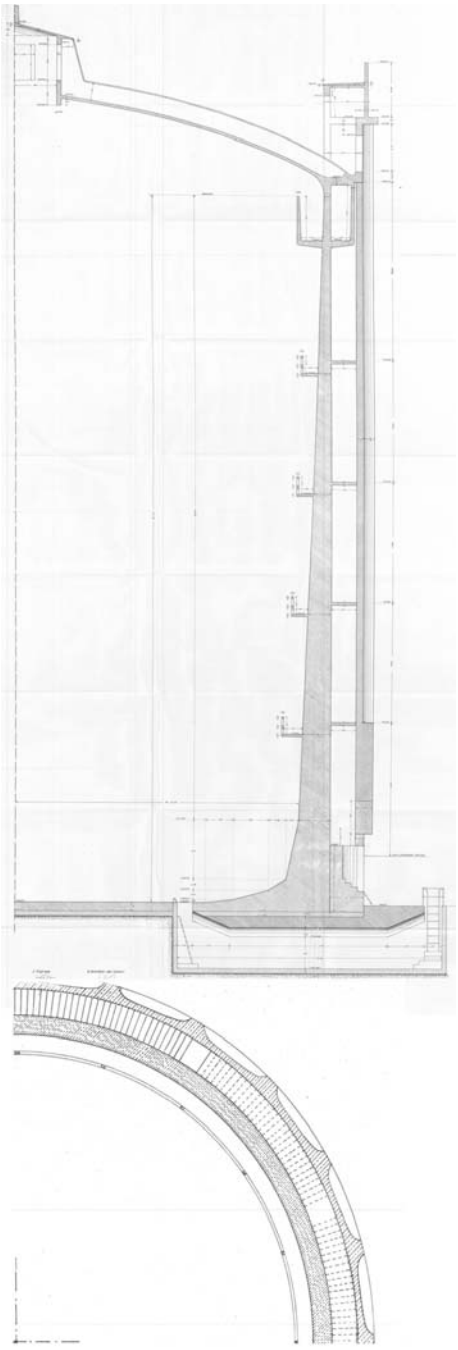


Fig. 2 - Stralci di pianta e sezione

mi, le simmetrie nei nuovi schemi costruttivi, nei caratteri dei materiali e nella rispondenza perfetta alle esigenze cui l'edificio è destinato"[15].

Fissando come termine *a quo* l'architettura novatrice di Antonio Sant'Elia dell'inizio del secolo, che maggior comprensione aveva trovato all'estero piuttosto che in Italia, i sostenitori della nuova architettura razionale non esitano ad assumere e a proporre l'estetica della costruzione, incarnata dalle opere di ingegneria civile, come chiave di lettura per l'architettura aulica classica. "Né la piramide egizia, né il tempio greco, né l'arena romana, sono capolavori dell'architettura in quanto abbiano certi capitelli, certi fregi, certe cornici. La loro bellezza è l'organismo strutturale, nella creazione architettonica della forma, in quella sua magnifica fusione con il materiale impiegato. […] La stessa bellezza è insita nella diga poderosa e ardita di cemento armato, nell'officina che brilla per le sue vetrate luminose in una certa armonia costruttiva con i suoi supporti e le sue coperture, nella casa […] e nella città immensa che, ordinata da matematici tracciati in ampi quartieri dalle geometriche arterie in una organizzazione perfetta, splende per immenso ordine, per armonioso ritmo e sapiente gioco di volumi, di luci e di ombre, per contrasti di chiari edifici con verdi distese"[16].

L'esaltazione di un'estetica della costruzione civile, la successione di piramide, tempio e arena, la citazione del sapiente gioco di volumi, di luci e di ombre, insieme con il reiterato riferimento alla ineluttabilità del diffondersi e dell'affermarsi - seppure con animo italiano - del *nuovo spirito*, riconducono chiaramente la riflessione di Libera e Minnucci sulla linea dell'orizzonte culturale già tracciato con precisione qualche anno prima da Le Corbusier.

È proprio a partire dalla descrizione del rapporto tra estetica dell'ingegnere e architettura che hanno origine le provocatorie avvertenze agli architetti. Le pagine iniziali di *Verso un'architettura* sono illustrate dai volumi puri e tecnici di silos ed elevatori di frumento del nuovo mondo, che accompagnano le sferzate agli architetti: "Non seguendo un criterio architettonico, ma semplicemente guidati dagli effetti del calcolo (deri-



Fig. 3 - La calotta di copertura. L'estradosso



Fig. 4 - L'interno illuminato dall'oculo centrale

vanti dai principi che reggono il nostro universo) e dalla concezione di un organismo vitale, gli ingegneri d'oggi impiegano elementi primari e, ordinandoli in base a regole, producono in noi emozioni architettoniche, e fanno in tal modo entrare in consonanza l'opera umana con l'ordine universale.

Ecco dei silos e delle fabbriche americane, magnifiche primizie del nuovo tempo. Gli ingegneri americani schiacciano coi loro calcoli l'architettura agonizzante"[17].

Proprio alla luce delle proposizioni lecorbusieriane, il rapporto tra volume e superficie, tra struttura e decorazione, che si consuma tra le pareti del doppio involucro del cilindro di Minnucci può essere ancora descritto.

Se "la costruzione è per tener su [e] l'architettura è per commuovere"[18], il rapporto tra architettura e costruzione nella fabbrica di Corigliano d'Otranto - come del resto in tutte le opere di Minnucci - è chiarissimo. La concezione strutturale dell'opera in calcestruzzo armato non si traduce necessariamente nella messa in evidenza di ogni elemento strutturale, ma nel rapporto tra struttura portante e superfici chiudenti. Il trattamento delle superfici, il modo in cui queste sono sovrapposte alla struttura e sono tagliate in corrispondenza delle bucature non crea ambiguità ed è sempre riconducibile ad un repertorio di soluzioni tecniche efficaci, semplici e razionali, talora raffinate.

Minnucci sembra recepire appieno ciò che "l'architettura […] assegna come compito all'architetto [cioè] quello di far vivere le superfici che avvolgono i volumi, senza che queste, come dei parassiti, divorino il volume e l'assorbano a loro profitto […] Lasciare a un volume lo splendore della sua forma nella luce, ma d'altra parte adattare la superficie a bisogni spesso utilitari, è obbligarsi a trovare, nella divisione imposta dalla superficie, gli elementi che evidenziano e generano la forma […]. Modellare la superficie di una forma primaria semplice significa far scaturire automaticamente la misura stessa del volume"[19]. La ricerca della misura, dei rapporti proporzionali, dei "rapporti emozionali con materiali grezzi"[20], dell'involucro murario è volta a descrivere plasticamente il volume cilindrico puro.



Fig. 5 - La calotta di copertura. Le nervature

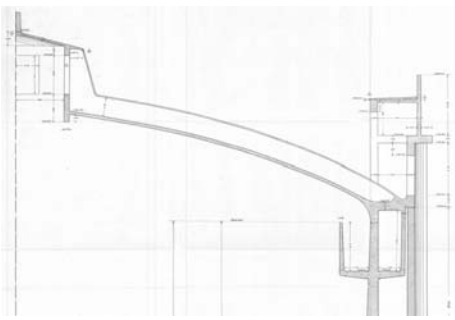


Fig. 6 - La calotta di copertura. Sezione

Non si dà una plastica applicata in quanto "la decorazione delle superfici (aperture) fa parte della stessa geometria"[21].

Nella modellazione della superficie che avvolge il volume si risolve positivamente il conflitto tra ingegnere e architetto. "La modanatura è la pietra di paragone dell'architetto. Qui si rivela artista o semplice ingegnere. La modanatura è libera da ogni costrizione. Non si tratta più di consuetudini, né di tradizioni, né di procedimenti costruttivi, né di adattamento a bisogni utilitaristici. La modanatura è pura creazione dello spirito"[22].

Indubbiamente nel realizzare la virtuosa articolazione plastica dell'involucro esterno, Minnucci profonde quella "passione [che] fa di pietre inerti un dramma"[23] e adotta "la muratura detta in pietra da taglio, o pietra concia, [che] è quella che eccelle su tutte le altre non solo dal lato statico, per le sue doti di resistenza, ma anche dal lato estetico, perché la sua bellezza intrinseca consente di dar vita alle più pure espressioni architettoniche"[24].

Si tratta tuttavia di una muratura di rivestimento che pur esigendo - al pari di quella portante - "da parte dell'architetto, la progettazione di ogni particolare con il disegno della forma dei conci e della loro suddivisione nel muro"[25], non vuole in alcun modo generare equivoci circa il suo ruolo nella costruzione.

Nel suo manuale, Minnucci si preoccuperà di descrivere quelle cortine in "listelli di cotto che, messi opportunamente in sito, nel risultato finale imitano perfettamente un muro in veri mattoni" e pur sottolineandone l'accettabilità tecnica "perché la parte resistente della costruzione, essendo eseguita indipendentemente con un qualsiasi sistema […] assicura la stabilità, mentre il rivestimento, pur essendo 'appiccicato' superficialmente, se eseguito con i necessari accorgimenti, potrà durare per lunghi anni", esprime - caso rarissimo nel manuale tecnico - un severo giudizio di valore architettonico: "il sistema non può soddisfare a pieno l'architetto […] perché la cortina così fatta è imitazione di una struttura murale che non esiste, e pertanto non ha valore architettonico ma puramente decorativo […] ha sempre carattere effimero e non essenzialmente costruttivo"[26].

Più avanti, prendendo atto della sempre maggiore diffusione della muratura di rivestimento in pietra, in luogo di quella portante, sottolinea quanto sia - da un punto di vista tecnico-costruttivo - più che mai importante il problema del collegamento dei singoli pezzi di pietra non solo fra loro, ma anche alla strutture a cui sono appoggiati o da cui sono sorretti", ma di nuovo mette in guardia il lettore circa le "gravi questioni di funzionalità e di sincerità architettonica" che insorgono. Il ragionamento si conclude con un'ammonizione precisa: "è indubbiamente opportuno però che la pietra sia trattata secondo lo scopo a cui deve rispondere e cioè in modo che riveli nettamente la sua funzione di 'sostenere' se fa parte della struttura portante, e di 'rivestire' se ha fine di semplice corteccia protettiva ed estetica"[27].

Una posizione che appare ampiamente condivisa nel pensiero architettonico

del tempo se anche Giò Ponti - che contemporaneamente si occupava di molte delle questioni qui richiamate - ci ha consegnato un'analoga raccomandazione[28].

Del resto il vibrato apparecchio murario esterno che definisce la superficie scanalata del serbatoio, con i suoi blocchi sagomati in pietra artificiale, disposti senza sfalsamento dei giunti verticali secondo filari orizzontali scanditi da listature in calcestruzzo e segnati dalle precise incisioni verticali delle feritoie, presenta una struttura formale straordinariamente simile a quella del coevo paramento del Palazzo dei Ricevimenti e dei Congressi di Libera, senza dubbio e sotto molti aspetti, uno dei più significativi rivestimenti lapidei dell'architettura italiana.



Fig. 7 - L'intercapedine. La scala elicoidale

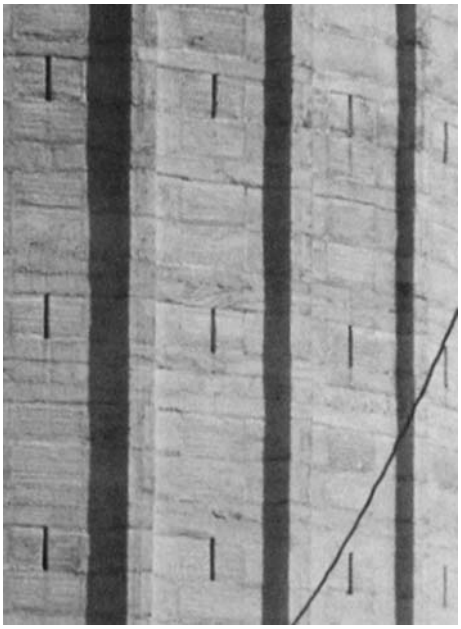


Fig. 8 - La muratura di rivestimento

[1] Cfr. G. Minnucci, *L'architettura e l'estetica degli edifici industriali*, "Architettura e Arti Decorative", V, 1926, 11-12, pp. 481-583.

[2] Cfr. G. Minnucci, *Due colossali lavori dell'ingegneria idraulica olandese*, "Ingegneria", 1924, 4; G. Minnucci, *Approvvigionamenti delle acque in Amsterdam*, "Ingegneria", 1924, 10.

[3] Per una sintetica ricostruzione della genesi del serbatoio di Corigliano d'Otranto e del coinvolgimento di Minnucci nel progetto, si rimanda a L. Stendardo, *Il serbatoio dell'Acquedotto Pugliese a Corigliano d'Otranto di Gaetano Minnucci*, in *Città di Pietra*, a cura di C. D'Amato Guerrieri, Venezia, Marsilio, 2006, pp. 263-269.

[4] Elaborazioni formali di matrice espressionista nell'opera di Minnucci sono già state sottolineate da chi scrive in A.B. MENGHINI - L. STENDARDO, *L'Accademia Marinara di Gaetano Minnucci*, in *Città di Pietra*, cit., pp. 76-80.

[5] WOLFGANG PEHNT, *Per una genealogia delle forme espressioniste*, in *Espressionismo e Nuova Oggettività. La nuova architettura europea degli anni Venti*, Milano, Electa, 1994, p. 13.

Si rimanda, inoltre, alle considerazioni sull'architettura di Minnucci come *Gesamtkunstwerk* espresse in A.B. MENGHINI - L. STENDARDO, *op. cit.*

[6] WOLFGANG PEHNT, *op. cit.*, p. 13.

[7] *Ivi*, p. 16.

[8] Cfr. L. STENDARDO, *Il serbatoio* …, cit.

[9] WOLFGANG PEHNT, *op. cit.*, p. 16.

[10] G. MINNUCCI, *L'architettura* …, cit.

[11] A. LIBERA - G. MINNUCCI, *Prima Esposizione d'Architettura Razionale. Presentazione* [1928], in G. CIUCCI - F. DAL CO, *Architettura italiana del '900*, Milano, Electa, 1990, pp. 101-105.

[12] G. MINNUCCI, *Gli elementi costruttivi dell'edilizia* [1945], Roma, Edizioni dell'Ateneo, 1949.

[13] Per una descrizione tecnico-costruttiva e architettonica della fabbrica si rimanda a L. STENDARDO, *Il serbatoio* …, cit.

[14] G. MINNUCCI, *L'architettura* …, cit.

[15] A. LIBERA - G. MINNUCCI, *op. cit.*, p. 103.

[16] *Ivi*, pp. 104-105.

[17] *Ivi*, p. 20.

[18] LE CORBUSIER, *Verso una architettura* [Paris, 1923], ed. it. a cura di P. Cerri e P. Nicolin, Milano, Longanesi, 1994, p. 9.

[19] *Ivi*, pp. 25-28.

[20] *Ivi*, p. 121.

[21] *Ivi*, p. 128.

[22] *Ivi*, p. 163.

[23] *Ivi*, p. 121.

[24] G. MINNUCCI, *Gli elementi* …, cit., vol. II *Le strutture degli edifici*, p. 202.

[25] *Ivi*, p. 205.

[26] *Ivi*,pp. 189-190.

[27] *Ivi*, pp. 205-206.

[28] Cfr. G. PONTI, *Amate l'architettura*, Milano, CUSL, 1957, p. 150.

RENATO IOVINO

Il Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo in Napoli di Camillo Guerra

Camillo Guerra, Ingegnere, Architetto e Professore di Architettura Tecnica, nella sua lunga e proficua attività di progettista dello spazio architettonico ha progettato e diretto la costruzione di ben tre Palazzi dei telefoni per la città di Napoli: Il Palazzo dei Telefoni di via De Petris, per il quale riprogettò anche la nuova facciata dopo che quella originaria era stata distrutta vandalicamente dalle truppe tedesche in ritirata dalla città; il Palazzo dei Telefoni di Porta Nolana, caratterizzato dalle prime intelaiature in cemento armato; il Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo.

In questa nota vengono presentati gli aspetti formali, funzionali, materici e tecnologici di questo piccolo gioiello di Architettura che è il Palazzo dei Telefoni del Rione Amedeo.

La presentazione del Palazzo, progettato e costruito tra il 1920 e il 1922, è arricchita dalla riproduzione fotografica di molte delle tavole progettuali inedite.

Camillo Guerra e l'Architettura

Nel gennaio del 1993 veniva ufficialmente attivato il Dipartimento di Ingegneria Edile dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, nato dalla fusione degli Istituti di Architettura Tecnica e di Costruzioni Edili. La formazione del nuovo Dipartimento, con l'intensificarsi della collaborazione di ricerca tra i docenti dei due Istituti, ha, tra l'altro, consentito di riscoprire e riordinare quel grande patrimonio, storico e culturale, costituito dai progetti, dai libri e dai documenti appartenenti alla *Fondazione Camillo Guerra* che aveva la sua sede nell'ex Istituto di Costruzioni Edili.

La *Fondazione Camillo Guerra*, fortemente voluta dal nostro professore Guido Guerra, figlio di Camillo, contiene, tra l'altro, di gran parte degli elaborati progettuali che Camillo Guerra ha prodotto nel corso della Sua lunga e proficua attività di ingegnere, tra il 1913 ed il 1960, anno della Sua morte.

La grande validità, sia dal punto di vista architettonico-urbanistico che tecnologico, degli schizzi, dei cartoncini (a matita ed a pastelli), dei lucidi (a matita ed a china) e di tutti gli altri elaborati prodotti da Camillo Guerra, fece nascere in noi la ferma volontà sia di procedere all'archiviazione elettronica di questo prezioso materiale cartaceo, realizzando così una banca dati che è risultato di grande interesse per i ricercatori dell'Ingegneria Civile, ed Edile in particolare, sia di organizzare, nell'ambito delle attività collaterali al Convegno Internazionale *Il recupero degli edifici antichi - manualistica e nuove tecnologie* (Napoli 29 e 30 ottobre 1993), una

mostra antologica delle opere di Camillo Guerra che tanto ha inciso sull'edilizia e sull'urbanistica, non solo napoletana, nel Novecento. In tutti gli elaborati progettuali di Camillo Guerra e' possibile leggere la mirabile simbiosi fra estro architettonico e scienza del costruire che il nostro Autore aveva maturato nella Scuola di Ingegneria napoletana e aveva sperimentato sul campo.

Enzo Carlevaro, Suo discepolo e collega, in occasione della Sua Commemorazione, ricordava:

"lo, che gli sono stato vicino nel periodo del Suo concorso alla cattedra, ho potuto raccogliere le Sue ansie, le Sue preoccupazioni e le Sue aspirazioni, tese al raggiungimento della cattedra di Architettura Tecnica nella scuola, ove era stato studente, poi assistente, libero docente ed incaricato, e dove voleva lasciare la Sua impronta come architetto e come tecnico, come l'Avo paterno l'aveva lasciata nella concezione di monumenti che ancora oggi destano ammirazione e conforto.

La meta da raggiungere era ostacolata dalla nascita in tutta Italia delle Scuole superiori (ora Facoltà) di Architettura, che avevano creato una nuova categoria di laureati in Architettura in competizione con gli ingegneri civili; che avevano raccolto nei corpi insegnanti una fitta schiera di architetti, di ingegneri, di artisti, di urbanisti, seguaci di un nuovo indirizzo dell'architettura, in concorrenza con gli indirizzi tradizionali delle Scuole di Ingegneria e dei Politecnici ed in concorrenza, nei concorsi a cattedre di architettura, con gli aspiranti provenienti dalle Scuole di Ingegneria. Ma

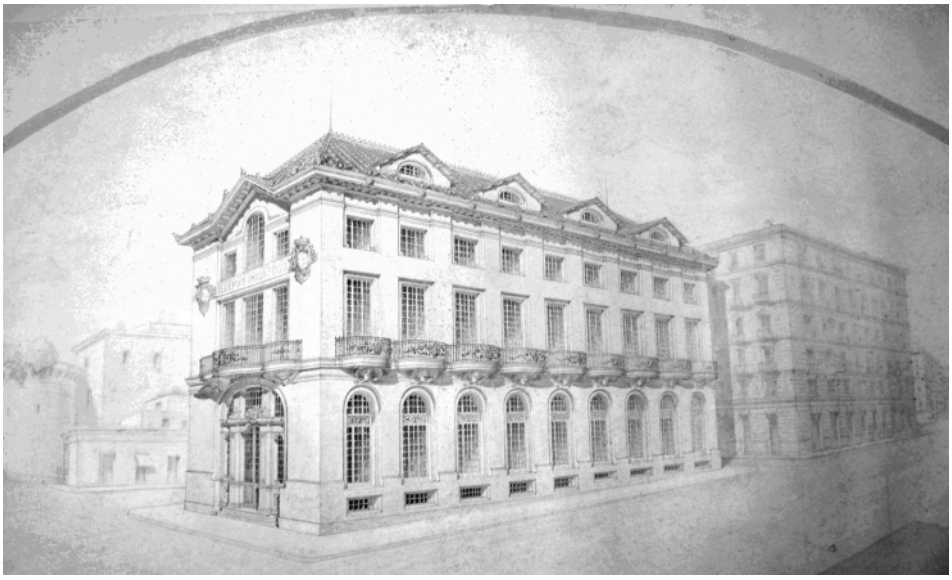


Fig. 1 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni di Porta Nolana, Napoli
cartoncino, china e matita colorata

il Nostro riuscì nel concorso universitario nonostante le avversità, e potè proseguire la Sua missione educativa fino all'estremo della sua esistenza terrena".

Camillo Guerra, abbandonato l'eclettismo storicistico, trova nel tradizionale barocco napoletano la principale fonte di ispirazione stilistica per la progettazione di edifici significativi, quali i tre Palazzi dei Telefoni di via Crispi, di Porta Nolana e di via De Pretis. A questo fecondo periodo, che lo vede operare anche fuori di Napoli, segue il periodo del ventennio fascista durante il quale progetta, sacrificando le nuove aspirazioni razionaliste-organiche, alcuni edifici monumentali, quali La Casa del Mutilato e La Stazione Marittima per passeggeri. In quest'ultima opera troviamo una originale sistemazione della Torre Littoria che oltre a svolgere la sua funzione simbolo del fascismo diventa struttura funzionale ospitando il vano scala. Questa invenzione, che l'Autore aveva già introdotto nel 1924 nella Sede del Dopolavoro di Chieti, venne poi più volte imitata dai più noti architetti del *ventennio*.

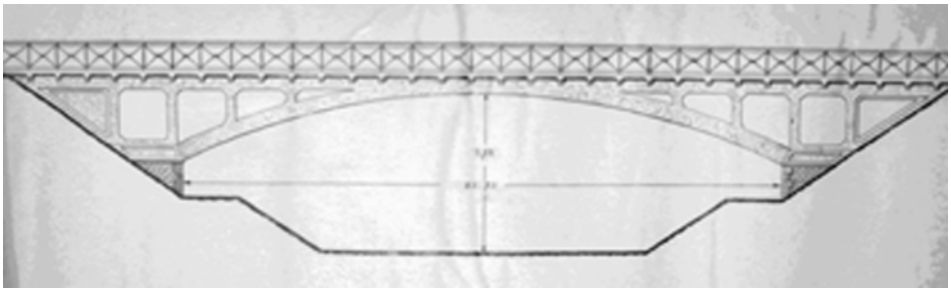


Fig. 2 - Camillo Guerra, Ponte in c.a. di 22,00 m di luce, lucido 90x35, china

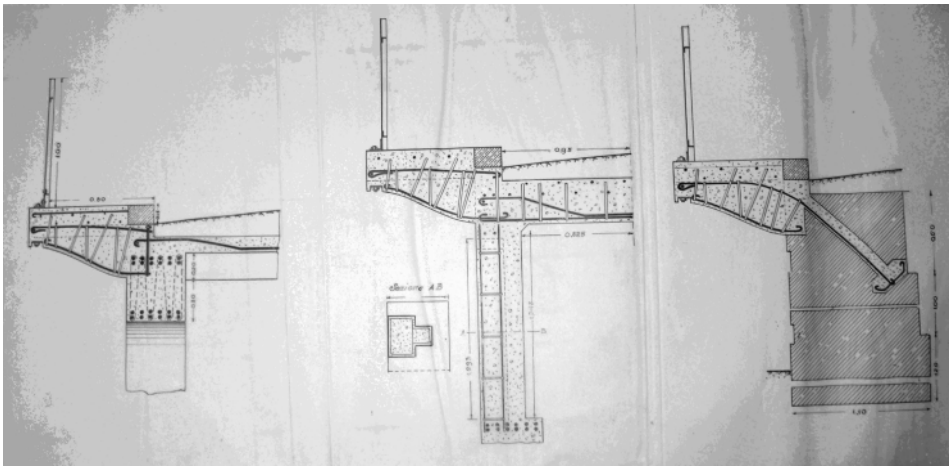


Fig. 3 - Camillo Guerra,Particolari costruttivi per il ponte in c.a. di 22,00 m di luce, lucido 80x35, china

Camillo Guerra, pur continuando ad utilizzare i tradizionali materiali lapidei, dal tufo al piperno, dal granito al travertino, è tra i primi a Napoli, e nell'intero meridione d'Italia, ad impiegare il nuovo materiale *cemento armato.*

Il *cemento armato,* anche se molto spesso nascosto dalle cortine murarie e dai decori a stucco, verrà utilizzato dal nostro Autore sia per realizzare edifici con impianti strutturali contraddistinti da semplicità e chiarezza, sia per costruire ardite coperture a volta ed a cupola, sia per consolidare antichi ponti con struttura originaria in muratura.

L'attività professionale di Camillo Guerra spazia dalla progettazione di varie opere dell'ingegneria civile, alla ideazione e realizzazione di significativi complessi edilizi, agli studi urbanistici, sia a livello metropolitano che a quello dei piccoli interventi zonali.

Ancora una volta le parole commemorative del compianto professore Enzo Carlevaro, ci possono essere di aiuto per ricordare, anche se sinteticamente, la vasta produzione progettuale di Camillo Guerra:

"La prima attività tecnica del Nostro iniziò quando, ancora studente della Scuola d'Ingegneria, Egli assisteva al lavoro di progettazione e di direzione dei lavori del padre per opere edilizie e monumentali. Fra queste opere sono degne di ricordo il padiglione della Campania nell'Esposizione Etnografica del 1911 di Roma, il Palazzo della Borsa ed il Mausoleo di Posillipo, allora nato come Tomba di Schilizzi in Napoli.

(...) Genio Civile di Napoli, nel 1917, fu destinato all'edilizia universitaria, problema che lo appassionò vivamente in tutta la sua vita.

La sistemazione dell'Aula De Santis, le sottofondazioni dello scalone del Salvatore, l'ampliamento del cortile occidentale, l'aula di zoologia sono opere sue, come pure il rafforzamento dell'Osservatorio Vesuviano ed il restauro del cornicione dell'Istituto di Belle Arti, i cui mensoloni in tufo si sfaldavano progressivamente e furono sostituiti, dopo molte discussioni, proprio col sistema prospettato dal Guerra.

Assunta, nel 1920, anche la direzione della 5ª sezione del Genio Civile, si dedicò alla progettazione della Centrale Telefonica del Rione Amedeo e delle nuove sale del Museo di S. Martino, in cui ha potuto dar libero sfogo alla sua passione per l'arte decorativa unita all'ardimento costruttivo di cupole e volte.

(...) di questo periodo preparatorio (dopo, il 1921 n.d.a.) sono i progetti dell'Asilo Regina Margherita all'Arco Mirelli, del Palazzo dei Telefoni dello Stato in via De Pretis, e di quello della SET a piazza Nolana, che è già, per i suoi tempi, una affermazione di architettura nuova.

(...) Vincitore nel 1928 del concorso ad ingegnere capo del Comune di Salerno, volle infatti, continuando l'insegnamento per incarico dell'Architettura tecnica nella nostra Scuola, dedicarsi ai più importanti problemi di quella città; che deve la sua attuale espansione e prosperità allo spostamento

della linea ferroviaria a monte della zona urbana; cardine del piano regolatore da Lui ideato.

Così Salerno ebbe la grande Via Litoranea e quella panoramica di circonvallazione;. i nuovi fabbricati per il Liceo Ginnasio, il Palazzo di Giustizia, l'ingresso monumentale del Cimitero, il padiglione per la Colonia Marina, il Campo Sportivo, il villaggio sanatoriale, molte altre opere di restauro e di abbellimento della città, tra cui alcune fontane monumentali. Maggiore fra tutte, il nuovo Palazzo di Città che ha nel suo interno un cinema di vaste proporzioni e quindi strutture di cemento armato assai notevoli per quei tempi: e che nel complesso è al livello tale da essere stato, nel lontano 1943, la prima sede del Governo della nuova Italia democratica.

(...) Il problema, però, al quale il Nostro si è dedicato con la maggiore passione e con tenacia ammirevole è quello del piano regolatore di Napoli.

(...) quel piano (il piano regolatore del 1936, approvato con legge del 1939 n.d.a.) è in gran parte basato su Suoi progetti, quale quello dello spostamento dello scalo ferroviario onde consentire l'espansione verso oriente del centro abitato, fino ad una stazione di transito sita oltre via Traccia, in sostituzione dell'attuale stazione di testa, che si inserisce nel vivo della città.

(...) *Fra le Sue opere monumentali, oltre quelle già citate, bisogna aggiungere, nel periodo immediatamente precedente la guerra; il palazzo dei Mutilati in Via Diaz, l'Istituto Nazionale dei Motori a Fuorigrotta e per il periodo successivo il completamento dell'Ospedale Cardarelli e la sistemazione degli edifici scolastici di via Foria: costruzioni queste attuate in vista di fondamentali realizzazioni urbanistiche che, invece, come vedremo, sono rimaste sospese.*

Fra i progetti non realizzati, ci piace ricordare il progetto per la grande Aula Magna, che manca alla nostra Università, e che Egli pensava si dovesse creare nel cortile, in luogo dello scalone all'aperto, verso gli istituti della Facoltà di Scienze. Allo stesso periodo risale il primo studio per la sistemazione della Facoltà di Medicina per la quale il prof. Guerra, come è noto, aveva studiato la sistemazione nella zona dell'attuale Città Universitaria. Studio questo che comportò altresì un sapiente esame del problema della rivalutazione del centro storico.

(...) Al prof. Guerra, alla Sua infaticabile attività e tenacia, dobbiamo l'iniziativa di un centro urbano ai Camaldoli di Napoli, nato dal nulla ed ora dotato di strade, di acquedotto, di energia elettrica, in una località salubre e panoramica, dominante la città e circondata dal verde della collina.

(...) Abbiamo già ricordato quanto Egli abbia fatto per la sistemazione delle zone collinari: giova qui accennare ai Suoi grandiosi progetti per le comunicazioni col Vomero ed alla Via del Gesù; progetti pratici, realistici e pure pieni dell'alta dignità architettonica cui Egli seppe improntare tutte le Sue opere".

*Il Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, Napol*i

Tra il 1918 ed il 1925 Camillo Guerra, all'epoca ingegnere del Genio Civile ed assistente volontario di Architettura Tecnica presso la Scuola di Ingegneria di Napoli, progetta e dirige i lavori di tre significative opere pubbliche a Napoli: la Centrale Telefonica del Rione Amedeo a via Crispi, il Palazzo dei Telefoni dello Stato in via De Pretis, il Palazzo S.E.T. a piazza Nolana.

Il Palazzo dei Telefoni dello Stato di via De Pretis, progettato e realizzato dal nostro Autore una prima volta nel 1923, fu oggetto di un Suo successivo progetto, nel 1946-47, a seguito dei gravi danni che le truppe tedesche gli procurarono nel 1943, prima di abbandonare Napoli, minandolo nelle strutture portanti.

I due progetti, ideati e realizzati a distanza di oltre vent'anni, rappresentano due significative testimonianze dell'evoluzione stilistica nel campo architettonico di Camillo Guerra.

La prima edizione del Palazzo dei Telefoni di via De Pretis, infatti, costituisce un classico esempio di architettura barocca che riporta immediatamente alla memoria sia le opere del Fontana che il Palazzo della Borsa realizzato alcuni decenni prima dal padre Alfonso, anch'egli architetto ed ingegnere; la seconda edizione, invece, superato il momento monumentale del *ventennio fascista*, può forse essere considerato la prima realizzazione *post-modern* in Italia.

Il Palazzo dei Telefoni del Rione Amedeo si articola su quattro piani: il piano seminterrato, il piano terra, il primo ed il secondo piano. L'edificio, a pianta rettangolare, presenta un muro di spina che divide l'organizzazione in pianta in due zone non simmetriche; la facciata su via Amedeo, invece, conserva una organizzazione simmetrica sia per l'aspetto geometrico che ponderale.

Il piano terra presenta tre ingressi: due ingressi per il pubblico e un ingresso per gli impiegati; dal locale ingresso del pubblico si accede, sul lato destro, ad una sala sportelli in collegamento con gli uffici di accettazione; dal locale ingresso del pubblico si può accedere, inoltre, ad un locale disimpegno collegato, sulla destra, con il locale delle cabine telefoniche. L'ingresso per gli impiegati è collegato sia con il locale per il custode, sulla sinistra, sia con il vano scala organizzato con tre rampe. Completano l'organizzazione funzionale del piano terra, i servizi igienici, divisi per uomini e donne, una grande sala per i selettori ed un ambiente guardaroba.

Il primo ed il secondo piano presentano la stessa organizzazione funzionale. Dal vano scala si accede, sulla destra, ad un locale disimpegno collegato direttamente con la grande sala destinata ad ospitare gli autocommutatori; sulla sinistra del vano scala troviamo, invece, i servizi igienici, divisi per sesso, ed un locale deposito.

Il piano seminterrato, del quale non si è rinvenuta la pianta, probabilmente era destinato ad ospitare locali di deposito e locali per gli attrezzi necessari per le manutenzioni periodiche. Il prospetto principale, sulla via Amedeo, si caratte-

rizza per l'organizzazione classica. Due trabeazioni suddividono la facciata in tre ordini sovrapposti.

Il primo ordine presenta in posizione centrale i tre ingressi all'edificio, scanditi da coppie di colonne che poggiano su basamenti prismatici e che terminano con capitelli che ricordano quello dorico. Le coppie di colonne centrali sostengono il balcone nobile definito da una balaustra con colonnine.

Il secondo ordine della facciata presenta due coppie di finestre disposte in modo simmetrico sui due lati del balcone nobile. Le quattro finestre sono definite lateralmente da paraste che sostengono il timpano arcuato con il traverso spezzato; il balcone nobile presenta anch'esso un timpano arcuato ma con il traverso continuo e con l'arco spezzato per ospitare lo stemma.

Il terzo ordine, di minore altezza rispetto ai primi due ordini, si caratterizza per la presenza di cinque finestre definite da cornici a stucco.

Quattro paraste, che si sviluppano per l'intera altezza, suddividono poi la facciata in tre fasce: due fasce laterali

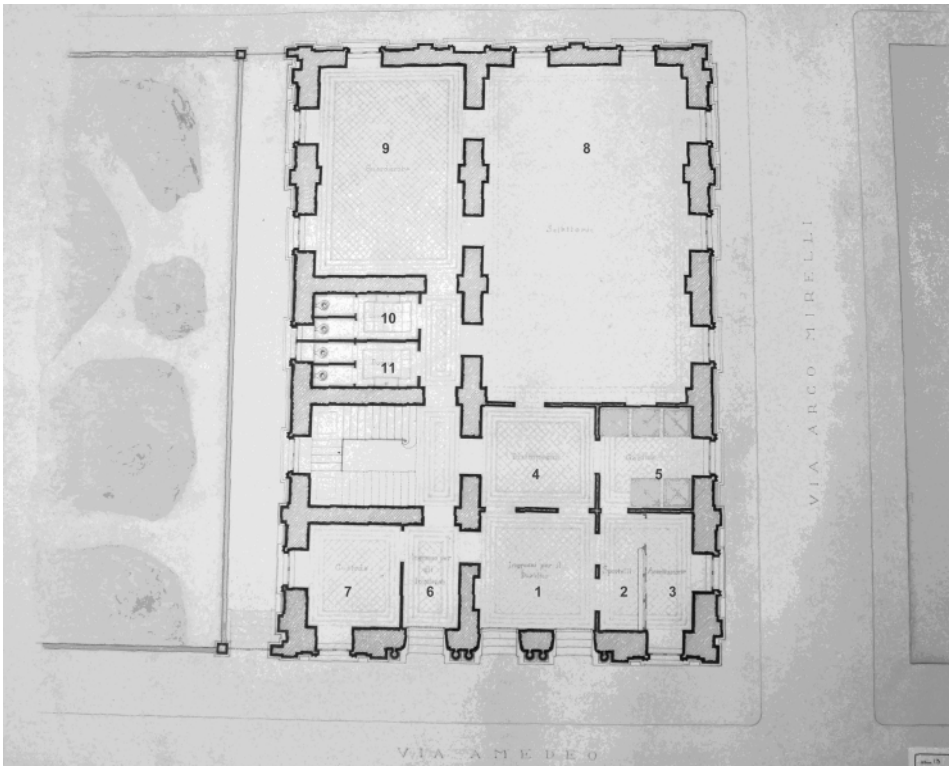


Fig. 4 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, pianta piano terra cartoncino 95x80, china e matita colorata
Legenda: 1. ingresso pubblico; 2. sportelli; 3. accettazione; 4. disimpegno; 5. cabine; 6. ingresso per impiegati; 7. custode; 8. sala selettori; 9. guardaroba; 10. wc uomini; 11. wc donne

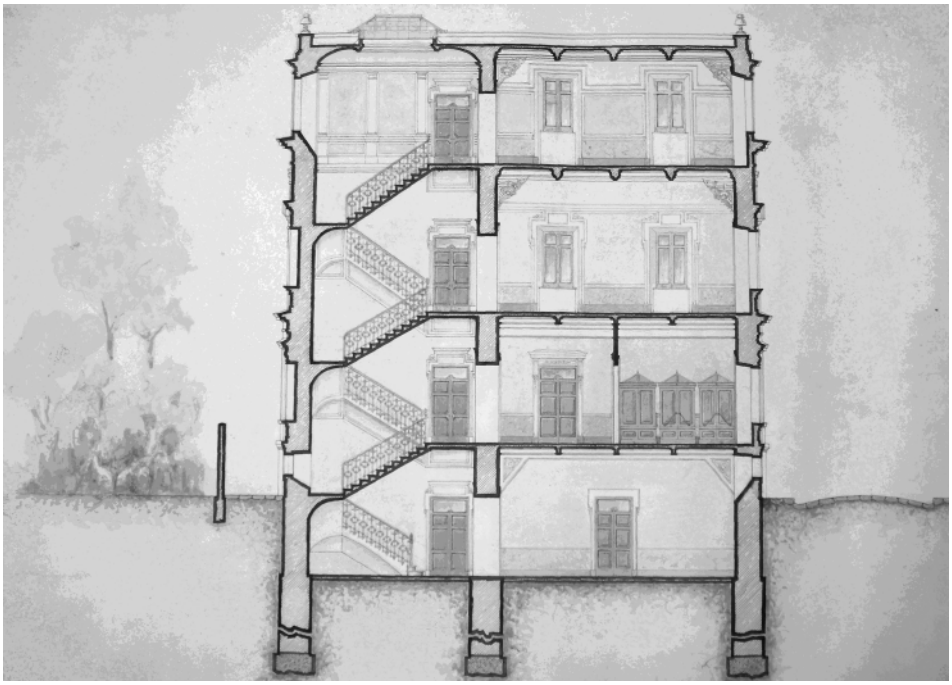


Fig. 5 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, sezione trasversale cartoncino 95x80, china e matita colorata

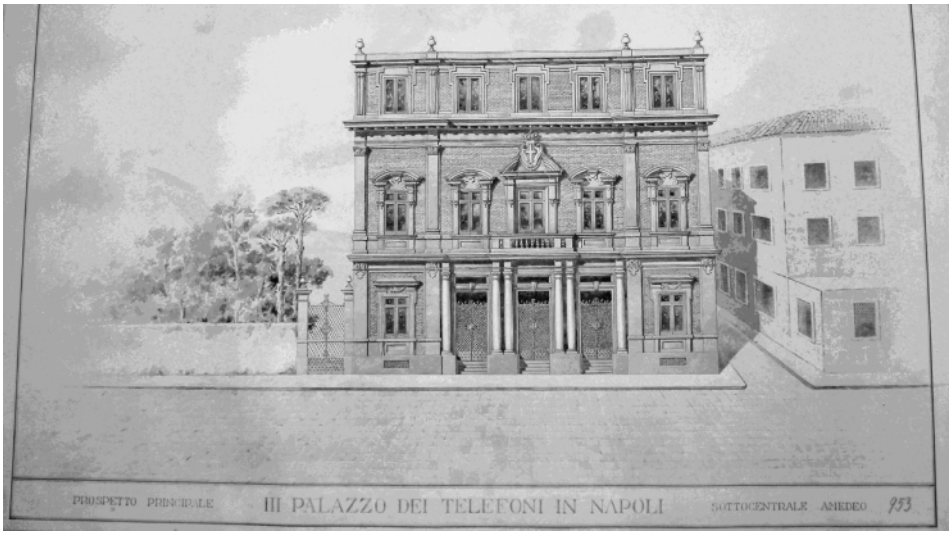


Fig. 6 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, prospetto su via Amedeo cartoncino 95x80, china e matita colorata

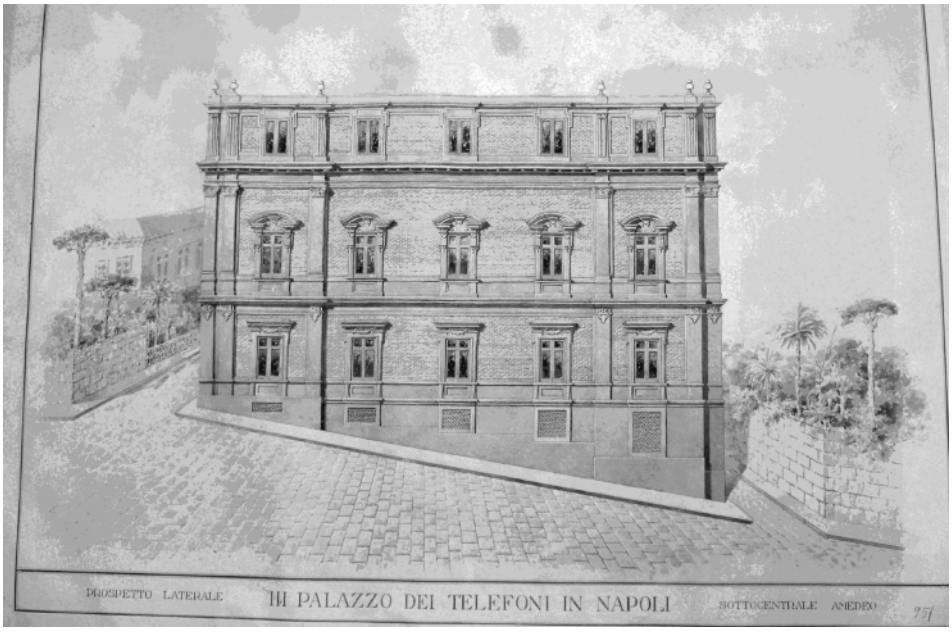


Fig. 7 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, prospetto laterale su via Arco Mirelli, cartoncino 95x80, china e matita colorata

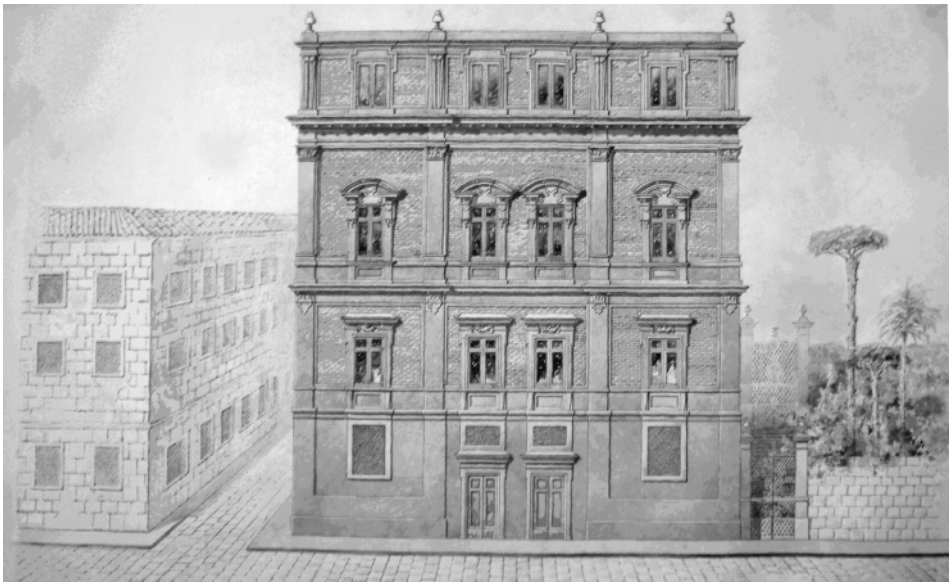


Fig. 8 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, prospetto posteriore cartoncino 95x80, china e matita colorata

di larghezza pari all'incirca ad un terzo della larghezza della fascia centrale, ed una fascia centrale che ospita gli ingressi, al piano terra, ed il balcone nobile, al primo piano. Anche la facciata posteriore si caratterizza per la presenza delle trabeazioni e delle paraste che si sviluppano in modo da conferire simmetria geometrica e ponderale all'intera composizione.

La facciata laterale, infine, si caratterizza per la presenza del piano seminterrato il cui paramento murario costituisce basamento, ad altezza variabile, per l'intera organizzazione formale dei piani sovrastanti. Su tutte le facciate i riquadri definiti dalle trabeazioni e dalle paraste sono caratterizzate dal colore rosso dei mattoni a facciavista.



Fig. 9 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, dettaglio stemma centrale lucido 100x95, china

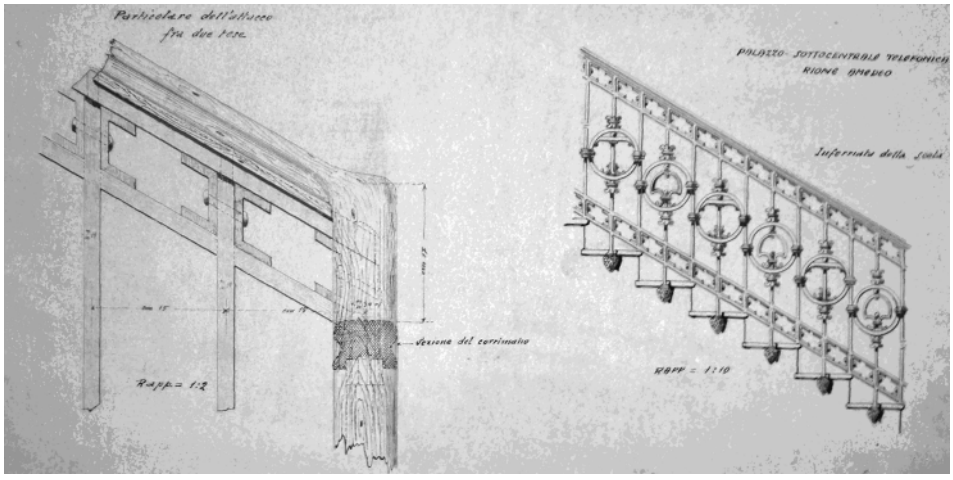


Fig. 10 - Camillo Guerra, Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo, dettagli costruttivi ringhiera scala lucido 65x30, china

Flavia Fascia

Il Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli di Camillo Guerra

In questa nota, dopo una breve presentazione di Camillo Guerra, Ingegnere e Professore di Architettura Tecnica, viene presentato il progetto inedito con il quale Camillo Guerra partecipò nel 1923 al concorso di primo grado per la progettazione di un Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli.

Il palazzo, da realizzare in Piazza Principe di Napoli, si caratterizza per soluzioni costruttive innovative per l'epoca presentando una struttura portante che è una armonica sintesi di muratura e pilastri in cemento armato. La stessa muratura costituisce cassaforma per il getto del calcestruzzo dei pilastri.Il progetto, il cui motto è "In naturae triunpho artium resurrectio", si articola in più tavole, disegnate tutte con matite colorate e con una straordinaria suggestione di colori e luce, rappresentanti piante, prospetti, sezioni e particolari costruttivi sia in scala 1:100 che 1:50.

Particolarmente interessante appare lo studio degli elementi di fabbrica di collegamento verticale costituiti dalla scalinata nobile e dagli ascensori. La scalinata nobile, disposta in posizione baricentrica, si articola con coppie di rampe, contrapposte e simmetriche rispetto al secondo pianerottolo di riposo, e con due ampie rampe a sviluppo circolare che collegano il piano del vestibolo con il primo pianerottolo di riposo. Gli ascensori, con cabine in vetro, veri prototipi dei moderni ascensori panoramici, sono azionati da due motori disposti alla base dell'edificio. Ancora una volta Camillo Guerra elabora tavole capaci di esprimere in maniera esaustiva la sua idea progettuale.

Cenni biografici di Camillo Guerra

Camillo Guerra (1889-1960) discendeva da una lignée di artisti: il nonno Camillo fu capofila in Italia dei pittori accademici, dopo il Camuccini; il padre Alfonso fu uno dei *grandi* che progettarono i Padiglioni dell'Esposizione etnografica del 1911 (Alfonso Guerra per il mezzogiorno continentale, Basile per la Sicilia, Pio Piacentini per il Lazio), commemorativa del cinquantenario dell'Unità d'Italia.

Nel giugno del 1912 conseguì la laurea in Ingegneria, discutendo una tesi progettuale di un circolo con teatro, e nello stesso anno entrò nel Genio Civile, primo alle prove di esame su 122 concorrenti. Fu assegnato all'Ufficio di Caserta dove si cimentò in notevoli opere di ingegneria civile fra cui tredici ponti in cemento armato. Trascorso il biennio di prova, nel 1914 fu assegnato all'Ufficio del Genio Civile di Napoli, dove progettò, fra l'altro, un primo intervento nell'Orto Botanico, il piano regolatore e vari edifici nel *Mandracchio* (il Man-

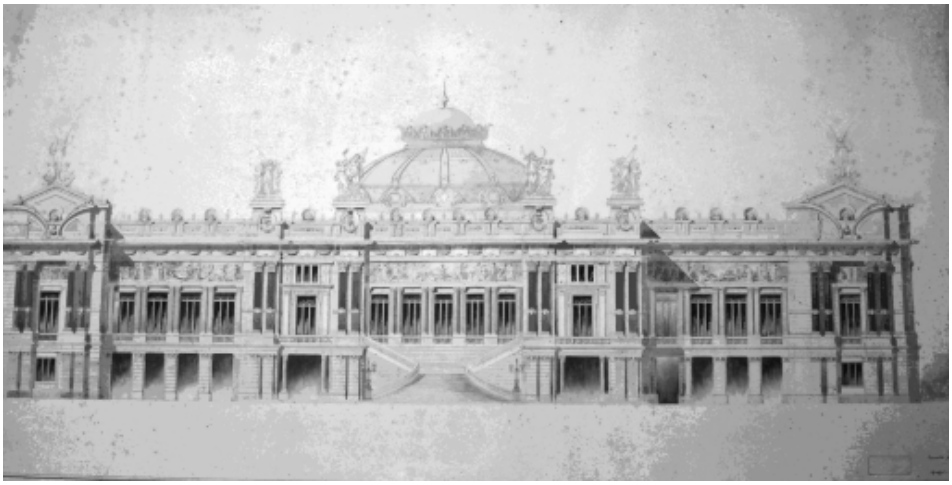


Fig. 1 - Camillo Guerra, Progetto per tesi di laurea, cartoncino 140x75, matita colorata

dracchio era uno specchio d'acqua, con scarso pescaggio, sito fra Piazza Municipio, Piazza Francese e la via Marina.Quest'ultima era munita di sottopassi che consentivano l'accesso al Mandracchio di capaci chiatte che in tal modo raggiungevano un nuovo sviluppo di banchine di oltre 200 m. Gli edifici progettati e costruiti allora, demoliti dai bombardamenti alleati, sono stati tutti rifatti nel dopoguerra).

Negli anni 1915-16 fu in missione a Sora per la ricostruzione di quella cittadina, e di ventidue centri abitati circostanti, nei quali oltre quattrocento edifici erano stati rasi al suolo dal terremoto marsicano. Rientrato al Genio Civile di Napoli, ben presto, gli furono affidate tutte le opere edili dello Stato, formando così la sua esperienza, la sua *prima maniera*, di progettista architettonico.

Abbandonato l'eclettismo della generazione precedente, si sentì in piena consonanza con la grande tradizione napoletana, con quel barocco cioè che si andava spogliando delle superfetazioni che qualche decennio prima erano degenerate fino al rococò. Egli infatti non rinunziò mai alla semplicità e chiarezza dell'impianto strutturale dell'edificio, pur riuscendo ad essere sempre originale nell'impostazione e nella tecnica progettuale. Il suo barocco giunge così ad acquistare una purezza di linee quasi moderna.

Rientrato nell'Ufficio di Napoli, riprese i contatti con la Scuola di Ingegneria e nell'anno accademico 1914-15 fu nominato assistente volontario su proposta del professar Alfredo de Nora, che teneva allora le cattedre di *Costruzioni metalliche ed in legno* e di *Statica grafica* (Alfredo De Nora fu professore di Tecnica delle Costruzioni nel Politecnico di Napoli fra il 1910 ed il 1940). Nel merito Camillo Guerra, che ebbe la responsabilità delle esercitazioni di tutti e due gli insegnamenti, ebbe a commentare: *"tenni questi incarichi con molto sacrificio personale, sobbarcandomi*

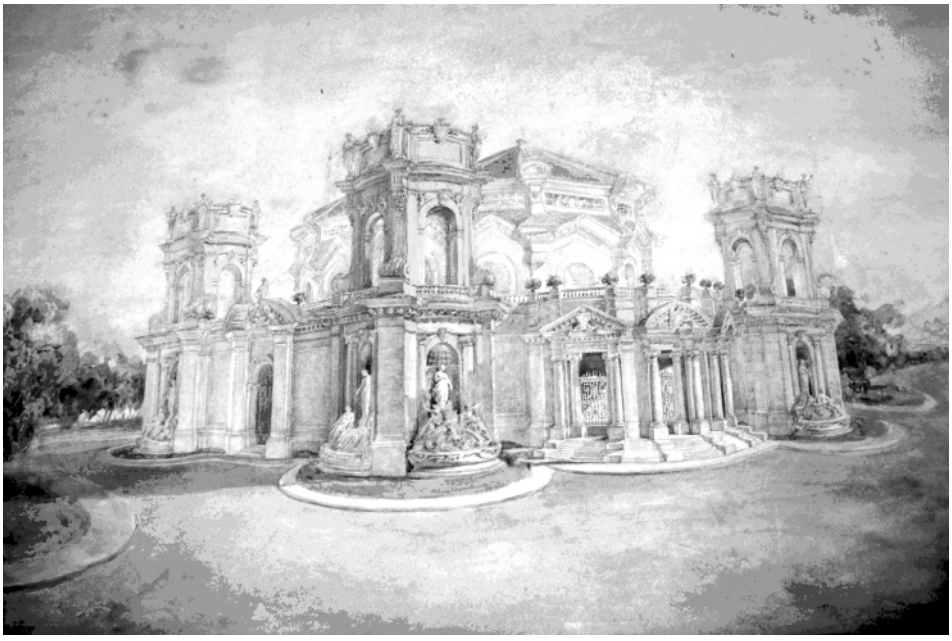


Fig. 2 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli ,vista prospettica cartoncino 140x80, matita colorata e acquerello

molte volte a venir di lontano per la lezione e disimpegnandole per tre anni consecutivi fino a quando le mansioni di ufficio furono così onerose da costringermi poi ad allontanarmi dalla Scuola, ma non per molto tempo".

Con la collaborazione alla docenza Camillo Guerra ebbe la possibilità di consolidare la sua preparazione nel settore delle strutture, e di porre le basi per affrontare la carriera universitaria nel settore che gli era più consono: chiese, infatti, ed ottenne la nomina ad *assistente volontario* alla Cattedra di Architettura Tecnica, presso la quale svolgerà tutta la sua attività didattica dal 1928 e fino al 31 marzo 1960, data della sua morte (l'assistente volontario, figura scomparsa con la riforma Spadolini, era a tutti gli effetti un dipendente statale non remunerato che godeva del relativo status e poteva essere inserito, senza concorso ad altro titolo nella pubblica amministrazione).

Dal 1925 in poi, l'attività professionale di Camillo Guerra fu sempre improntata dalla sua dedizione alla vita universitaria, cui condizionò ogni sua futura scelta.

Entrato nel giro dell'alta cultura napoletana, riuscì a suscitare un movimento di opinione (cui contribuirono validamente l'ultimo sindaco liberale Angiulli ed uomini di alto prestigio politico come Enrico de Nicola) che impedì alla speculazione edilizia di abbattersi sul *Mausoleo Schilizzi*, opus maximum di Alfonso Guerra dell'architettura napoleta-

na del tardo Ottocento. Furono così reperiti notevoli fondi pubblici per i lavori di restauro e di completamento del Mausoleo; lavori che Camillo Guerra curò fino ai suoi ultimi giorni. Nell'anno 1925 Camillo Guerra, per evitare un trasferimento che lo avrebbe allontanato dall'attività universitaria, diede le dimissioni dal Genio Civile, conservando però l'incarico di progettista e di direttore dei lavori già a lui affidati e non ancora completati. Si pensi ai tre edifici per i servizi telefonici di Porta Nolana, del Rettifilo e di via Crispi allineati sull'asse Est-Ovest ed ai suoi interventi su San Martino, l'Accademia di Belle Arti e l'Istituto per le Arti Applicate sulla direttrice Nord-Sud.

Ma il 1925 fu anche l'anno in cui il conseguimento della libera Docenza impresse una svolta decisiva alla sua vita. Nei primi anni di *esercizio* (come allora si diceva) della Libera Docenza operò come assistente del prof. Carlo Laneri, suo predecessore nella cattedra; ma poi entrò a far parte del corpo docente, come professore incaricato. Con il pensionamento del prof. Laneri, ebbe il carico di tutto l'insegnamento in campo architettonico con soli tre assistenti (gli ingegneri Battistella, Massari e Salvati) con un'attività che lo impegnava in prima persona tutti i giorni dalle 8.30 alle 17: la mattina con lezioni ex cattedra, il pomeriggio con assistenza alle esercitazioni grafiche.

A questo faticoso lavoro si aggiunge la pubblicazione del primo trattato sistematico di Architettura Tecnica, nato come dispense in litografia ma ben presto riprodotto in un volume a stampa, ricco di disegni tecnici che, schizzati dal Guerra, erano poi disegnati dal prof. Luigi Fedele, suo coetaneo e fedele collaboratore.

Il Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti

Nel 1923 Camillo Guerra partecipò al concorso di primo grado per la progettazione di un Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti da realizzare in Napoli. Il progetto aveva come motto la frase latina "In natura triunpho artium resurrectio". Il palazzo, da realizzare in Piazza Principe di Napoli, si caratterizza per soluzioni costruttive innovative per l'epoca presentando una struttura portante che è una armonica sintesi di muratura e pilastri in cemento armato. La stessa muratura costituisce cassaforma per il getto del calcestruzzo dei pilastri. L'edificio presenta due assi di simmetria, che sono anche assi di simmetria ponderale, che si sviluppano, rispettivamente, in direzione parallela ed ortogonale alla Riviera di Chiaia ed alla via Caracciolo. Con riferimento all'organizzazione volumetrica l'edificio si articola su tre piani: un piano rialzato, con accesso dalla piazza Principe di Napoli; un piano delle terrazze, con due sale espositive disposte in posizione assiale; un piano seminterrato con accesso attraverso quattro scale a tre rampe.

L'organizzazione funzionale

Tre gradinate, che si sviluppano secondo un arco di ellisse, collegano il piano stradale con un pronao coperto, di for-

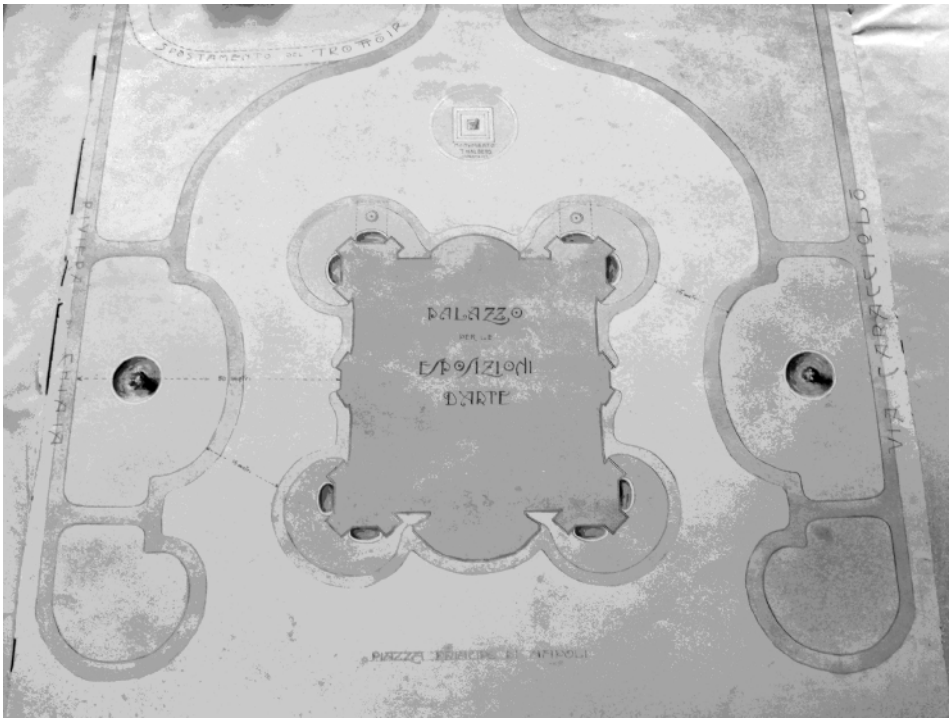


Fig. 3 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli, planimetria, cartoncino 80x90, matita colorata e acquerello

ma ellittica, disposto alla quota del piano rialzato. Dal pronao, attraverso il deambulatorio anteriore, si accede al "Gran salone per la scultura" collegato, attraverso uno spazio connettivo ricavato al di sotto del pianerottolo di smonto dello scalone nobile che porta al primo piano, con il "Gran salone di concerti". Due deambulatori, che si sviluppano lateralmente al "Gran salone per la scultura", collegano il deambulatorio anteriore con lo scalone nobile.

L'organizzazione spaziale dello scalone nobile è particolarmente articolata e fluente. Lo scalone è organizzato simmetricamente rispetto all'asse longitudinale dell'edificio con tre rampe per ciascun lato. Due rampe, a sviluppo circolare, dipartono dal piano del deambulatorio e si collegato in corrispondenza del pianerottolo di riposo; la terza rampa, a sviluppo rettilineo, collega il pianerottolo di riposo con il pianerottolo del primo piano.

Due ascensori, con pianta ellittica e con pareti vetrate, completa l'organizzazione dello scalone nobile. Camillo Guerra anticipa di oltre cinquanta anni l'impiego di quegli ascensori trasparenti che caratterizzano tante architettura nel mondo, quali gli ascensori delle Torri Enel del Centro Direzionale di Napoli.I due deambulatori laterali danno accesso anche a due grandi ambienti a svi-

luppo rettangolare: il Salone per la pittura, prospiciente la Riviera di Chiaia, e il Salone per la pittura, prospiciente la via Caracciolo. Entrambi i saloni sono collegati con l'esterno attraverso due piccole gradinate. Negli angoli della pianta rettangolare si sviluppano quattro ambienti, con sviluppo verticale a torre, che ospitano quattro piccole "Sale di pittura". Il "Gran salone di concerti" termina con un abside circolare, destinato ad ospitare i concertisti, che è chiuso all'esterno con un deambulatorio anch'esso a sviluppo circolare.

Quattro scale, disposte in modo simmetrico rispetto ai due assi dell'edificio, completano l'organizzazione del piano rialzato. L'organizzazione spaziale del "Gran salone per la scultura" e del "Gran salone di concerti" è caratterizzata dalla presenza di due coperture con volte lunettate.

Il primo piano dell'edificio si articola su due livelli. Il primo livello ospita un articolato sistema di terrazze panoramiche che si sviluppano in corrispondenza dei deambulatori e dei due "Saloni per la pittura" del piano rialzato. Completano il piano delle terrazze quattro belvederi, sovrastanti i quattro ambienti che ospitano le quattro piccole "Sale di pittura" del piano rialzato, coperti con volte. Il secondo livello, a quota rialzata rispetto a quello del piano delle terrazze, ospita due grandi "Sale di pittura". Alle due "Sale di pittura", coperte con volte

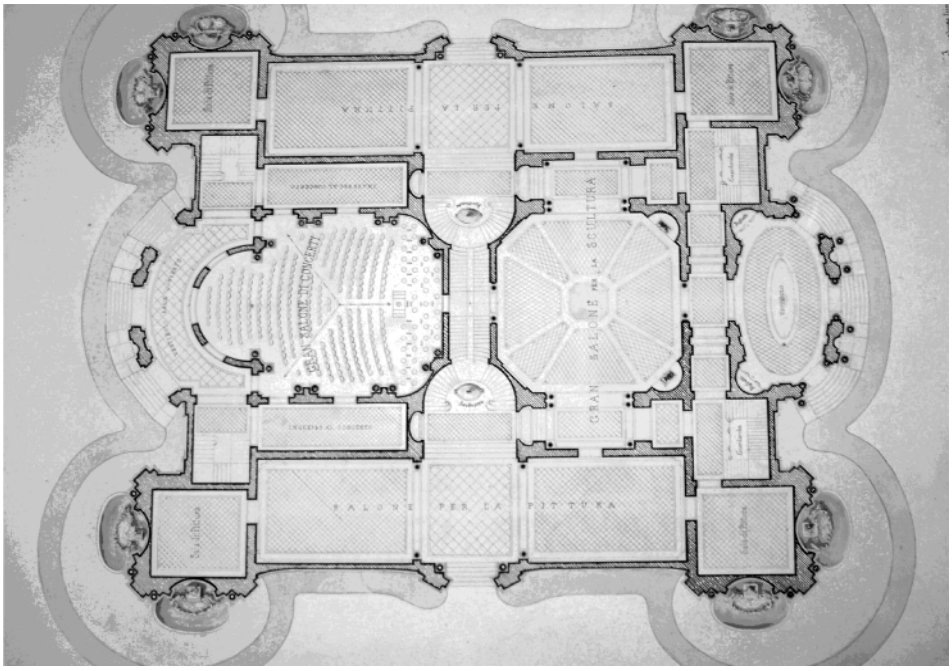


Fig. 4 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli, pianta piano rialzato, cartoncino 100x80, china e matita colorata

a padiglione nervate all'estradosso, si accede direttamente dallo scalone nobile. Sul piano delle terrazze si aprono, poi, sei lucernari progettati per illuminare in modo diffuso i due sottostanti "Saloni per la pittura". Al piano seminterrato, al quale si accede attraverso le quattro scale periferiche, sono localizzati due grandi locali per il deposito delle "pitture", un grande locale per il deposito delle "sculture" e magazzini vari. In corrispondenza del deambulatorio e dell'abside del "Gran salone di concerti" del piano rialzato, è localizzato un bar con annessi sala ristoro e servizi igienici.

L'organizzazione formale

L'organizzazione planimetrica dell'edificio secondo due assi di simmetria, l'articolazione delle facciate secondo curve concave e convesse, l'uso di elementi classici quali colonne, timpani triangolari e timpani arcuati, fanno di questo "Palazzo" un significativo esempio di architettura neo-barocca. Dopo i decenni dei revival stilistici, dal neo-gotico al neo-classico, dal neo-rinascimento al rococò, che caratterizzano il "Risanamento" della città di Napoli all'indomani dell'epidemia di colera del 1884, Camillo Guerra si esprime e reinterpreta il linguaggio stilistico barocco che nel Settecento aveva impregnato le tante magnifiche scale aperte sulla corte del Sanfelice o le tante bellissime Ville Vesuviane del "Miglio d'Oro".

Otto vasche, due su ciascun fronte dell'edificio, dalle quali emergono altrettanti gruppi marmorei, definiscono le quinte laterali del Palazzo; una elegante balaustra con colonnine in marmo si sviluppa sull'intero perimetro del Palazzo e costituisce elemento di coronamento del primo ordine delle facciate; nicchie a sviluppo circolari, definite superiormente da semi-cupole, scandiscono le facciate delle due grandi "Sale di pittura" del primo piano.

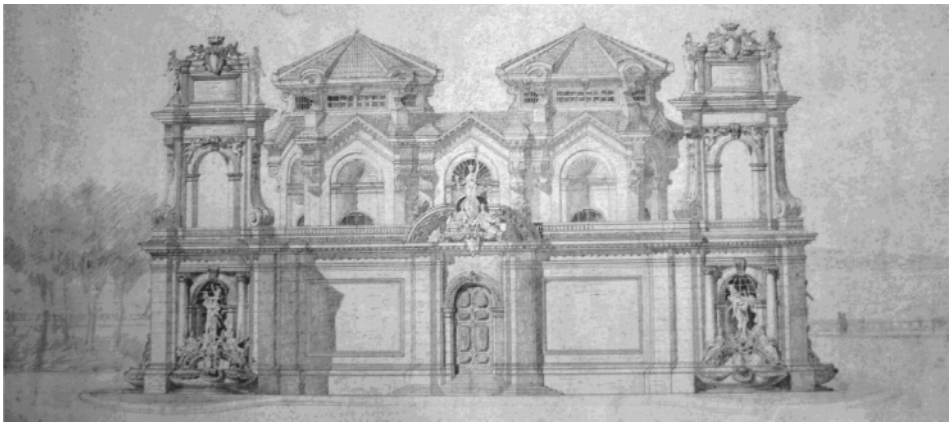


Fig. 5 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli, prospetto posteriore, cartoncino 95x75, matita e carboncino

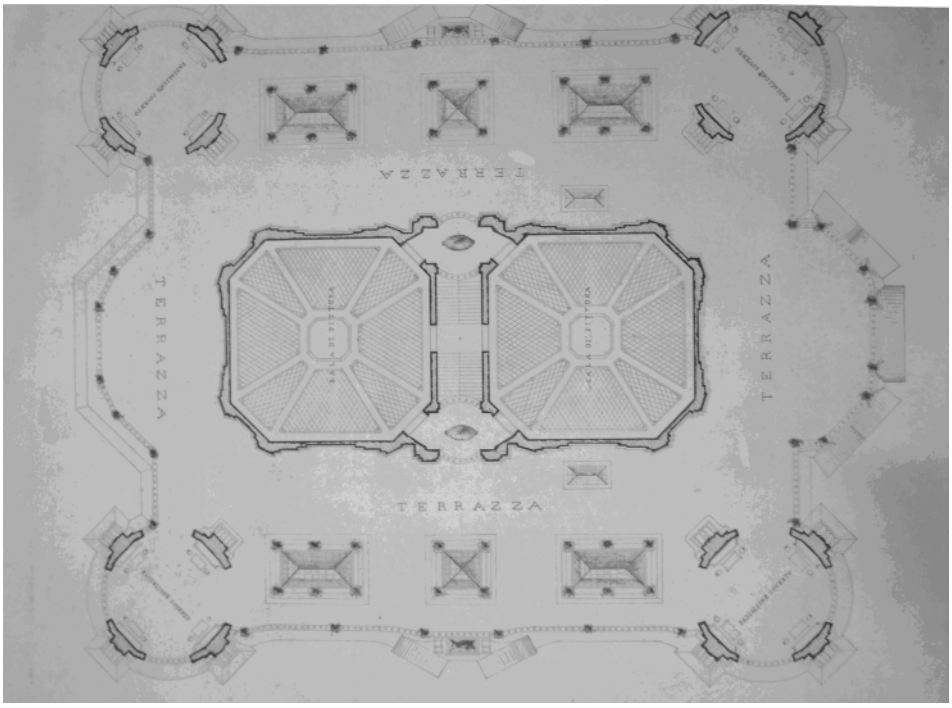


Fig. 6 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli,
pianta piano delle terrazze, cartoncino 90x75, china e matita colorata

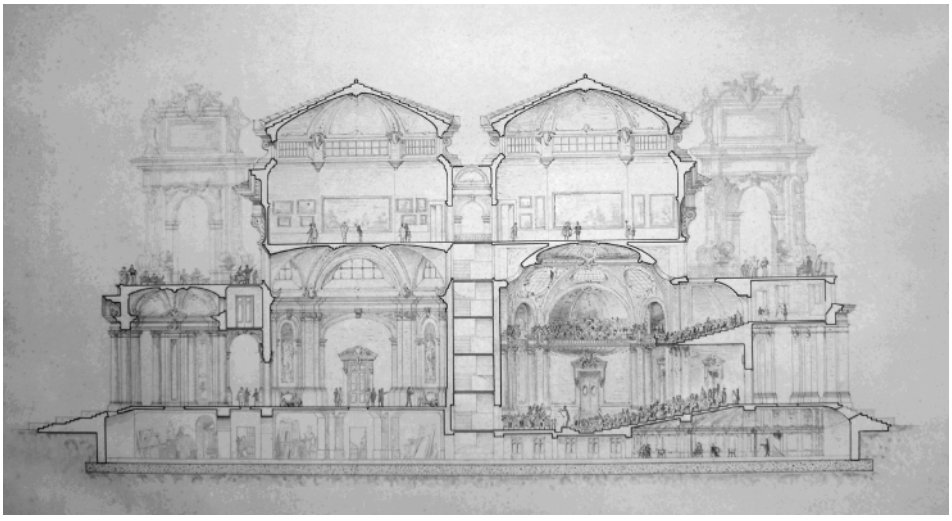


Fig. 7 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli ,
sezione longitudinale, cartoncino 110x90, china e carboncino

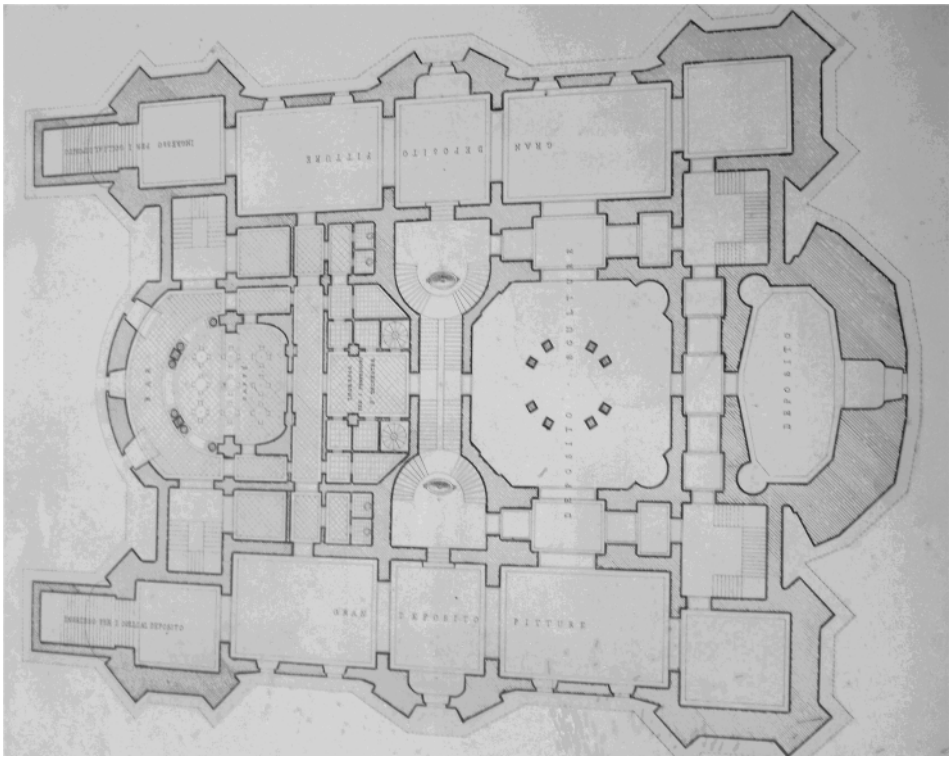


Fig. 8 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli,
pianta piano seminterrato, cartoncino 95x80, china

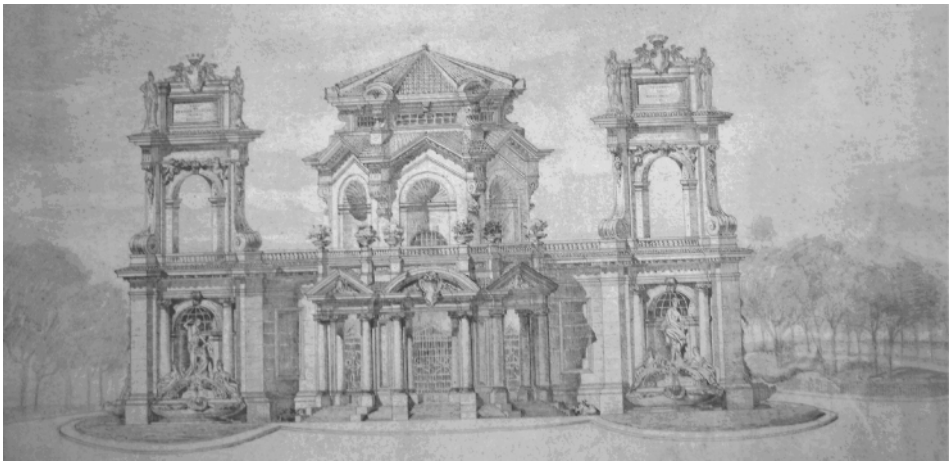


Fig. 9 -Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli,
prospetto su piazza Principe di Napoli, cartoncino 110x90, matita e carboncino

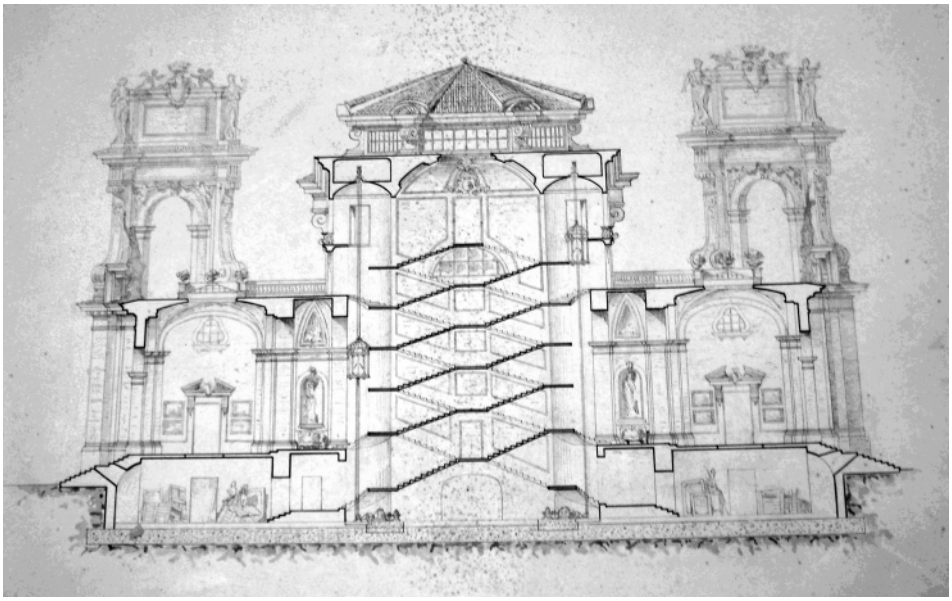


Fig. 10 - Palazzo per le Esposizioni di Belle Arti in Napoli
sezione trasversale, cartoncino 100x80, china e matita

RENATA PICONE

Camillo Guerra e gli aspetti strutturali del restauro architettonico



Fig. 1 – Napoli, palazzo Gravina durante i lavori di sottofondazione (1925-26)

All'indomani della prima guerra mondiale e fino almeno agli anni trenta del Novecento, l'ingegnere napoletano Camillo Guerra[1] , anche grazie al suo ruolo di Direttore della prima Sezione del Genio Civile di Napoli, pone mano a numerosi restauri e interventi di consolidamento statico sul patrimonio storico-artistico cittadino. Camillo, figlio del più noto Alfonso, si era laureato in Ingegneria Civile nel 1912, divenendo subito funzionario del Genio Civile, prima a Caserta, dal '12 al '14 e poi a Napoli, fino al 1925, quando, conseguita la libera docenza in *Architettura Tecnica*, preferì dedicarsi all'insegnamento e ad una copiosa attività professionale[2] . Nei primi anni dopo la laurea Guerra attende alla sistemazione delle nuove sale del Museo di San Martino (1919-21), e realizza il Palazzo dei Telefoni al Rione Amedeo (1920-23) e quello alla Ferrovia (1921-23)[3] . Ciònondimeno appare interessante in quel periodo il suo contributo al campo del consolidamento di preesistenze storiche, trasformate per

ospitare funzioni pubbliche. I lavori di restauro agli edifici monastici destinati a sedi universitarie in via Mezzocannone, il consolidamento dell'Osservatorio vesuviano, il restauro e le opere di sottofondazione per il Palazzo Gravina, i lavori connessi al trasferimento della Biblioteca Nazionale nell'appartamento storico del Palazzo Reale, sono solo alcuni impegni professionali in cui il giovane Guerra si misura con fabbriche monumentali, mettendo alla prova le sue solide conoscenze sul funzionamento statico degli antichi edifici in muratura. Forte anche delle esperienze condotte nella Marsica, in particolare a Sora e a Rieti, dove viene inviato, nel 1916, per far fronte ai danni derivanti dai terremoti che avevano interessato i centri storici di quelle zone[4], l'ingegnere napoletano si cimenta in interventi di restauro in cui è richiesta una notevole capacità tecnica nella soluzione di problemi di natura statica, ma anche una buona padronanza progettuale nel dare risposta alle esigenze di natura funzionale, che le nuove destinazioni d'uso assegnate agli antichi edifici richiedevano. Il giovane tecnico veniva supportato, oltre che da una buona conoscenza delle strutture murarie, anche da una solida dimestichezza con i caratteri *stilistici* e distributivi degli edifici storici, che gli derivava anche dall'essere figlio d'arte. Negli anni che vedono la creazione in Italia delle Scuole di Architettura, Camillo Guerra rappresenta un caso emblematico di quella generazione di tecnici ingegneri che, pur senza essere pienamente avveduti del dibattito teorico sul restauro che si sviluppava in quegli stessi anni in Italia e in Europa, fondava i suoi interventi sul patrimonio storico-artistico su una solida conoscenza del funzionamento statico degli edifici in muratura - secondo la logica del costruire "a regola dell'arte" non ancora interrotta dalla lunga stagione del cemento armato - e su un'impostazione generale dell'intervento che si concretizzava, negli esiti formali, in un ripristino stilistico e in un riscoprimento delle "forme originarie".

Il saggio si propone di indagare, attraverso una rilettura critica di alcuni interventi effettuati da Guerra su preesistenze storiche, ma anche mediante le relazioni pubblicate sui suoi "Opuscoli di Architettura Tecnica", l'approccio all'antico di un tecnico della sua tempra, in un'epoca in cui il restauro moderno iniziava a porre le basi del suo statuto teorico e disciplinare.

Palazzo Gravina: i lavori di consolidamento e sottofondazione ed il restauro della facciata

A partire dal primo decennio del Novecento il cinquecentesco Palazzo Gravina[5] - allora sede delle Regie Poste - inizia a manifestare problemi di natura strutturale, con un quadro fessurativo che conduce a ipotizzare un dissesto in fondazione[6]. Da questo momento si delinea a più riprese - con saggi e approfondimenti che restituiscono un interessante spaccato della cultura tecnica dell'epoca in tema di strutture e terreni fondazionali - l'importanza del dissesto che interessava l'edificio; al punto da giungere, nel 1916, all'avvio di

un ampio progetto di sottofondazione, ideato e diretto da Camillo Guerra, su incarico del Genio Civile[7]. L'ambizioso programma porterà alla sottofondazione completa dell'edificio, e al consolidamento, coevo alla realizzazione del muro sottofondale, della facciata principale su via Monteoliveto. Quest'ultimo offrirà lo spunto per un ripensamento del disegno di prospetto, che trae, sì, origine da motivazioni strutturali, ma che si traduce in un restauro di ripristino dell'immagine "originaria" della fabbrica, fortemente voluto dalla cultura del tempo, con la riduzione a finestre dei vani di bottega aperti sulla strada dal d'Apuzzo, e il ripristino del bugnato in piperno del basamento. I dissesti fondali che andavano affrontati traevano in parte origine dalla particolare topografia della zona in cui sorge l'edificio: collocato all'incrocio delle odierne via Monteoliveto, calata Trinità Maggiore e via Sant'Anna dei Lombardi, esso si trova alla confluenza dei tre declivi degli assi stradali, il che giustifica la presenza di acqua riscontrata nel sottosuolo. Inoltre le trasformazioni urbanistiche di quell'area avviate ai primi del Novecento[8], con conseguente apertura di pozzi e realizzazione di lavori di scavo e di opere fognarie, avevano contribuito a determinare variazioni del piano di posa e della stratigrafia del terreno di fondazione[9], facendo trovare a Guerra una situazione mutata rispetto a quella ottocentesca. Come egli stesso rileva, allorquando Genovese e Lopez alla metà del XIX secolo avevano realizzato il quarto lato del cortile, lo stato del piano

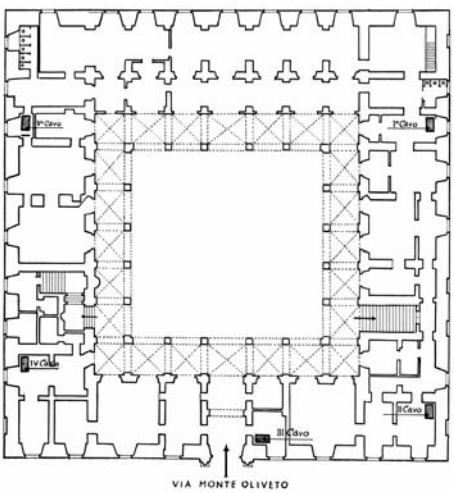


Fig. 2 – Palazzo Gravina, pianta del piano terra con le indicazioni dei "cavi" di fondazione

di posa doveva essere ancora affidabile, in quanto essi lo avevano prescelto per le fondazioni del nuovo corpo di fabbrica[10]. E', quindi, logico ascrivere l'avvio dei problemi fondazionali dell'edificio ai primi anni del Novecento, quando, proprio in corrispondenza del nuovo braccio su via Carrozzieri, si manifestano i primi segni di dissesto. Già nel 1909 è documentato un intervento del Genio Civile, che "procede a scandagli nelle sottofondazioni di questo monumentale palazzo, allo scopo di provvedere alla statica del medesimo", mentre la direzione delle Poste aveva fatto sgomberare i locali posti sulla verticale delle parti lesionate[11]. Ma in breve tempo il quadro fessurativo si estese a tutto il fabbricato, al punto da far sollecitare, nel 1913, al Genio Civile un parere sull'importanza complessiva del dissesto, e sulle cause che potevano averlo generato. Fu accertato un cedimento del piano di

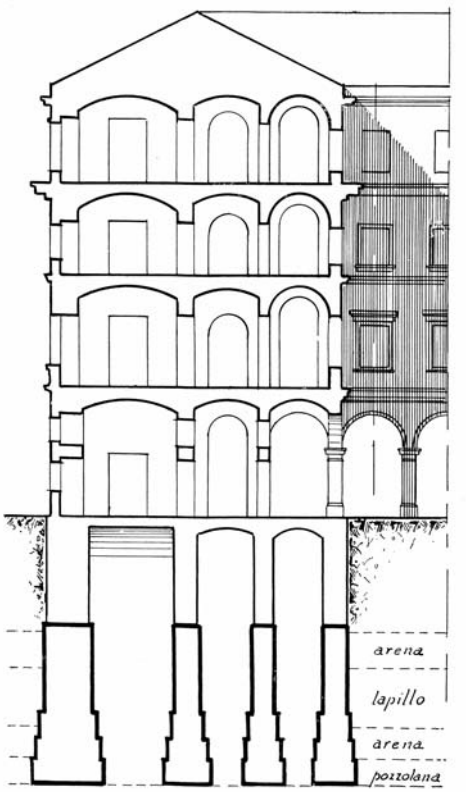


Fig. 3 – Palazzo Gravina, sezione

posa delle fondazioni, che avrebbe comportato danni ben più gravi "se alla deficienza dell'impianto sotterraneo non avessero supplito i forti spessori dei muri e la grande resistenza del bugnato esterno"[12]. In quest'occasione una prima serie di *cavi* di prova denunciò che le fondazioni su vico Carrozzieri erano poggiate su materiali di riporto, ma poi, approfonditi i saggi ed estesi all'intero edificio, si dimostrò che al di sotto di essi vi erano vuoti, cunicoli e cisterne dell'acquedotto del Carmignano, documentati anche in alcune foto conservate presso la soprintendenza[13]. Lo stato di avanzamento del dissesto era differenziato - più grave sulla facciata di vico I Gravina e su vico Carrozzieri, meno preoccupante su vico II Gravina e nella facciata principale - e ciò rendeva ipotizzabile uno svolgimento graduale dei lavori, che avrebbe evitato lo sgombero totale dell'edificio, ancora sede di funzioni nevralgiche come l'ufficio centrale delle Poste. Scopo generale dell'intervento era, dunque, quello di realizzare, ove necessario, un consolidamento delle fondazioni esistenti con estese operazioni di "scuci e cuci" in muratura di tufo, e un allungamento fondazionale fino al rinvenimento dello strato solido di roccia tufacea, con la realizzazione di un muro di sottofondazione a scarpa. I lavori presero avvio nel 1916, dapprima sotto la direzione dell'ingegnere capo del Genio Civile Domenico Logatto e, successivamente, di Camillo Guerra, che curò, come afferma lui stesso, "con grande amore il restauro di questo monumentale edificio fino al 1924"[14]. Avviati i lavori nell'antica dimora orsiniana, si cominciò col sottofondare la facciata su vico I Gravina, che presentava maggiori dissesti, con un muro in tela incassato al di sotto delle preesistenti fondazioni, e sorretto da barbacani fondati a minore profondità, secondo un metodo ed un'organizzazione del cantiere già sperimentati da Guerra nella sede dell'Università e nell'edificio del Salvatore. I muri di sottofondazione erano costituiti da uno zoccolo in calcestruzzo, da uno strato di muratura di scardoni e malta idraulica e da una parte superiore in muratura di tufo scelto e malta idraulica. La documentazione relativa ai la-

vori condotti su vico Carrozzieri tra il 1916 e il 1917[15] è testimonianza di un pieno controllo dell'intervento a farsi in tutte le sue fasi e della grande responsabilità affidata al direttore dei lavori, cui spettava, di volta in volta, la localizzazione e il dimensionamento degli interventi, in ragione delle condizioni del terreno che i *cunicoli* e i *cavi di prova* evidenziavano[16]; ma soprattutto essa rappresenta un documento "flagrante" della perizia tecnica degli ingegneri dell'epoca, e anche delle maestranze, ancora abituate - prima dell'impiego diffuso del cemento armato - a lavorare con sapienza i materiali tradizionali. Questi ultimi vengono scelti con attenzione e controllati nei minimi dettagli: nel Capitolato Speciale vengono indicati i legni per le sbadacchiature, l'esatta composizione delle murature, le caratteristiche degli inerti e dei leganti, la qualità e la provenienza delle materie prime. L'elevato grado di definizione delle scelte operative, dei materiali e di tutte le fasi delle lavorazioni lascia assai poco margine all'improvvisazione, incidendo positivamente sulla qualità dell'esecuzione e sull'efficacia del risultato. Con metodologie analoghe vengono eseguite, nel 1918, le sottofondazioni del muro di facciata del vico II Gravina e, dopo un periodo di sospensione, si dà avvio, nel 1922, all'intervento in corrispondenza della facciata principale, ritenuta anche da Guerra "la parte più importante dell'opera"[17]. Vengono dapprima realizzate alcune opere preventive, quali lo spostamento della linea tranviaria, la realizzazione di un muro di protezione, la chiusura con muratura di tufo dei vani del primo piano e il puntellamento con centine lignee delle aperture superiori; tutto ciò consente la realizzazione di cunicoli di scavo anche all'esterno della facciata, in modo da poter lavorare sui due fronti alla costruzione del muro sottofondale. Terminata l'opera di sottofondazione della facciata su via Monteoliveto, Guerra procede o sottofondare i pilastri del cortile, per cui realizza un ampliamento fondazionale con elementi puntuali in cemento armato, il che dimostra quanto l'ingegnere napoletano, che controlla pienamente le tecniche tradizionali, non disdegni il ricorso a materiali e tecniche moderne, ancora in via di sperimentazione[18].

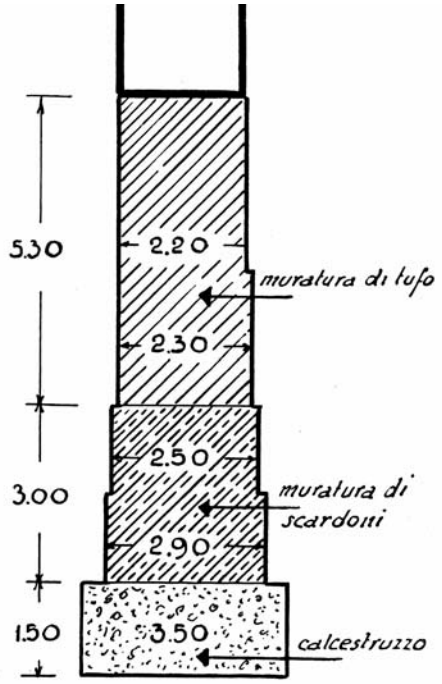


Fig. 4 – Particolare della sottofondazione

Avviato il 'restauro statico' della facciata principale, il tecnico decide di chiudere le parti inferiori dei vani di bottega realizzati nel 1837 dal D'Apuzzo, in quanto si accorge che i segni del dissesto fondazionale si erano particolarmente concentrati su tali aperture. L'intento di consolidare la celebre facciata rinascimentale, rafforzandone gli appoggi con la chiusura dei vani arbitrariamente allungati nel secolo precedente, si fonde, in questo caso, con la volontà del progettista di ripristinarla nella sua configurazione originaria. La scelta di Guerra non nasce autonomamente, ma viene sostenuta dall'opinione pubblica e dal soprintendente Gino Chierici[19], il quale, interpellato dal Genio Civile su tale importante decisione, sostiene l'intervento che avvierà il ripristino dell'immagine cinquecentesca della storica dimora[20]. L'illuminato soprintendente - che verrà negli anni successivi chiamato dal preside Calza Bini a insegnare *Storia e Stili dell'Architettura* nella Scuola Superiore di Architettura[21] - si dichiara "perfettamente d'accordo circa la convenienza di robustare il piano di basamento della facciata principale con il concetto del ripristino della sua originaria architettura"[22], ed esprime il suo assenso al programma dei lavori. Ottenuto il consenso dagli organi di tutela, Guerra decide di smontare la struttura preesistente, "non rispondente al carattere dell'edificio", e di ripristinare le finestre del basamento e le relative ornie al livello originale, ricostituendo cinque file di bugne di piperno al di sotto della aperture a finestre e due file al di sopra. In tal modo l'ingegnere restituisce "a tutto il bugnato un appoggio unico uniforme, che potette ridargli quel contrasto che gli era stato tolto, e che nel dissesto aveva aggravato i danni"[23]. Seguendo le indicazioni di Chierici - che aveva chiesto a Guerra di adoperare per le sostituzioni inevitabili piperno già vecchio, "al fine di conservare a tutta l'architettura della facciata un uniforme sapore di antichità"[24] - l'ingegnere riduce al minimo le integrazioni, e si preoccupa di eseguirle "a regola d'arte", con materiale simile a quello delle parti originarie, tant'è che nella foto dell'edificio da lui pubblicata a corredo del saggio sulle sottofondazioni del palazzo del 1924, non è possibile scorgere apprezzabili differenze cromatiche o di patina tra le parti preesistenti e i filari riconfigurati dopo la chiusura, allora appena eseguita, dei vani ottocenteschi. Per gli architravi monolitici del prospetto, lesionati a causa del dissesto fondazionale, l'ingegnere decide - invero non per motivi di conservazione della *materia* antica, quanto piuttosto per motivazioni strutturali ed economiche - di non sostituire gli elementi lapidei spezzati, e progetta delle strutture autonome di sostegno alle antiche trabeazioni, costituite da telai in ferro, posati in opera all'intradosso delle aperture.

Con questi interventi, realizzati tra il marzo 1925 e l'agosto 1926, la facciata principale della futura sede della Facoltà di Architettura assume nella parte basamentale la configurazione "originaria" che conserva tuttora. Nella foto che ritrae il palazzo a restauri ultimati - con-

tenuta nel volume che l'Alto Commissariato per la città e la Provincia di Napoli dedica nel 1930 alle opere realizzate sotto la sua egida[25] - l'edificio, fatta salva la zona del basamento, appare, tuttavia, in una veste ancora debitrice alle trasformazioni volute dal Ricciardi: è presente il piano attico coperto con tetto a falde a capriata, e al secondo livello il doppio ordine di aperture a finestra rettangolari riflette la creazione del nuovo piano ricavato dal D'Apuzzo nella maggiore altezza del piano nobile.
Questo lungo intervento, che vede Guerra impegnato per più di un decennio al consolidamento strutturale e al restauro del palazzo, porta l'edificio nella essenziale condizione di sicurezza statica, che lo rende adatto a ospitare le nuove funzioni, e dimostra, ancora una volta, quanto sia forte il legame tra consolidamento statico e restauro architettonico: essi sostanziano un unico *gesto* conservativo, che prima di essere tecnico o artistico è, innanzitutto, frutto di una scelta culturale e di metodo. Non è un caso, infatti, che Guerra, il quale nella sua lunga esperienza condotta a Palazzo Gravina ha rivestito soprattutto un ruolo tecnico, si soffermi a rimarcare anche gli esiti formali delle sue scelte, affermando, a conclusione dei lavori che "con questa complessa opera di restauro il bellissimo edificio cinquecentesco napoletano ha ritrovato le sue linee originali e, se si penserà ad abolire o mascherare il piano attico sovrapposto, la sua massa ritornerà alle bellissime proporzioni primitive"[26]. Con questa frase l'ingegnere partenopeo passava il testimone a chi avrebbe dovuto por mano al restauro della facciata del palazzo Gravina dopo di lui, quasi esortando il suo successore a completare il ripristino della configurazione cinquecentesca, da lui avviato nella parte basamentale. L'invito sarà accolto un decennio più tardi, quando, in occasione dell'insediamento della Facoltà di Architettura, lo storico palazzo subirà il suo ultimo generale programma di restauro, che gli conferirà, a meno di minime trasformazioni dettate da esigenze funzionali, la veste che conserva tuttora[27].

La sistemazione della Biblioteca Nazionale nel palazzo Reale di Napoli

Altro interessante intervento, che vede le capacità organizzative e tecniche di Camillo Guerra cimentarsi con il restauro e la ri-funzionalizzazione di antichi edifici, è l'insediamento delle biblioteche Nazionale, San Giacomo e Lucchesi Palli in un'ala del Palazzo Reale di Napoli[28]. Si tratta di un importante evento per la città, che dà l'avvio alla creazione e allo sviluppo di uno dei più importanti centri di consultazione e promozione della conoscenza nel mezzogiorno d'Italia, che è l'attuale Biblioteca Nazionale di Napoli. In questo caso la figura di Guerra si rivela particolarmente rispondente al tema affrontato: egli controlla pienamente i problemi strutturali che la nuova destinazione a biblioteca poteva provocare agli appartamenti storici del palazzo, le cui murature e orizzontamenti si trovavano ad affrontare carichi per cui non erano state dimensionate. L'ingegnere napoletano

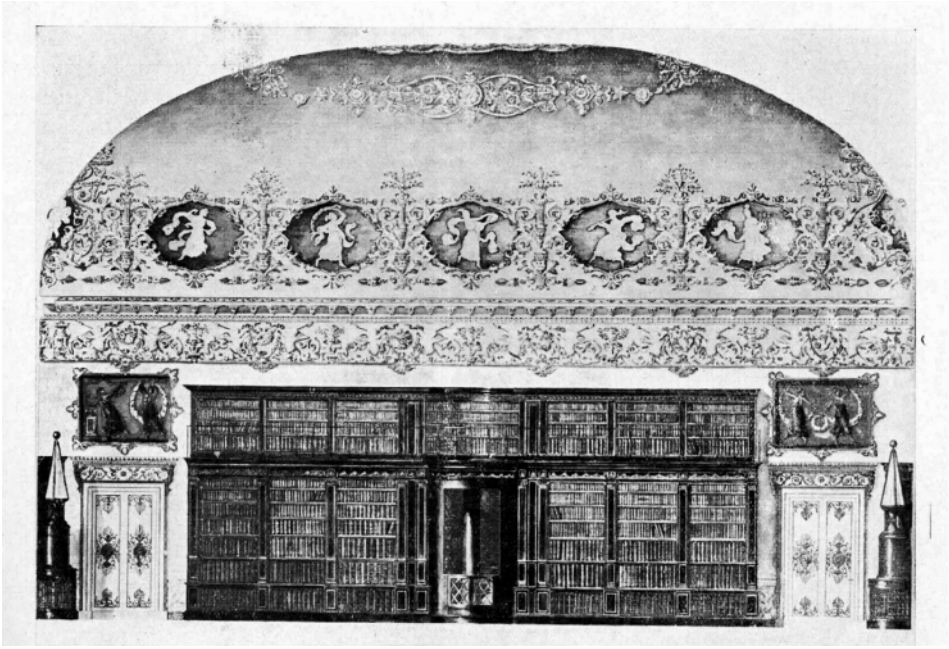


Fig. 5 – C. Guerra, progetto di adattamento della scaffalatura della biblioteca Nazionale al gran salone della nuova sede

ha inoltre le capacità organizzative per controllare il trasferimento dei fondi librari nel Palazzo Reale, definendone anche le fasi attuative ed i mezzi tecnici più idonei. Ciònondimeno Guerra possiede un bagaglio culturale che lo rende sensibile al valore e quindi al rispetto della fabbrica preesistente - progettata da Gaetano Genovese nel suo vasto programma di trasformazione del Palazzo Reale eseguito tra il 1837 ed il 1844[29] - e dei suoi apparati decorativi interni, cui aveva tra l'altro contribuito suo nonno Camillo Guerra[30]. L'ala destinata ad accogliere la futura Biblioteca Nazionale era il corpo di fabbrica della reggia che si protende verso oriente, prospiciente i giardini di via San Carlo e la spianata verso Castelnuovo, fatta eseguire da Ferdinando II. Nonostante si tratti di un'area meno antica rispetto all'edificio di Domenico Fontana[31], Guerra si accinge all'incarico con l'intento di rispettare nella massima misura possibile la preesistenza, "tenendo come principio generale di ridurre le opere di trasformazione dei locali a pochissime strettamente necessarie"[32]. In effetti, gli spazi da destinare a biblioteca si rivelano particolarmente idonei a tale funzione: sono complessivamente molto ampi, in modo da poter accogliere futuri ulteriori ampliamenti legati alle nuove acquisizioni, e presentano una varietà di locali, articolati nei tre livelli, di dimensioni diverse, in modo da adeguarsi alle molteplici esigenze di catalogazione, consultazione, deposito e sale lettura. I

locali più rappresentativi disposti al secondo piano, precedentemente adibiti ad appartamenti delle feste, hanno inoltre la particolare caratteristica di avere pareti nude con volte finemente decorate con stucchi, dorature ed affreschi. Ciò consente a Guerra di disporre le scaffalature sulle pareti laterali, senza alterare lo schema strutturale e distributivo, né gli apparati decorativi degli ambienti. Disponendo gli stalli lignei del XVIII e XIX secolo, già appartenenti alle biblioteche di provenienza, lungo le murature perimetrali delle sale più rappresentative, l'ingegnere napoletano otteneva il duplice scopo di incrementare la qualità artistica degli ambienti con un arredo di grande pregio materico e artigianale, e di non ingombrare le grandi sale adibite alla consultazione e alla lettura. Da un punto di vista strutturale ciò gli consentiva, inoltre, di "aggrappare" le strutture lignee alle murature portanti, riducendo il peso sui solai di calpestio, e comunque concentrandolo vicino agli appoggi. Egli sapeva di non poter contare oltre misura sulle volte del primo e secondo piano, che erano costituite da "muratura di pianelle di cotto messe in opera di costa con malta di gesso a due, a tre o a quattro registri"[33], struttura molto ardita date le dimensioni degli ambienti. Avendo quindi deciso di non affidare ad esse il peso delle librerie, Guerra fa realizzare una serie di mensole in ferro, incastrate nelle murature verticali a livello del pavimento, collegate tra loro da una trave continua su cui poggiare lo stiglio che correva lungo i muri. Questi "accorgimenti", mascherati tra l'altro

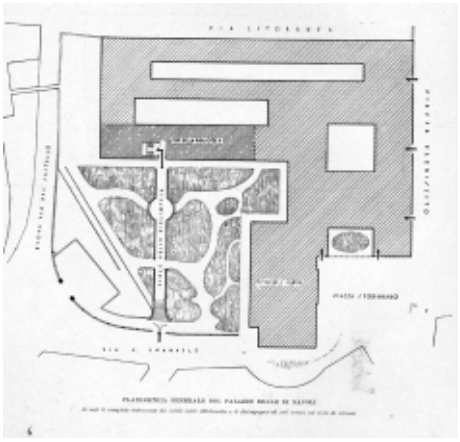


Fig. 6 – Pianta del Palazzo Reale con l'ala destinata a biblioteca e i nuovi giardini

dalle strutture lignee degli scaffali, gli consentono di non intervenire con opere di consolidamento ben più invasive sui solai, poggianti su "quelle grandi volte temerariamente costruite con l'esile spessore di due o tre fogli di mattonelle, per cui debbono considerarsi un modello eccezionale del genere"[34]. Si tratta, dunque, di un caso felice, in cui l'insediamento di una nuova funzione, invasiva da un punto di vista dell'adeguamento statico dell'edificio, non comporta la perdita di componenti strutturali, tecnologiche e materiche del manufatto, che al pari dei suoi aspetti più propriamente formali e visibili, appartengono alla tradizione costruttiva napoletana del XIX secolo. È da rilevare, in particolare, la sensibilità di Guerra verso questi magisteri, che tradisce il suo interesse per gli aspetti tecnici del costruito storico, in un'epoca in cui una logica puro-visibilista orientava, negli interventi di restauro, a sostituire la funzione portante degli elementi strutturali antichi, spesso affidan-



Fig. 7 – Napoli, l'Accademia di Belle Arti

dola a strutture nuove "opportunamente dissimulate"[35]. Distribuite le funzioni nei vari ambienti secondo la logica del "minimo intervento", dettata invero anche da motivazioni economiche, l'ingegnere offre il suo contributo di tecnico nella organizzazione dei mezzi d'opera e dei servizi per il trasporto dei libri. Egli fa disporre due castelletti con argani per il sollevamento delle casse lignee, da lui attentamente progettate per contenere, in ordine e sicurezza, i volumi, e segue personalmente, con l'aiuto di una Commissione, le operazioni di trasporto. L'ultima fase dell'intervento consiste, quindi, nelle opere di sistemazione esterna dei giardini, al fine di rendere indipendenti i nuovi spazi della biblioteca dalle residenza reale. Guerra non era nuovo al tema dei giardini se solo pochi anni addietro (1919-23) aveva realizzato la sistemazione del parco del Mausoleo Schilizzi a Posillipo, opera paterna da lui portata a compimento con l'ardita cupola in cemento armato[36]. Con una soluzione che, com'è stato osservato[37], appare debitrice ad un progetto di "miglioramento della Reggia" non realizzato di Antonio Niccolini del 1846-48, Guerra progetta un viale rettilineo che collega direttamente il portale d'accesso alla nuova biblioteca con la mezzeria della cancellata sulla via San Carlo. A tale scopo realizza l'ampia scalea a cordonata con ringhiera neo-barocca, la cui lieve pendenza serviva tra l'altro a superare il dislivello esistente. Così come nel mausoleo di Posillipo, dove la sistemazione del parco procede di pari passo alla realizzazione del suo muro di sostegno, anche il progetto per i giardini reali prevede una componente di ingegneria strutturale significativa, in quanto si rende necessario creare, al di sotto del nuovo viale, dei sostegni in cemento armato, per incrementare la portanza delle volte in muratura delle sottostanti scuderie. Ancora una volta, quindi, Guerra si trovava a ricoprire un ruolo complesso, che richiedeva conoscenze tecniche, ma anche sensibilità artistica e paesaggistica, nonché attenzione ai nuovi sviluppi urbanistici della città. Non è un caso, infatti, che pochi anni dopo l'ingegnere proporrà, con grande intuizione, di coinvolgere i giardini reali nella sistemazione della piazza Municipio che proprio in quegli anni con il restauro del Castelnuovo e la liberazione dalle fabbriche circostanti ad opera di Filangieri[38], stava assumendo una nuova configurazione.

L'Accademia di Belle Arti a Napoli: il restauro del cornicione

L'intervento di consolidamento del cornicione dell'Accademia di Belle Arti rappresenta un incarico minore rispetto

alle opere realizzate da Guerra sul costruito storico, eppure particolarmente significativo nel suo percorso di avvicinamento al tema del restauro[39]. Si trattava di dare risposta ad una questione che appariva limitata e eminentemente tecnica, ma che invece presupponeva sensibilità artistica, capacità organizzativa, ed una piena conoscenza del comportamento dei materiali tradizionali e moderni, richiedendo peraltro al restauratore di prendere posizione sul tema della riconfigurazione dell'immagine originaria, e su quello, molto sentito all'epoca ma anche oggi, dell'impiego di tecniche moderne nel restauro architettonico.

Il cornicione aggettante della parte centrale della facciata, progettata da Errico Alvino circa un sessantennio prima, minacciava di rovinare, creando problemi alla pubblica incolumità. Il dissesto era dovuto ad aspetti propri del materiale, tufo giallo napoletano a faccia vista - che presentava problemi di erosione, scagliatura e sfaldamento - e problemi strutturali, in quanto le volute a mensola non riuscivano più a sostenere il forte aggetto del cornicione modanato di coronamento. Alvino, probabilmente consapevole della sperimentalità della scelta compiuta, di adottare un materiale poroso e friabile a faccia vista, senza quindi la protezione dell'intonaco, aveva pensato di migliorare la resistenza superficiale del tufo con l'immersione, prima della posa in opera, dei singoli blocchi in una soluzione di silicato di allume, che ne rese la superficie più compatta. Ma, forse anche a causa di

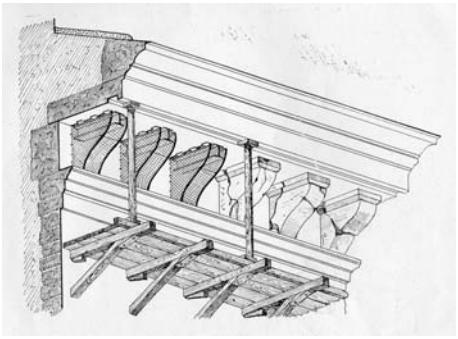


Fig. 8 – Accademia di Belle Arti. Particolare del sistema di consolidamento del cornicione

tale trattamento, i blocchi lapidei, sottoposti ad un lavoro di flessione non adeguato alla propria resistenza specifica, "incominciarono a dare i segni della loro insufficienza"[40].

Nel novembre 1919 Guerra dà avvio ai lavori, che prevedono - dopo lo smontaggio del cornicione e delle volute di sostegno sfaldate - l'inserimento nelle murature verticali di "gattoni" costituiti da profili in ferro a "doppio T", cui delegare la funzione portante delle volute in tufo, collegati tra loro da piastre di ferro, messe in opera in senso longitudinale, per rendere più ampio l'appoggio della sottocornice e della cornice in *spaccatoni* di tufo.

Assicurato in tal modo il sostegno al cornicione, occorreva reintegrare l'immagine originaria della facciata: piuttosto che sostituire i preesistenti gattoni in tufo con materiale analogo, Guerra decide di mascherare la struttura in ferro di appoggio con elementi a voluta, della stessa forma degli originari, costituiti da un'ingabbiatura formata da ferri piatti di esili dimensioni e da una rete metallica rinzaffata con malta cementizia, pro-

filata e sagomata, poi, con stucco realizzato con cemento bianco e polvere di tufo, in modo da ottenere un'immagine simile anche dal punto di vista cromatico e materico. L'intervento di restauro effettuato da Guerra - che a conclusione dell'opera si compiace di esser pervenuto a un "perfetto risultato statico ed estetico" grazie al quale è riuscito a "conservare intatta l'opera di Enrico Alvino, che fu maestro di mio padre"[41] - si inserisce a pieno nella cultura del restauro degli anni venti e trenta del Novecento, in cui il ricorso "giudizioso" alle tecniche e ai materiali moderni, opportunamente "dissimulati", sembra delineare nuove possibilità di interventi sul costruito storico[42].

[1] O. GHIRINGHELLI, *Camillo Guerra. 1880-1960. Tra neoeclettismo e modernismo,* Napoli, Electa Napoli, 2004. Cfr. anche L. DI MAURO, *L'intervento di Camillo Guerra nel giardino del Palazzo Reale di Napoli,* in *La Memoria, il Tempo, la Storia nel giardino italiano tra '800 e '900,* a cura di Vincenzo Cazzato, Roma, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1999, pp. 431-440; U. CARUGHI, *La politica di tutela e la prassi del restauro,* in *L'Architettura a Napoli tra le due guerre,* a cura di Cesare de Seta, Electa Napoli, Napoli 1999, pp. 91 – 96; G. GUERRA – R. IOVINO, *Camillo Guerra ingegnere a Napoli tra costruzione e progetto. Quattro architetture tra le due guerre,* Napoli 1993; A. BACULO, *Camillo Guerra 1889 – 1960. Fra tradizione e dinamica funzionale*, in "ArQ", giugno 1990, 3, pp. 118-119; G. COPPOLA, *Otto opere di Camillo Guerra,* ivi, pp. 120-123.

[2] Assistente volontario al corso di Architettura tecnica tenuto da Laneri dal 1921 al 1928, nella facoltà di Ingegneria, Guerra figura nel '28 tra i docenti che fanno parte della Scuola Superiore di Architettura (Archivio di Stato di Napoli (d'ora in poi ASNa), Gabinetto di Prefettura, II versamento, fascio 791, fascicolo 007, "Real Accademia di Belle Arti, Real Liceo Artistico, Reale Scuola di Architettura. 1926 – 1936"). La nomina di Alberto Calza Bini a preside della Scuola, di lì a poco destinata a divenire facoltà, non favorirà la sua permanenza tra i docenti impegnati nella formazione dei futuri architetti (F. MANGONE – R. TELESE, *Dall'Accademia alla Facoltà. L'insegnamento dell'Architettura a Napoli,* Benevento, Hevelius edizioni, 2001; G. GUERRA, Cenni biografici, in G. GUERRA – R. IOVINO, *Camillo Guerra ingegnere a Napoli tra costruzione e progetto*, cit., p. 16). Dal '28 al '40 Guerra è attivo invece ad Ingegneria come libero docente e professore incaricato e, come professore di ruolo, dal 1940 al 1960.

[3] O. GHIRINGHELLI, *Camillo Guerra*, cit., *passim.*

[4] R. IOVINO, *Camillo Guerra e l'Architettura Tecnica*, in G. GUERRA – R. IOVINO, *Camillo Guerra ingegnere a Napoli*, cit., p. 8. Nel saggio si evidenzia la modernità di approccio al problema dei centri storici danneggiati dal sisma dimostrata dal giovane Guerra, il quale intuì, in quell'occasione, che occorreva inserire l'opera di ricostruzione in un più ampio approccio a carattere urbanistico.

[5] G. CECI, *Il Palazzo Gravina*, in "Napoli nobilissima", VI, gennaio 1897, 1, pp. 1-4 e 24-31; R. PANE, *Architettura del Rinascimento in Napoli,* Napoli, ed. Politecnica, 1937, pp. 162-312; ID., *Il Rinascimento nell'Italia meridionale,* Milano, ed. Di Comunità, 1977, vol. II, pp. 249 sgg.; ID., *Il Palazzo Orsini di Gravina e la Facoltà di Architettura*, in "Bollettino dell'Università degli Studi di Napoli", VI, a.a. 1955-56, 2, pp. 79 – 84; B. GRAVAGNUOLO, *Palazzo Orsini di Gravina*, in *Il patrimonio architettonico dell'Ateneo fridericiano,* a cura di Arturo Fratta, Napoli, Arte tipografica ed., 2003, pp. 147-172; F. DIVENUTO, *Il palazzo Orsini di Gravina a Napoli. Dal cinquecento al ripristino novecentesco*, in "Palladio", 32, luglio-dicembre 2003, pp. 53-70; I. TUGBANG, *Palazzo Gravina. Storia e degrado,* Napoli, Giannini, 2004. Cfr. anche G. LOGGIA, *Il palazzo Orsini di Gravina in Napoli*, Napoli, Fratelli fiorentino ed., 1997; R. PICONE, *Palazzo Gravina: da Palazzo*

delle Poste a Facoltà di Architettura. Restauri e trasformazioni, in *La Facoltà di Architettura di Napoli attraverso ottant'anni. 1928-2008*, in corso di pubblicazione per i tipi della Clean Napoli.

[6] Il palazzo aveva subito nel 1837 una significativa trasformazione per volontà del proprietario Giulio Ricciardi, conte dei Camaldoli, che lo aveva trasformato a fini speculativi in "casamento d'affitto", affidandosi all'architetto Nicola D'Apuzzo. Nel 1850-56 un nuovo restauro realizzato per conto del governo borbonico che nel 1849 lo aveva acquistato da Gaetano Genovese e dall'ingegnere direttore del Genio Civile Lopez Soarez. Questi ultimi, pur conservando il piano attico e le botteghe in facciata realizzate dal D'Apuzzo, avevano creato un nuovo corpo di fabbrica sul lato di via Carrozzieri, assegnando alla corte la forma quadrangolare che conserva tuttora.

[7] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina in Napoli*, in "Opuscoli di Architettura Tecnica", Napoli 1924, pp. 3-24.

[8] P. CISLAGHI, *Il Rione Carità*, Napoli, Electa Napoli, 1998; ID., *La città fascista. Il Rione Carità e la Mostra triennale delle Terre italiane d'Oltremare*, in *L'architettura a Napoli tra le due guerre*, a cura di Cesare de Seta, Napoli, Electa Napoli, 1999, pp. 115– 122.

[9] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina*, cit., p.14; G. LOGGIA, op. cit., p. 34.

[10] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina*, cit., p. 5.

[11] Archivio della Soprintendenza ai beni ambientali, architettonici, artistici, storici demoetnoantropologici, di Napoli e Provincia (d'ora in poi ASBAAN), archivio corrente 4/487. In tale collocazione vi è un fitto carteggio, risalente al luglio-agosto 1909, tra la Direzione delle Poste e Telegrafi, il Genio Civile e la Soprintendenza, in cui si segue il monitoraggio della struttura lesionata.

[12] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina*, cit., p.6.

[13] ASBAAN, archivio fotografico, negativi n. 1140\b; 1145\b.

[14] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina* cit., p. 11.

[15] ASNa, Genio Civile, fasc. 128. Corpo Reale del Genio Civile, II compartimento, Provincia di Napoli, Ufficio di Napoli, "Opere dipendenti dal Ministero delle Poste e Telecomunicazioni. Palazzo Gravina. Progetto dei lavori di sottofondazione del muro di facciata ad Oriente, su vico Carrozzieri, da eseguirsi in economia mediante cottimo fiduciario. Capitolato speciale", Napoli, 1916.

[16] Molto sentita appare a tale proposito la testimonianza di Guerra: "Il lavoro descritto è una delle più delicate opere che la vecchia tecnica edilizia richiede. Per essa occorre una forte continua vigilanza del direttore dei lavori, il quale deve seguire continuamente il lavoro da vicino, scendendo sempre nei cavi, e stando di continuo contratto con gli operai, i quali in queste opere rischiano ora per ora la vita". C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina*, cit., p. 24.

[17] Ivi, p. 12.

[18] C. GUERRA, *Le sottofondazioni in cemento armato dell'edificio del Museo Artistico Industriale di Napoli*, in "Opuscoli di Architettura Tecnica", 1917, pp. 3–10; ID., *Le strutture in cemento armato delle Sale del Museo di San Martino*, in "Opuscoli di Architettura Tecnica", 1920; ID., *La tecnica moderna delle fondazioni*, Napoli 1940, 1946[2]; R. IOVINO, *Camillo Guerra e l'Architettura Tecnica* cit., p. 8.

[19] Cfr. R. PICONE, *Restauri a Napoli tra le due guerre: l'opera di Gino Chierici. 1924 –1935*, in *La cultura del restauro. Teorie e fondatori*, a cura di Stella Casiello, Marsilio, Venezia 1996, terza edizione ampliata 2005, pp. 315 – 339; L. GALLI, *Il restauro nell'opera di Gino Chierici*, Franco Angeli ed., Milano 1989.

[20] ASBAAN, archivio corrente 4/487. Lettera del 31 marzo 1925 dell'Ingegnere Capo del Genio Civile al Soprintendente all'Arte Medioevale e Moderna di Napoli.

[21] F. MANGONE – R. TELESE, *Dall'Accademia alla Facoltà. L'insegnamento dell'architettura a Napoli*, cit., p. 73.

[22] ASBAAN, archivio corrente 4/487. Lettera del Soprintendente Gino Chierici all'Ingegnere Capo del Genio Civile, 16 aprile 1925.

[23] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina* cit., p. 17.

[24] ASBAAN, archivio corrente 4/487. Lettera del Soprintendente Gino Chierici all'Ingegnere capo del Genio Civile, 16 aprile 1925.

[25] *Napoli. Le opere del Regime dal settembre 1925 al giugno 1930*, a cura dell'Alto Commissariato per la Città e la Provincia, Napoli, Giannini, 1930, la foto è pubblicata a p. 258; cfr. anche P. BELFIORE, L'Alto Commissariato e le opere del Regime, in *L'Architettura a Napoli tra le due guerre*, a cura di Cesare de Seta, cit., pp. 31-36; S. CASIELLO, *La cultura del restauro a Napoli tra la fine del sec. XIX e l'inizio del XX e l'influenza del pensiero di Giovannoni*, in "Restauro", 1983, 68-69, pp. 7-31.

[26] C. GUERRA, *Le sottofondazioni di Palazzo Gravina* cit., p. 17.

[27] R. PICONE, *Palazzo Gravina: da Palazzo delle Poste a Facoltà di Architettura. Restauri e trasformazioni*, cit.

[28] C. GUERRA, *Il trasporto delle Biblioteche nella Reggia di Napoli*, in "Quaderni di Architettura e di Urbanistica napoletana", 1933; L. DI MAURO, *L'intervento di Camillo Guerra nel giardino del Palazzo Reale*, cit., pp. 435 sgg.

[29] P. MASCILLI MIGLIORINI, *Le trasformazioni ottocentesche del Palazzo Reale*, in *Civiltà dell'Ottocento a Napoli. Architettura e urbanistica*, a cura di Giancarlo Alisio, Electa Napoli, Napoli 1997, pp. 75-84. Cfr. anche A. VENDITTI, *Architettura neoclassica a Napoli*, Napoli 1961, p. 340; R. A. GENOVESE, *Gaetano Genovese e il suo tempo*, E.S.I., Napoli 2000

[30] C. GUERRA, *Il trasporto delle Biblioteche nella Reggia di Napoli*, cit., p. 13.

[31] F. DE FILIPPIS, *Il Palazzo Reale di Napoli*, Napoli 1960; M. CAUSA PICONE – A. BORRELLI – A. PORZIO, *Il Palazzo Reale di Napoli*, Napoli 1986; *Il Palazzo Reale di Napoli*, Napoli 1995.

[32] C. GUERRA, *Il trasporto delle Biblioteche nella Reggia di Napoli*, cit., p.8.

[33] Ivi, p. 18.

[34] Ivi, p. 19.

[35] Cfr. Carta Internazionale del Restauro di Atene del 1931.

[36] C. GUERRA, *Il grande muro di sostegno per la sistemazione esterna del Mausoleo di Posillipo*, in "Quaderni di architettura e urbanistica napoletana", 1923, pp. 3-14; ID., *La copertura in cemento armato del Mausoleo di Posillipo*, in "Opuscoli di architettura tecnica", Napoli 1923, pp. 3-16; U. CARUGHI, *La politica di tutela* cit., p. 93; per la storia della fabbrica in generale vedi G. ALISIO, *Architettura dell'Ottocento a Napoli : il Mausoleo Schilizzi*, in S*critti di storia dell'arte in onore di Raffaello Causa*, Napoli 1988, pp. 423-428.

[37] L. DI MAURO, *L'intervento di Camillo Guerra nel giardino del Palazzo Reale* cit., p. 733.

[38] C. GUERRA, *Ampliamento dei Giardini del Palazzo Reale,* in *Le comunicazioni viarie e tranviarie del maggiore centro urbano di Napoli*, in "Quaderni di architettura e urbanistica napoletana", 1933, p. 47. Per la sistemazione di Castelnuovo si veda M. ROSI, *Riccardo Filangieri e Adolfo Avena. Restauri in Castelnuovo,* in *La cultura del restauro. Teorie e fondatori*, a cura di Stella Casiello, Marsilio, Venezia 1996, pp. 291-310.

[39] C. GUERRA, *Rafforzamento e restauro del cornicione dell'edificio sede della R. Accademia di Belle Arti di Napoli*, in "Opuscoli di Architettura Tecnica", Napoli 1919, pp. 3-14.

[40] Ivi, p. 6.

[41] Ivi, p. 14.

[42] Ministero dell'Educazione Nazionale, Consiglio superiore per le antichità e le Belle Arti, *Norme per il Restauro dei monumenti*, gennaio 1932, art. 9.

Andrea Villa

Ingegneri a Torino tra fascismo, guerra e avvio della ricostruzione (1925-1946)

Nel secondo dopoguerra l'opinione pubblica italiana, uscita da una conflitto lungo e sanguinoso, era desiderosa di voltare pagina e di conseguenza prestava poca attenzione ai racconti dei reduci dalla deportazione, dei sopravvissuti ai pesanti bombardamenti alleati che avevano colpito le principali città della penisola e dei "salvati" - per usare la celebre espressione di Primo Levi - ai campi di concentramento. Si trattava di ricordi legati agli aspetti meno gloriosi ed esaltanti del regime fascista e più in generale del conflitto mondiale, che si voleva fossero accantonati. Si preferiva piuttosto scaricare ogni colpa e responsabilità delle brutture avvenute in Italia sulle truppe tedesche di occupazione. In un simile clima le voci critiche o contrarie finirono per essere sepolte e soffocate dal desiderio di rimozione: la società era ormai concentrata su un unico obiettivo, ricostruire.

Un silenzio che accomunò anche la gran parte del mondo culturale italiano, e in particolare gli ambiti dell'istruzione scolastica e universitaria, dove l'adesione di molti alle dottrine e alle parole d'ordine del regime venne rapidamente accantonata in nome della regolare ripresa delle lezioni, sconvolte negli ultimi mesi, i più cruenti, del conflitto.

Decisamente in controtendenza fu l'iniziativa di Eligio Perrucca, professore di Fisica Sperimentale e rettore (o meglio direttore) del Politecnico di Torino dal 1947 al 1955, che poco dopo la sua elezione avviò una raccolta di dati e informazioni sui docenti e gli studenti deceduti a causa degli eventi bellici[1].

La ricerca, che era stata promossa nel 1946 dal World Student Service Fund di New York in collaborazione con il Ministero della Pubblica Istruzione, trovò accoglienza favorevole in Perrucca dal momento che egli la riteneva utile a contribuire alla salvaguardia della memoria storica dell'ateneo, duramente segnato in termini di perdite umane e di distruzioni materiali[2].

Oggi queste carte reperibili all'archivio del Politecnico, unite ai documenti conservati nel fondo *Ministero della Pubblica istruzione* presso l'Archivio Centrale dello Stato, ci consentono di ripercorrere le vicende di alcune figure (docenti, amministratori, ma anche studenti) legate all'ateneo torinese in una fase temporale delicata della storia d'Italia, compresa tra la formazione del regime fascista, lo scoppio della seconda guerra mondiale e l'avvio del processo di ricostruzione materiale del Paese nell'immediato secondo dopoguerra.

Un processo di ricostruzione storica basato sulla convinzione che, come ha scritto Vittorio Marchis, "correlare i singoli individui ai contesti che li hanno vi-

sti operare come attori durante la loro attività lavorativa e professionale è la sola strada che permette di rendere viva una scienza che altrimenti diventerebbe sterile e inutile"[3].

Ripercorrendo a ritroso la storia del Politecnico la prima figura che emerge è indubbiamente quella di Giancarlo Vallauri, che si trovò alla guida dell'ateneo nel corso degli anni Trenta quando l'ingerenza del regime fascista sul mondo della cultura e delle scienze si fece più pressante, attraverso l'imposizione di un giuramento di fedeltà "al re, ai suoi reali successori, al regime fascista" e un maggiore controllo dei piani di studio[4].

Vallauri era un vero e proprio 'uomo di potere', avendo saputo convogliare nelle sue mani diverse importanti cariche istituzionali: direttore dal 1926 dell'Istituto Elettrotecnico nazionale intitolato a Galileo Ferraris (fondatore del Laboratorio di Elettrotecnica presso il Museo industriale), vicepresidente dell'Accademia d'Italia dal 1929, in seguito aveva assunto anche la presidenza della Società Idroelettrica Piemontese, che tenne ininterrottamente dal 1933 al 1945, quella dell'EIAR, dal 1934 al 1943, e infine quella del CNR, nel triennio 1941-43. Negli anni Trenta egli subentrò alla guida del Politecnico, che aveva intanto recuperato la sua vecchia denominazione di Regia Scuola di Ingegneria, a Gustavo Colonnetti, esponente dell'Azione Cattolica, maestro di Pier Giorgio Frassati, e per questo poco gradito al regime[5]. Pur rendendo ufficialmente omaggio al governo fascista, il nuovo direttore del Politecnico, in nome del "culto disinteressato della scienza" riuscì a fare dell'ateneo uno snodo fondamentale dei rapporti tra apparati istituzionali centrali e locali, grande industria e mondo universitario. Secondo alcuni testimoni, come l'architetto e ingegnere Augusto Cavallari, Vallauri "riempì il Politecnico di antifascisti"; affermazione forse esagerata, anche se è vero che egli cercò di rendere l'ambiente di Ingegneria 'impermeabile' ai condizionamenti politici esterni, ed esclusivamente concentrato alla formazione di giovani "provetti costruttori"[6].

Un atteggiamento che tuttavia dovette essere modificato quando da Roma aumentarono i richiami ad allinearsi alla politica del regime, in materia di educazione. Che i tempi stessero cambiando la dimostra la prolusione tenuta da Vallauri in occasione dell'apertura dell'anno accademico 1934-1935, che venne aperta per la prima volta con il termine "camerati" rivolto agli astanti. Il direttore passava poi ad informare docenti e studenti dell'intenzione del "Governo Nazionale" di dare "un carattere diverso da quello tradizionale" a tale cerimonia. Per prima cosa la consueta *lectio magistralis*, pronunziata dal decano dei docenti dopo il discorso di inaugurazione del rettore, sarebbe stata sostituita da una relazione del rappresentante delle camicie nere sull'attività dei GUF, seguita da una parata militare; inoltre Vallauri comunicò che in sintonia con il progetto di Mussolini di plasmare "l'uomo nuovo fascista" sarebbe cambiato anche lo scopo ultimo delle scuole

di Ingegneria[7]. Non più soltanto la preparazione di tecnici, ma quella di "quadri della nuova classe dirigente. Uomini destinati ad essere, chi più, chi meno, conduttori di altri uomini". Un progetto del tutto simile all'ideale del *Führerprinzip* adottato nelle fabbriche, nelle scuole, persino nei caseggiati della Germania nazista.

In pratica cosa avrebbero dovuto fare i docenti di Ingegneria per "rendere ogni giorno migliori le falangi di questo popolo che marcia ormai compatto sotto la guida del suo Capo"? La risposta di Vallauri era "ordine disciplina, richiamo continuo, mediante l'esempio, alla comprensione dei propri doveri, intesi innanzitutto come doveri verso la Patria". Un'altra novità sarebbe stata rappresentata da un più rapido e deciso abbandono di quelle abitudini ereditate dal "regime liberale", di seguito elencate dal direttore: "che le aule sono aperte ai giovani, ma che essi sono liberi di frequentarle oppure no; che nessuno è tenuto a curarsi di guidarli e di aiutarli nel rendere ordinato e fruttifero il loro lavoro; che i docenti non hanno altro obbligo se non di tenere quel tal numero di lezioni e di star poi fermi al traguardo dell'esame, come il giudice di una gara di atleti sta ad annotare il nome di chi salta la barriera e di chi la urta o vi inciampa". In conclusione, dopo aver annunciato una più severa sorveglianza dell'attività degli insegnanti, Vallauri ammoniva a non dimenticare che "le grandi opere sono possibili, soltanto se gli innumerevoli piccoli atti che le costituiscono sono fatti a dovere", intendendo con il termine "grandi opere" le conquiste future della popolazione italiana, "che deve e vuole essere un grande popolo guerriero".

Pochi giorni dopo, su richiesta del generale Pietro Ago, comandante della piazza militare di Torino, venne deciso di segnalare l'orario di inizio delle lezioni con uno squillo di tromba.

Nel 1936 venne attuato un riordinamento del piano di studi del Politecnico, basato sulla "revisione continua del contenuto dei singoli corsi", sulla limitazione delle ore di laboratorio (considerate troppo dispersive) e sull'affidamento delle discipline essenziali a "docenti insigni", cioè ritenuti fedeli al regime. Una maggiore attenzione venne riservata anche agli studenti che si sarebbero dovuti "infiammare di entusiasmo" per il privilegio di poter operare sia nell'Italia fascista (che "rinnova e moltiplica le sue attrezzature e le sue industrie, completa i suoi armamenti, prepara pionieri e coloni") che nel "nuovo impero" (dove si "prende a costruire abitazioni, ospedali, scuole, acquedotti, ad aprire strade, ad attuare bonifiche, a dissodare terreni, a scavare miniere").

Precisamente, il compito per i laureati del Politecnico sarebbe stato quello di "contribuire a rinnovare attrezzature scientifiche e industrie cosicché, dopo la creazione dell'Impero, la stirpe italica possa avere la gioia divina di creare una nuova luminosa civiltà, in un mondo immerso nella notte delle barbarie"[8].

Nel maggio 1937, nel corso della celebrazione del "primo annuale dell'impero", tenutasi nell'aula magna gremi-

ta, Vallauri insistendo sul concetto dell'ingegnere come "costruttore" della nuova civiltà fascista, fece proprio lo slogan dell'Italia come centro del cristianesimo, "la religione più universale, fonte di sovrumana potenza di espansione", e salutò i giovani studenti come "attori della nuova civiltà creata dal fascismo e voluta da Dio"[9].

Nel 1938 venne aggiunto un importante tassello al progetto di formare "l'uomo nuovo fascista": infatti in analogia a quanto già da tempo avveniva nel Reich nazista le persone considerate "diverse" e "non assimilabili" all'Italia "fascista e cattolica" vennero escluse dalla vita socio, economica e culturale del Paese per mezzo dell'emanazione di leggi discriminatorie.

Nel contesto di una comunità scientifica sostanzialmente isolata dall'esterno, com'era quella italiana, e tutta concentrata sui piani della ricerca e della didattica, l'introduzione delle leggi razziali rappresentò un duro colpo, provocando la scomparsa, tra i docenti, di grandi figure e accelerando il condizionamento da parte del mondo politico sull'ambiente accademico.

Nei primi decenni del Novecento forte era stata la presenza ebraica nel Politecnico, sia tra il corpo docente, che tra gli studenti, essendo Torino sede di una grande comunità che attirava giovani anche da altre città del Nord. La figura ebraica di maggior spicco all'interno dell'ateneo era forse quella di Guido Fubini, rappresentante del Consiglio dei professori nel Consiglio d'amministrazione dell'università (un incarico prima di lui già occupato da Vito Volterra nel 1906 e Nicola Pavia nel 1925) oltre che responsabile della sezione torinese dell'Associazione nazionale degli ingegneri. La Facoltà di Ingegneria annoverava anche la collaborazione di Alessandro Terracini, docente di Analisi e Geometria, che pur faceva riferimento al Dipartimento di Matematica dell'Università, di Guglielmo Piperno e Scipione Treves, entrambi liberi docenti, del dottor Gino Sacerdote, che teneva come aiuto un corso di Tecniche della comunicazione, e degli assistenti nei laboratori di Chimica, con incarico soltanto provvisorio, Tommaso Marsiglia e Marcella Jarach. Invece ad Architettura insegnava il romano Vittorio Morpurgo, al tempo apprezzato come esperto di arti decorative, ma soprattutto come progettista del Museo Navale di Roma e come responsabile dei restauri della zona attorno all'Augusteo.

L'emanazione della legislazione razzista provocò la dispersione di questo gruppo, avendo come più grave conseguenza la partenza dall'Italia di numerosi studiosi che, pur apprezzati e riconosciuti per il contributo dato all'Ingegneria italiana, furono praticamente lasciati da soli da ex allievi e colleghi, che anzi si affrettarono ad occuparne le cattedre rimaste vacanti.

Uno dei più celebri cervelli in fuga dal sistema accademico italiano fu certamente Alessandro Terracini, docente della Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali dell'Università di Torino, ma dipendente dal Politecnico, dove teneva il corso di Geometria.

Nei primi anni Trenta Terracini venne nominato corrispondente della regia Accademia delle Scienze di Torino, oltre che membro dell'Unione Matematica Italiana e anche della prestigiosa Deutsche Mathematizen Vereingung tedesca. Questi titoli di merito non bastarono nel 1938 ad evitargli il licenziamento, il cui choc venne parzialmente attenuato dagli attestati di stima di tanti studenti, che gli lasciarono fiori in segreteria, dal gesto di un sacerdote torinese che durante un'omelia tesse pubblicamente l'elogio del professore e della sua famiglia, e soprattutto dalla vicinanza di alcuni docenti. Proprio un collega lo aiutò in modo particolare, proponendogli nel 1939 di scrivere a suo nome un testo di algebra per le scuole superiori: tale invito permise a Terracini di occupare le sue giornate e di guadagnare qualcosa, dal momento che aveva perso il diritto allo stipendio e alla pensione[10].

Tuttavia, dal momento che per gli ebrei italiani la situazione si faceva di giorno in giorno più pesante, Terracini decise di emigrare in Sud America, dato che aveva ricevuto diversi inviti dalla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Tucumàn a tenere là cicli di conferenze e lezioni. Durante il viaggio in piroscafo da Genova, Terracini si preparò il testo in spagnolo per la prima lezione che avrebbe tenuto nel suo 'nuovo' paese. Nel 1940 il docente italiano fondò la *Revista de Matemàticas y Fìsicas Téorica*, alla quale collaborò anche Albert Einstein e dove furono pubblicati tra gli altri dei contributi di vecchi colleghi torinesi; in seguito fu tra i promotori del Centro di cultura italiana in Argentina, divenendo anche presidente dell'Unione matematica di quel Paese[11].

Nell'ottobre del 1938 Vallauri fu costretto, suo malgrado, a comunicare la sospensione dall'insegnamento anche a Guido Fubini, professore di Analisi, stimato a livello internazionale; tuttavia nel farlo volle in qualche modo omaggiare il docente ebreo assicurandogli che "il ricordo della lunga e pregiata opera vostra rimarrà sempre vivo nell'animo di quanti vi furono colleghi e discepoli"[12].

Nei mesi seguenti Fubini venne cacciato prima dal comitato di redazione della rivista *Annali di Matematica pura e applicata*, poi dall'Unione Matematica Italiana, i cui dirigenti, in piena campagna antisemita, si rivolsero al Ministro dell'Educazione Nazionale, Bottai, per rassicurarlo sul fatto che la "scuola matematica italiana", in virtù degli "scienziati di razza italica ariana": "anche dopo le eliminazioni di alcuni cultori di razza ebraica, ha conservato scienziati che, per numero e qualità, bastano a mantenere elevatissimo, di fronte all'estero, il tono della scienza matematica italiana, e maestri che con la loro intensa opera di proselitismo scientifico assicurano alla Nazione elementi degni di ricoprire tutte le cattedre necessarie"[13].

Il trattamento riservato a Fubini sancì probabilmente il frantumarsi degli ideali del direttore del Politecnico Vallauri, che osò sfidare il regime in nome dell'autonomia della scienza, difendendo pubblicamente l'attività didattica del docente

ebreo e commemorandone la morte nel corso di una riunione del Consiglio della Facoltà di Ingegneria, in data 16 luglio 1943. In tale occasione Fubini, che dal 1938 alla morte si era trasferito negli Stati Uniti, alla Princeton University, dove aveva collaborato anche con Einstein, venne ricordato come un "maestro, per l'alto valore scientifico, congiunto ad una eccezionale chiarezza ed evidenza di esposizione"[14]. La persecuzione colpì duramente l'intera famiglia Fubini, dato che troncò sul nascere anche la carriera del figlio Gino, classe 1911, che nel 1935 aveva ottenuto il diploma presso la scuola di Perfezionamento in Costruzioni automobilistiche di Torino. Si trattava di un corso di perfezionamento riservato ai laureati in Ingegneria del Politecnico, istituito nel 1931 su precisa indicazione della FIAT, che aveva la necessità di curare la formazione di tecnici altamente specializzati. Nel 1939 Gino seguì i suoi genitori nell'emigrazione forzata poi, addolorato per la morte del padre oltre che per l'allontanamento forzato dal proprio paese, non volle più rientrare in Italia.

Subito dopo la fine della guerra ritornò invece Alessandro Terracini, che chiese di essere reintegrato nel vecchio posto di lavoro, dal momento che non aveva lasciato la patria "per un interesse personale, bensì indotto a prendere con tutta la mia famiglia la via dell'esilio da una legge iniqua che aveva minorato i miei diritti e la mia dignità di cittadino e mi aveva precluso ogni attività di docente e di studioso cui avevo dedicato la mia vita; legge iniqua che impediva inoltre ai miei figli di portare a compimento i loro studi".

Le speranze di Terracini di un rapido rientro si scontrarono però con problemi pratici di carattere economico, vista l'impossibilità di acquistare per sé, la moglie Giulia Sacerdote e i tre figli, i costosi biglietti di ritorno via mare. Dovette quindi intervenire Guido Castelnuovo, presidente dell'Accademia dei Lincei, che si rivolse al ministero della Pubblica Istruzione chiedendo un contributo per poter permettere allo studioso piemontese di rientrare: tale richiesta venne accompagnata anche da una raccolta di firme, tra cui spiccavano quelle di Gustavo Colonnetti, direttore del CNR e di ottantasei professori di varie università italiane[15].

Tuttavia il ministero ne fece una questione di principio, temendo che ben presto lo Stato si sarebbe visto costretto a rimborsare il viaggio di ritorno a tutti gli altri docenti emigrati all'estero, "nonché quei pochi che sono già tornati, non mancherebbero di richiederla". Alla fine Terracini riuscì a rientrare in Italia soltanto nel febbraio del 1948, grazie alla cortesia dell'ambasciatore italiano a Buenos Aires, Giustino Arpesani, che gli mise a disposizione una cabina su un piroscafo.

Le amarezze e le difficoltà si protrassero ancora nell'immediato dopoguerra, mentre il Politecnico stentava a riprendere la sua normale attività, avendo avuto i laboratori distrutti dai bombardamenti aerei e la maggior parte degli studenti dispersa o sfollata. Nella sua prolusione per la cerimonia di apertura

dell'anno accademico 1947-1948 il direttore Enrico Brunelli affermò che solo "serio lavoro e sacrificio" avrebbero dovuto essere i punti di riferimento per i prossimi laureati in Ingegneria, a cui si chiedeva di "essere degni di collaborare a ricostruire l'Italia".

A partire dal 1947, passata la prima fase di emergenza, si iniziò a riflettere in maniera più approfondita su quanto era accaduto, facendo anche i conti con un passato dai più ritenuto scomodo.

Nel febbraio 1946 giunse dal Ministero della Pubblica Istruzione l'ordine di sospendere dall'insegnamento di Elettrotecnica Giancarlo Vallauri, una decisione che colpì il personale docente e studentesco, provocando spaccature e la nascita di fazioni pro o contro l'ex direttore. Manifestò compiacimento l'associazione degli studenti ex partigiani e reduci dall'internamento che sosteneva l'opera delle commissioni di epurazione contro coloro che avevano collaborato con il fascismo, "mostrando la loro indegnità morale".

In sostegno del docente si schierarono invece la maggior parte dei colleghi, che firmarono una petizione contro il suo allontanamento, ma anche un centinaio di studenti che ritenevano "molto dannoso ai fini della loro preparazione scientifica e professionale e della loro possibilità di lavoro in Italia e all'estero l'allontanamento dalla Scuola di un uomo di capacità didattica e professionale indiscussa" [16].

Agli inizi di novembre la commissione per l'epurazione rese noto il risultato del procedimento aperto nei confronti dell'ex direttore, che venne scagionato dall'accusa di collaborazionismo grazie alle testimonianze del cappellano delle carceri Nuove di Torino, che raccontò delle ingenti somme che Vallauri gli aveva fatto recapitare perché comprasse generi alimentari per gli antifascisti detenuti, e di alcuni partigiani. Questi ultimi dichiararono che il docente dopo l'8 settembre 1943 aveva organizzato attività clandestine di sabotaggio degli impianti della Società Idroelettrica Piemontese, nascondendo anche in casa sua persone ricercate dai nazi-fascisti[17].

Contemporaneamente, mentre si chiudeva con il processo a Vallauri la fase dell'epurazione, il nuovo direttore Eligio Perucca faceva del ricordo un imperativo e uno dei principali compiti dell'istituzione accademica torinese, avviando appunto una vasta operazione di raccolta di dati sui professori e gli studenti deceduti nel corso del conflitto mondiale. Tra il 1947 e il 1949 giunsero dunque alla segreteria del Politecnico lettere di genitori con allegati i diari e le fotografie dei figli caduti: una mole di materiale da cui venne tratta la documentazione utilizzata nei primi anni Cinquanta per la consegna di diplomi di laurea alla memoria o per l'istituzione di borse di studio per studenti meritevoli.

Tali documenti attualmente costituiscono una delle fonti della ricerca recentemente avviata in collaborazione con il professor Vittorio Marchis, volta a ricostruire la vita del Politecnico di Torino nel periodo che va dalla fine della prima guerra mondiale all'inizio degli anni Cinquanta.

[1] A. MONTEVERDI, *Commemorazione di Eligio Perrucca, tenuta l'11 dicembre 1965*, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 1966.

[2] Archivio del Politecnico di Torino (d'ora in avanti APT), fasc. *Lauree ad honorem*, lettera del direttore del Politecnico, Brunelli, al Ministero della Pubblica istruzione, Direzione generale istruzione superiore, divione II, del 3 aprile 1946.

[3] V. MARCHIS, *Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*, Roma-Bari, Laterza, 1994, p. VII.

[4] G. BOATTI, *Preferirei di no. Le storie dei dodici professori che si opposero a Mussolini*, Torino, Einaudi, 2001; H. GOETZ, *Il giuramento rifiutato. I docenti universitari e il regime fascista*, Firenze, La Nuova Italia, 2000.

[5] Docente di Scienza delle costruzioni, Colonnetti nel 1932 disertò la manifestazione d'omaggio collettivo al Duce in visita alla Regia Scuola di Ingegneria, ricevendolo più tardi nel suo istituto, in camice bianco e non in camicia nera. In seguito Colonnetti tornò alla guida del Politecnico durante i 45 giorni del governo Badoglio nell'estate 1943. Per approfondire la figura di Colonnetti si veda AA.VV, *Testimonianze in memoria di Gustavo Colonnetti*, Torino, Stamperia Artistica Nazionale, 1973.

[6] A. D'ORSI, *La cultura a Torino tra le due guerre*, Torino, Einaudi, 2000, pp. 266-270; DONGIOVANNI B., LEVI F., *L'Università di Torino durante il fascismo. Le facoltà umanistiche e il Politecnico*, Torino, Giappichelli, 1976.

[7] Archivio del CEMED, Centro Museo e documentazione storica del Politecnico di Torino, annuario dell'a.a. 1935-1936, relazione del direttore Giancarlo Vallauri, pp. 7-27.

[8] *Ibidem*, annuario dell'a.a. 1936-1937, pp. 20-42.

[9] *Ibidem*, copia del discorso tenuto dal direttore del Politecnico agli allievi in occasione del "primo annuale dell'impero".

[10] Archivio centrale dello Stato (d'ora in avanti ACS), fondo *Ministero Pubblica Istruzione*, Direzione generale dell'Istruzione Universitaria, III versamento, *Fascicoli personali professori ordinari (1940-1970)*, busta 252, fasc. *Alessandro Terracini*, commemorazione di Terracini tenuta dal rettore dell'Università di Torino, professor Allara, il 2 aprile 1968.

[11] A. Villa, *Dai Lager alla Terra Promessa. La difficile reintegrazione nella «nuova Italia» e l'immigrazione verso il Medio Oriente (1945-1948)*, Milano, Guerini, 2005, pp. 104-108; E. SMOLENSKY, V. VIGEVANO JARACH, *Tante voci, una storia. Italiani ebrei in Argentina (1938-1948)*, Bologna, Il Mulino, 1999 e A. TERRACINI, *Ricordi di un matematico*, Roma, Cremonese, 1968.

[12] APT, fasc. *Fubini*, lettera del direttore Vallauri a Fubini, del 25 ottobre 1938.

[13] G. ISRAEL, P. NASTASI, *Scienza e razza nell'Italia fascista*, Bologna, Il Mulino, 1998, p. 325.

[14] APT, fasc. *Fubini*, lettera di Vallauri al ministro Bottai, dell'ottobre 1938, in cui il direttore metteva in evidenza la "perfetta disciplina e la piena comprensione delle speciali esigenze dell'insegnamento delle matematiche per gli allievi ingegneri" che fanno di Fubini "uno fra i più illustri matematici in sede internazionale".

[15] ACS, fondo *Ministero Pubblica Istruzione*, Direzione Generale Istruzione universitaria, III versamento, *Fascicoli personali professori ordinari (1940-1970)*, b. 252, fasc. *Alessandro Terracini*, lettera di Terracini dall'Argentina al ministero del Tesoro italiano, del 13 settembre 1945.

[16] APT, fasc. *Vallauri*, lettera dell'associazione studenti ex partigiani e reduci dall'internamento al direttore del Politecnico, del 7 marzo 1946; petizione con raccolta di firme di studenti, datata 6 febbraio 1946.

[17] APT, fasc. *Vallauri*, verbale degli atti del processo di epurazione a carico del prof. Vallauri, del 5 novembre 1946.

CHIARA CALDERINI, LUISA PAGNINI

Il dibattito sul consolidamento della cupola di San Gaudenzio a Novara (1931-1945): un contributo alla storia della dinamica delle costruzioni in Italia

Introduzione

La storia dei dissesti e dei consolidamenti subiti dalla cupola di S. Gaudenzio tra il 1931 e il 1945 fu accompagnata da un dibattito di grande interesse per la modernità dei temi discussi: la dinamica delle costruzioni soggette alle azioni del vento e l'affidabilità dei sistemi di monitoraggio statico e dinamico. Il cuore del dibattito fu la accesa polemica che si instaurò tra Arturo Danusso, il progettista degli interventi, padre della dinamica sismica in Italia, ed un tecnico della Fabbrica Lapidea, Arialdo Daverio, grande estimatore dell'Antonelli. Le ipotesi ed argomentazioni addotte mostrano il faticoso percorso compiuto nel corso del XX secolo su questo aspetto dell'ingegneria civile.

Storia del consolidamento

Una prima fase di allarme per la stabilità della cupola di Antonelli si ebbe tra il 1882 ed il 1883, quando, in corso i lavori di costruzione, si rilevarono alcune lesioni nei grandi pilastri di base appartenenti alla preesistente basilica di Pellegrino Tibaldi del XVI secolo. Gli interventi di consolidamento furono realizzati dallo stesso Antonelli e si conclusero nel 1885. La costruzione della cupola venne ultimata nel 1887 e, per circa vent'anni, non vennero più sollevati dubbi sulla sua sicurezza[1]. Una nuova fase di allarmi si aprì come riflesso del crollo improvviso di un'altra costruzione antonelliana, il Santuario di Boca, nel 1907 e poi, di nuovo, in seguito al grande terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908. Le relazioni tecniche redatte in quegli anni sono tutte volte a testimoniare come le condizioni statiche della struttura non fossero mutate; tuttavia, è evidente come ancora viva fosse la memoria dei dubbi sulla stabilità della cupola antonelliana emersi nel secolo precedente[2].

Un problema del tutto nuovo, in realtà, stava iniziando a manifestarsi in quegli anni: il dissesto del cupolino (Fig. 1 - 1ª fase di danno). I primi dissesti del cupolino, piccole screpolature concentrate nei giunti degli elementi granitici che ne costituivano la struttura, furono rilevati per la prima volta alla fine del XIX secolo. Essi si aggravarono progressivamente fino al 1922, quando si verificarono le prime screpolature con qualche rottura dei capitelli delle colonne poste più in alto[3]. Il controllo costante della struttura, negli anni seguenti, portò a constatare il continuo, per quanto lento, progredire dei dissesti, "[…] *consistenti specialmente in rotture di capitelli e di basi di alcune colonne, e nell'uscita dello zolfo dappertutto dove*

era stato messo per saldare il ferro al granito"[4]. Nel marzo del 1927, la situazione fu giudicata allarmante. La Fabbrica Lapidea stabilì l'urgenza di un intervento e scelse di chiedere la consulenza di un tecnico specialista[5]. Il tecnico scelto fu Arturo Danusso. Egli, attribuiti i dissesti alle continue oscillazioni provocate dalla spinta del vento e all'effetto della gelività, si limitò inizialmente a suggerire di tenere il monumento sotto osservazione. Nell'ottobre del 1930, accertato "*lo stato disastroso della cuspide*" testimoniato dalla rottura di molti capitelli delle colonne[6], decise di intervenire.

Il primo progetto di consolidamento fu redatto nel 1930 (Fig. 1 - 1° intervento di consolidamento) e consisteva nella demolizione e nella ricostruzione della cuspide mediante una nuova struttura in cemento armato, nel consolidamento delle strutture sottostanti con una struttura interna cilindrica in cemento armato ed, infine, nel consolidamento degli otto pilastri in muratura alla base del cupolino con una camicia sempre di cemento armato.

Considerando le forze statiche generate dal peso proprio e dal vento, Danusso progettò le strutture di rinforzo in modo da "*reggere il peso della nuova e vecchia struttura, e di contenere, legate a sé, le otto colonne supposte prive di qualunque efficienza statica; mantenute cioè a far mostra di sé, ma messe onorevolmente in pensione riguardo all'ufficio statico*"[7]. I lavori furono realizzati tra il 1931 ed il 1932.

Il manifestarsi di nuovi dissesti, nel 1934, segnò l'inizio di una nuova epoca di allarmi. In alcuni capitelli delle colonne interne dei due ordini inferiori del cupolino vennero trovate delle lesioni che presto si allargarono e si estesero a quasi tutti i capitelli[8] (Fig. 1 - 2ª fase di danno). Nel 1935 si decise pertanto di intraprendere nuovi interventi di consolidamento e si stabilì di convocare nuovamente Arturo Danusso. Nel 1936 egli redasse un nuovo progetto (Fig. 1 - 2° intervento di consolidamento), che prevedeva, nella sua forma definitiva, la costruzione "*di pilastri in cemento armato, a ridosso delle colonne interne esistenti, costituenti come una grande camicia opportunamente sbadacchiata da traverse e collegata trasversalmente da un elicoide, atta a formare la struttura portante della nuova scala*"[9], sempre in cemento armato. Tutta la nuova struttura doveva appoggiare su un basamento in cemento armato che trasferiva i carichi alle strutture sottostanti. Il consolidamento doveva essere esteso anche ai ritti inferiori interni alla grande cupola, che dovevano essere fasciati con una camicia di cemento armato, analogamente a quanto era stato fatto per gli otto pilastri sottostanti consolidati nel 1931. Infine, le colonne interne ed esterne dei due ordini inferiori dovevano essere sbadacchiate con elementi metallici radiali e trasversali. Questo progetto di Danusso suscitò numerosi dubbi nei tecnici della Fabbrica Lapidea, che temevano che l'aggiunta di nuove strutture in cemento armato potesse incrementare eccessivamente i carichi

(già aumentati nel progetto precedente) gravanti sulle strutture sottostanti in muratura. Egli rispose a questi dubbi sostenendo che si trattava di un "*cucchiaino di cemento armato*" che non avrebbe influito in alcun modo sul comportamento della costruzione sottostante[10]. I lavori iniziarono nell'estate del 1937.

Nell'autunno di quell'anno, in corso i lavori, vi fu l'allarme decisivo per la storia della cupola. A partire dal mese di settembre si aprirono piccole lesioni negli arconi di base, in corrispondenza della chiave e dei bolzoni di ancoraggio delle catene[11] (Fig. 1 - 3ª fase di danno). Danusso rispose all'allarme suggerendo di concludere i lavori in corso e chiedendo l'installazione di alcuni strumenti per il monitoraggio della struttura, che vennero installati ed iniziarono subito a segnalare movimenti in atto. Un comunicato emesso il 29 ottobre invitava a lasciare le proprie abitazioni ai residenti nel raggio di 90 m dalla basilica[12]. Danusso diede quindi disposizioni per un intervento d'urgenza[13]: i quattro arconi alla base della struttura antonelliana dovevano essere puntellati con una struttura lignea; i quattro pilastri di sostegno dei suddetti arconi dovevano essere cerchiati con catene metalliche supportate da bolzoni in cemento armato[14]; squadre di vigilanza dovevano leggere costantemente gli strumenti. Le opere di puntellatura vennero realizzate tra novembre e dicembre del 1937, mentre la cerchiatura fu conclusa nella primavera del 1938 (Fig. 1 - 3° intervento di consolidamento).

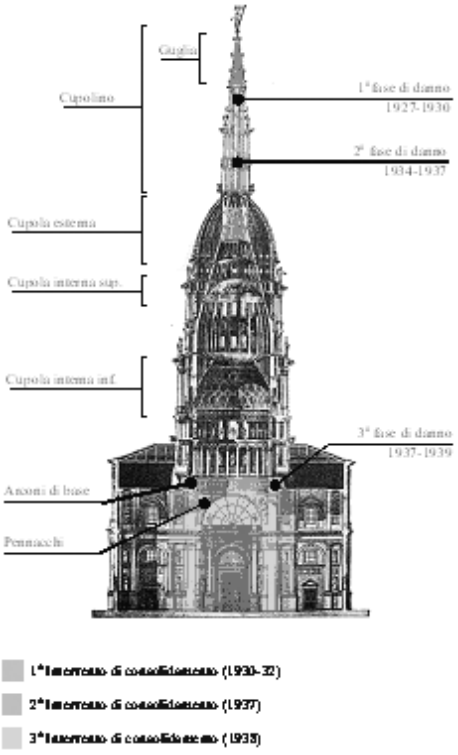


Fig. 1 – Schema della cupola di San Gaudenzio a Novara, con l'indicazione dei danni subiti e dei consolidamenti realizzati

I dubbi sugli interventi di consolidamento

L'incertezza sulla sicurezza ed il comportamento della struttura, in seguito al grande allarme del 1937, è grande. Già alla fine di dicembre, la puntellazione non sembrava più efficace e i cunei della puntellazione degli arconi apparivano allentati[15]. Contemporaneamente, gli strumenti di monitoraggio continuavano a segnalare nuove deformazioni e nuovi dissesti si manifestavano sugli arconi e, fatto nuovo, sui pennacchi[16]. Danusso attribuì i dissesti manifestatisi tra il 1937 e il

1938 alla "*singolare audacia*" di Antonelli, al terreno di fondazione, alla demolizione di alcune parti della struttura per l'introduzione di una scala di servizio[17]. Ribadì che il peso aggiunto nei restauri corrispondeva ad un aggravio modestissimo dell'impegno delle strutture portanti il peso proprio. Ma la fiducia nei suoi confronti stava vacillando.

È a partire dal 1939 che i dubbi sull'operato di Danusso iniziarono a manifestarsi pubblicamente. In particolare, un'accesa polemica fu intrapresa da Arialdo Daverio, tecnico della Fabbrica Lapidea e incaricato da tempo della lettura degli strumenti. La critica di Daverio era diretta sia agli strumenti di monitoraggio, che egli riteneva inaffidabili, sia agli interventi progettati da Danusso, che egli giudicava ingiustificati e dannosi[18]. Per quanto riguarda i primi, egli rilevava che le deformazioni registrate apparivano incompatibili con lo stato lesionativo delle murature circostanti. Le significative deformazioni registrate nei giorni di forte vento, pur non essendo credibili in termini quantitativi, testimoniavano la sensibilità della struttura a questa forza. Per quanto riguarda gli interventi realizzati, Daverio rilevava che i danni riscontrati sul cupolino negli anni '20 erano stati causati dall'azione chimica dello zolfo impiegato da Antonelli per connettere gli elementi metallici e gli elementi lapidei costituenti la struttura, e non dalle oscillazioni indotte dal vento. Gli interventi realizzati successivamente, non solo avevano creato un aumento di peso, ma anche di rigidezza della parte superiore della struttura, modificando il suo comportamento dinamico osservando che: "*La cupola ora soffre per le parti ortopediche che le sono state imposte*"[19].

Per Daverio, i danni rilevati negli arconi alla base della cupola a partire dal 1937 erano da attribuire, oltre che alle modifiche subite dalla struttura, a variazioni termiche attribuite al fatto che l'inverno tra il 1937 ed il 1938, epoca del grande allarme, fu il primo in cui, dopo più di trent'anni, la basilica non fu riscaldata artificialmente. Era ipotizzabile che le rotture in corrispondenza dei bolzoni che si verificarono in quel periodo fossero derivate dall'eccesso di tiro nelle catene prodotto dalla diminuzione di temperatura. Per Daverio l'allarme del 1937 non era stato giustificato e le puntellazioni realizzate d'urgenza erano "*il monumento della paura*"[20]. Egli credeva nella sicurezza della struttura ed era convinto che, nonostante le modifiche subite, essa fosse ancora in grado di "*tollerare il nuovo carico per una serie indefinita di anni*"[21]. E per anni egli chiese la demolizione delle opere in cemento armato progettate da Danusso, adducendo come motivazioni la paura per l'effetto di un ciclone o di un terremoto e il valore dell'architettura antonelliana. La sua proposta, però, non fu mai accettata.

I temi del dibattito nell'adunanza del dicembre 1941

Il 26 dicembre 1941 i rappresentanti dell'autorità, dell'ufficio tecnico municipale ed i membri della Fabbrica Lapidea si riunirono per discutere delle

condizioni statiche della cupola. Fu questa l'occasione in cui il prof. Danusso e l'ing. Daverio si confrontarono pubblicamente sui principali temi che avevano animato il dibattito fino ad allora.

Il verbale dell'adunanza[22] sintetizza e chiarifica le posizioni dei due protagonisti. Daverio intende dimostrare che gli interventi di consolidamento in cemento armato realizzati da Danusso hanno modificato il comportamento dinamico della struttura. Danusso si difende, sostenendo con forza i suoi progetti. I punti salienti della critica di Daverio sono i seguenti.

In primo luogo, egli ritiene che gli interventi di Danusso abbiano comportato un aumento della massa totale della costruzione e un innalzamento del suo baricentro. La difesa di Danusso si basa sulla considerazione "*che l'aumento di peso o di massa se si pensa alle azioni dinamiche influenti sugli arconi si è limitato al 4% circa di quello primitivo* […]".

In secondo luogo, Daverio contesta l'eccessivo irrigidimento della struttura causato dagli interventi. Egli "[…] *fa presente che le azioni di rinfianco esercitate dalla cupola esteriore hanno impedito che avvenissero rotture all'innesto del cupolino: una fuga di energia in quel punto non ha potuto così avvenire; l'energia si è scaricata direttamente in basso lungo le direttrici veloci dei fulcri e si è liberata negli arconi come ora si libera negli archetti di collegamento tra i fulcri esterni e quelli più esteriori.*[….] *Tutto in definitiva si riferisce al congegno portante degli arconi, sia per lo sforzo relativo al solo peso sia per quello relativo alla lotta contro il vento*". Sostanzialmente Daverio ritiene che durante le oscillazioni della cupola prodotte dall'azione del vento, il rinforzo impedisca la deformazione della parte sommitale della struttura, producendo deformazioni concentrate nella parte sottostante, e quindi concentrazioni di tensione. La difesa di Danusso si basa, oltre che sul valutare piccolo l'aumento di massa portato dai consolidamenti, sul seguente ragionamento: "[…] *lo sforzo dinamico: prodotto di massa per accelerazione, ha subito col rinforzo un aumento del primo fattore, ma una diminuzione del secondo. Se la torre si riducesse, per falsa ipotesi, ad un solido elastico privo di massa all'infuori di quella della guglia, un calcolo semplicissimo direbbe subito che la variazione dei due fattori porta ad un perfetto compenso*". Ossia egli suppone che l'accelerazione della struttura sia diminuita in conseguenza dell'aumento della sua rigidezza.

Un ultimo tema sollevato da Daverio, relativo al comportamento dinamico della struttura, riguarda la simmetria delle lesioni negli arconi di base. La questione è: perché le lesioni alla base della struttura sono simmetriche, pur soffiando il vento con direzioni prevalenti? Daverio "[…] *ricorda gli esperimenti fatti da padre Alfani sulla torre di Palazzo Vecchio a Firenze. L'oscillazione principale di una torre, qualunque sia la direzione del vento, avviene sempre secondo il piano di simmetria di minima resistenza* […] *se la struttura per ne-*

cessità dinamiche tende a oscillare sulla sua base l'impulso delle oscillazioni si assesta sugli arconi secondo i piani di minima resistenza che coincidono con i piani di simmetria". Danusso ritiene, per contro, che proprio poiché le lesioni negli arconi sono "[…] *tutte apparse secondo caratteristici aspetti di simmetria* […]", non possono essere imputabili all'azione del vento. Gli studi di padre Alfani, infatti, sono riferiti a torri con una marcata differenza di rigidezza sui due assi "*Allora infatti si determina l'oscillazione prevalente secondo la direzione di maggiore flessibilità (minimo momento di inerzia) anche se l'impulso non agisce in quella direzione. Nel caso invece la struttura gode di una simmetria circolare anche nelle sezioni orizzontali nel complesso degli arconi dove sono quattro (anziché due come è stato detto) i piani di simmetria della struttura: quindi la flessibilità vi è uguale in tutte le direzioni.*" Egli sostiene che la struttura di San Gaudenzio, assialsimmetrica, è "[…] *indotta ad oscillare nel piano stesso in cui il vento la sollecita.*"

La dinamica strutturale negli anni '30

Al fine di comprendere il contesto ed il significato del dibattito intrapreso tra Daverio e Danusso, é utile analizzare lo stato delle conoscenze sulla dinamica delle costruzioni in quegli anni. Un quadro piuttosto sintetico ci è fornito da Giulio Krall, che, nel suo trattato sulla meccanica delle vibrazioni del 1940, ci informa che, all'epoca, esistevano trattati generali, "*ormai notissimi* […] *della tecnica delle oscillazioni che considerano con efficace sintesi, taluno, Meccanica, Elasticità, Idrodinamica, Elettricità; altri invece esclusivi per le vibrazioni elastiche che intervengono in Meccanica, quella delle macchine particolarmente*"[23], ma allo stesso tempo, secondo una citazione riportata da Gustavo Colonnetti, osserva anche che "[…] *una dinamica delle costruzioni esiste appena; di sistematico e completo poco o niente s'è fatto*" e, soprattutto, che "*poco o nulla sappiamo* […] *della legge cui obbediscono le pressioni esercitate dal vento* […]"[24].

Se da un lato erano note, quindi, le leggi che governano il moto di un sistema meccanico oscillante, dall'altro le conoscenze (ed il lessico) relative alla dinamica delle strutture erano ancora limitate. In particolare, esse derivavano dagli studi condotti nel campo dell'ingegneria sismica, su cui conversero forti interessi a seguito del terremoto calabro-siculo del 1908. La sismica era, pertanto, il cuore della dinamica delle strutture. Si osservi come uno dei ricercatori più attivi in questo campo, in quegli anni, fu proprio Arturo Danusso. Il problema principale che veniva posto era quello di analizzare come il moto indotto dal sisma alla base venisse "[…] *trasformandosi nelle strutture in elevazione sotto l'effetto combinato delle reazioni di inerzia e delle reazioni interne*"[25]. Danusso, sulla base di uno schema dinamico elementare che oggi definiremmo oscillatore semplice, fornì il rapporto tra la accelerazione della massa oscillante e il moto tellurico, ossia il cosid-

detto "rapporto sismico", al variare della frequenza propria del sistema[26] .

Nel suo testo di scienza delle costruzioni[27] del 1939 egli riportò anche interessanti osservazioni di carattere pratico sulla risposta sismica delle strutture: "*L'aver osservato dopo i terremoti che le case erano spesso crollate per dislocamento relativo dei vari elementi indotti in oscillazioni discordanti aveva fatto concludere che la salvezza dovesse cercarsi nel collegamento degli elementi stessi; e questo era giusto; ma non fu giusta la conclusione successivamente aggiunta dai più, doversi ritenere tanto migliore l'effetto dei legami quanti più essi avessero irrigidito la struttura. Questa infatti deve salvarsi dall'urto, con una certa capacità intrinseca di deformazione con un molleggio nei limiti consentiti dalla natura del fabbricato*". Come osservava Krall, gli studi sulla dinamica delle costruzioni soggette alle azioni del vento erano scarsissimi, in quegli anni. L'ingegneria del vento, si affermerà come disciplina scientifica solo alcuni decenni dopo[28]. Fino ad allora, l'azione del vento è legata a una concezione statica che quantifica la pressione sulla superficie normale alla direzione del vento in termini di valori medi crescenti con l'altezza sul suolo, incrementandoli, all'occorrenza, sulle costruzioni alte ed esili, per includere possibili condizioni di moto sincrono.

Nel merito del dibattito

Se alcune delle considerazioni poste durante il dibattito che animò il consolidamento della cupola erano puramente intuitive, si po' affermare gli argomenti essenziali della discussione sulla stabilità della cupola di S. Gaudenzio furono affrontati secondo schemi propri della moderna ingegneria delle costruzioni.

Si premette che, se si escludono effetti aeroelastici, peraltro difficilmente quantificabili ad oggi su una struttura di quel tipo, o se si rinuncia ad una valutazione dell'azione del vento che tenga in conto dell'effettiva forma dell'involucro, valutazione ad oggi assai impegnativa e svolta solo raramente, le azioni del vento calcolate dagli esperti coinvolti nel dibattito sono le stesse che si ricaverebbero oggi con i formati semplificati ad esempio offerti dalle nostre normative.

Sulla base delle suddette azioni, Daverio stimò lo stato tensionale alla quota in cui apparvero i primi dissesti[29] . Dal calcolo emergeva un impegno piuttosto modesto delle colonne, da cui egli escluse la necessità dell'intervento; tuttavia, il medesimo calcolo portava anche ad escludere che l'aggravio di peso proprio indotto dai consolidamenti avesse potuto essere la causa dei dissesti successivi. Ci si chiede, tuttavia, se l'impegno delle colonne del cupolino, somma della compressione associata al peso proprio e delle tensioni di segno alterno associate all'azione del vento, potesse essere considerato modesto anche nei confronti della trazione, tra l'altro in presenza di segnalazioni di distacco delle armature saldate all'interno del granito.

Un elemento particolarmente suggestivo del dibattito riguarda la sorprendente efficacia con cui è descritto il moto strutturale indotto dal vento, in cui, gio-

cando sui concetti di deformazione strutturale e flessibilità, si discutono le forme modali proprie della struttura " *Sotto l'azione del vento tutta la struttura Antonelliana è invasa da complessi moti oscillatorii i quali si trasmettono con oscillazioni elastiche nella materia*"[30]. Daverio identifica la causa del dissesto nell'irrigidimento di alcune porzioni e quindi del conseguente incremento di tensione-deformazione, là dove la maggiore flessibilità consente alla struttura di deformarsi, esprimendo così il suo pensiero: "*Alla azione del vento il cupolino antonelliano reagiva nelle proprie fibre con un lavoro di deformazione. Ora invece il cupolino più inerte (per l'aumentata massa) posato sul supporto più elastico della struttura inferiore trasmette a questa struttura il lavoro di reazione* […]. *Nel complesso gioco della stabilità dell'edificio la struttura inferiore faceva assegnamento sul lavoro del cupolino; quando questo fu bloccato, le piccole incrinature agli arconi apparse nei giorni di vento accusarono chiaramente il mutato regime* […]. *Se una struttura in qualche punto presenta dei punti di rottura io immagino che ivi si scarichi l'energia. Il cupolino elastico colpito da azioni dinamiche accumulava energia potenziale;ora la struttura rigida o inerte determina un rapido flusso di energia fino ai vincoli dove tende a liberarsi*"[31] .

L'assunto di Daverio circa il fatto che gli interventi di consolidamento in cemento armato avevano modificato il comportamento dinamico della struttura è difficilmente contestabile. Appare peraltro assai difficile quantificare gli effetti dei fenomeni descritti. Da una parte, Daverio sosteneva che l'irrigidimento delle parti più flessibili della struttura aveva portato ad una disuniformità della rigidezza strutturale lungo l'asse della cupola. Presumibilmente questo era vero, date le lesioni successive all'intervento. Ma anche lo stato preesistente non appariva soddisfacente, vista la situazione di ammaloramento in alcune zone della cupola. Dall'altra parte, Danusso aveva attuato un intervento che poteva essere pensato proprio atto ad eliminare la disuniformità della rigidezza strutturale preesistente. Anche questo poteva essere vero, visto lo stato di dissesto cui si trovava il cupolino prima dei lavori. Se da un lato appare improprio il riferimento di Danusso al carattere inerziale della forza eolica, quando egli la descrive come il prodotto di una massa per l'accelerazione, dall'altro ci si chiede se l'effetto congiunto dell'irrigidimento strutturale, anche se nella sola parte superiore, nonostante l'incremento di massa, sempre nella parte superiore, avesse potuto aumentare comunque la frequenza di vibrazione (probabilmente) e reso meno flessibile la struttura nel suo complesso, quindi rendendola meno sensibile ai cimenti dell'azione eolica.

Per ciò che concerne la direzionalità della vibrazione strutturale, si può osservare che la parte inferiore dell'opera non ha struttura assialsimmetrica; appare quindi corretto che la struttura possa vibrare nel suo piano di minore resistenza, e non necessariamente lungo la direzione in cui spira il vento.

Considerazioni conclusive

La documentazione concernente i lavori alla cupola ed i dibattiti ad essi connessi, pone in luce un elemento sorprendente: la mancanza del rilievo. Danusso aveva commissionato un rilievo già nel 1930; in numerose occasioni egli reclamò i disegni corretti della struttura, ma, a quanto si conosce, solo nel 1942 questi furono disponibili. In seguito al grande allarme del 1937, per calcolare le sollecitazioni agenti negli arconi Danusso dovette ricorrere ad una pubblicazione di Caselli[32] che riportava i disegni della costruzione e il calcolo del peso delle sue parti. Per valutare il grado di precisione delle informazioni che si avevano sulla struttura, si consideri che, quando venne fatta la puntellazione d'urgenza nel 1937, si riscontrò che l'altezza considerata nello schema di progetto era di 5 m superiore a quella reale. Anche le informazioni sulla storia della struttura sono scarse e frammentarie. Solo nell'ottobre del 1937, per esempio, si iniziano a studiare i documenti d'archivio relativi alla basilica, venendo a conoscenza con sorpresa degli interventi di consolidamento eseguiti da Antonelli sui pilastri di base[33]. Ancora nel maggio del 1940, Danusso chiede a "*quelli che hanno notizie utili sul passato della cupola nei riguardi statici, di volerle favorire*"[34]. In seguito al grande allarme del 1937 e ai provvedimenti d'urgenza presi, a partire dal 1939 la struttura non parve più manifestare nuovi evidenti segni di dissesto. Nonostante le polemiche in corso, la Fabbrica Lapidea ed il Comune decisero di accordare nuovamente fiducia a Danusso, affinché egli progettasse il consolidamento definitivo della struttura[35]. Negli anni successivi, in corso la guerra, Danusso proseguì i suoi studi sulla struttura, e, finalmente dotato di un rilievo, elaborò nuovi calcoli. Purtroppo, questo materiale non ci è pervenuto. Nel 1947 mise in atto un ultimo intervento di consolidamento, consistente nella formazione di un anello in cemento armato nell'anello di imposta della prima cupola interna. Le polemiche su questo e i precedenti interventi di consolidamento continuarono fino al 1954, senza che nuovi evidenti dissesti si manifestassero sulla struttura.

[1] A. Daverio, *La cupola di S. Gaudenzio*, Novara, Centro Studi Antonelliani, 1940.

[2] *Ibidem*.

[3] *Relazione del Presidente della Fabbrica Lapidea del 9 Ottobre* 1931, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 677.

[4] *Ibidem*.

[5] *Verbale dell'adunanza della Fabbrica Lapidea del 26 Marzo 1929: "Relazione dei lavori del 1927 e richiesta di contributo straordinario"*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 677.

[6] *Relazione del Presidente della Fabbrica Lapidea del 9 Ottobre 1931*, cit.

[7] A. Daverio, *La cupola di S. Gaudenzio*, cit.

[8] Vedi: *Relazione della Fabbrica Lapidea al Podestà di Novara del 11 Aprile 1939*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 676/2; Appunti personali di Arialdo Daverio conservati presso l'Archivio di Alagna Valsesia (NO).

[9] *Verbale dell'adunanza della Fabbrica Lapidea del 31 Marzo 1937*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 674.

[10] Appunti personali di Arialdo Daverio, cit.

[11] *Ibidem*.

[12] *Comunicato del Comune di Novara del 29 Ottobre 1937*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 674.

[13] *Relazione non firmata del 30 Ottobre* 1937, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 676/2.

[14] *Lettera di Arturo Danusso al Podestà di Novara del 17 Ottobre 1937*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 676/2.

[15] Vedi: A. DAVERIO, *La cupola di S. Gaudenzio*, cit.; *Lettera dell'Ingegnere Capo del Comune di Novara Ing. Biagini al Podestà del 3 Gennaio 1938*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 674.

[16] Vedi: *Ibidem*; *Lettera del Comune di Novara ad Arturo Danusso del 2 Giugno* 1938, A.C.N., senza collocazione.

[17] *Lettera di Arturo Danusso al Podestà di Novara del 17 Ottobre* 1937, cit.

[18] A. DAVERIO, *La cupola di S. Gaudenzio*, cit.

[19] Appunti personali di Arialdo Daverio, cit.

[20] *Ibidem*.

[21] *Ibidem*.

[22] *Verbale dell'adunanza della Fabbrica Lapidea del 16 Dicembre 1941*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 676/1.

[23] G. KRALL, *Meccanica tecnica delle vibrazioni*, Bologna, Nicola Zanichelli Editore, 1940.

[24] G. COLONNETTI - E. GIACCHERO, *Ingegneria: scienza delle costruzioni*, Milano, Bompiani, 1939.

[25] *Ibidem*.

[26] A. DANUSSO - G. CERUTI, *Costruzioni. Concetti teorici fondamentali e criteri di pratica applicazione*, Messina, Milano, Casa Editrice Giuseppe Principato, 1935.

[27] G. COLONNETTI - E. GIACCHERO, *Ingegneria: scienza delle costruzioni*, cit.

[28] A.G. DAVENPORT, *The application of statistical concepts to the wind loading of structures*, "Proc. Inst. Civil Eng.", 1061, 19, pp. 449-472.

[29] A. DAVERIO, *La cupola di S. Gaudenzio*, cit.

[30] *Ibidem*.

[31] A. DAVERIO, *La cupola di S. Gaudenzio*, cit.

[32] L. CASELLI, *La Cupola della Basilica di S. Gaudenzio in Novara*, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 1877, pp. 145-147 e pp. 161-166.

[33] *Lettera di Arturo Danusso al podestà di Novara del 19 Maggio 1940*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 676/1.

[34] *Ibidem*.

[35] *Verbale di una commissione provvisoria formata dal Podestà di Novara, da Arturo Danusso, e da altri membri delle istituzioni del Comune, della Provincia, del Sindacato e della Fabbrica Lapidea del 16 Maggio 1940*, A.S.N., Fondo del Comune di Novara, parte III, b. 676/1.

Abbreviazioni:
A.S.N.: Archivio Storico di Novara
A.C.N.: Archivio del Comune di Novara

Carolina De Falco

Stazioni della prima metà del '900 tra rappresentatività pubblica e ridisegno urbano: Afragola e Benevento

I più recenti progetti di stazioni, come quello firmato da Zaha Hadid per Afragola, testimoniano l'attenzione internazionale attualmente dedicata dedicati ai luoghi di transito[1]. Nell'era della connessione telematica, infatti, contrariamente alle previsioni, non ci si limita (per fortuna) al contatto audiovisivo ma anzi la nuova dimensione urbana si è affermata, integrando aree lontane del pianeta, grazie a composite forme di trasporto derivanti dalla confluenza di ferrovie, percorsi aerei, autostrade, metropolitane, e trasformando gli scali aeroportuali e le stazioni in aree di offerta di servizi molteplici. Il comfort visivo, il lusso, il design, si sono trasformati in strumento di intrattenimento secondo logiche di consumo di percorsi metropolitani in miniatura, facendo rinascere l'esigenza della costruzione di spazi collettivi ad alto valore simbolico.

La piena autonomia formale che caratterizzò le stazioni della prima metà del Novecento non fu solo dovuta al graduale processo di sintesi tra involucro architettonico e struttura tecnica ma anche all'importanza che iniziarono ad assumere come spazi pubblici, capaci di costituirsi come elemento generatore di un nuovo sviluppo urbano, dando vita a soluzioni sempre in piena sintonia con lo spirito del tempo[2]. In tal senso la ricerca in corso, di cui si intende in questa sede fornire un primo breve esito, contribuisce a ricostruire fasi non indagate della storia architettonica, ingegneristica e urbana del nostro territorio[3]. Tra le stazioni oggetto di studio[4], sono state scelte per il presente contributo quella di Afragola, sulla linea Napoli-Roma e quella di Benevento, principale collegamento trasversale sulla Napoli-Foggia, ancora oggi nodo di estrema importanza per diverse linee di interesse regionale e nazionale[5].

Capitolo importante nello sviluppo della società ottocentesca, la costruzione delle ferrovie, nonostante i primi episodi siano stati realizzati in epoca preunitaria, fu considerata dai contemporanei "il vero ed autentico fatto dell'Unità d'Italia"[6].

Da edificio marginale, la stazione venne ben presto edificata entro le mura assumendo il ruolo di porta della città attraverso immagini prese a prestito da un collaudato repertorio formale, come nel caso del tempio classico della Euston Station a Londra di Philip Hardwick e Robert Stephenson del 1835-39, ma più in generale fu il tipo del palazzo borghese a mediare il passaggio verso il nuovo spazio tecnologico[7]. I modelli d'oltralpe, com'è noto, denunciarono successivamente la doppia anima di questi nuo-

vi monumenti proiettando al centro della facciata principale le grandi volte metalliche della "galleria dei treni" tramite vetrate di grandi dimensioni[8].

Fu a partire dagli inizi del Novecento, come si evidenzia nel caso della stazione di Milano di Ulisse Stacchini (1912-1931), che si rese necessario un ampliamento e una diversa organizzazione distributiva dell'edificio viaggiatori, il quale trovò una sua caratterizzazione formale, che rimase prevalente fino agli anni Trenta del Novecento, nella definizione della facciata principale orientata verso la piazza, per cui la stazione si proponeva come elemento generatore di un nuovo sviluppo urbano alternativo al centro storico, e nella specializzazione degli spazi interni destinati al pubblico.

La linea che prima di tutte consentì lo sviluppo ferroviario post unitario della Campania fu la Napoli-Roma via Cassino, aperta nel febbraio 1863 e realizzata dalle Strade Ferrate Romane grazie all'utilizzazione del tratto preunitario Napoli-Capua (1843)[9]. Un'importante modifica del percorso, curata dalle Strade Ferrate Meridionali, fu la costruzione di un tratto per Caserta più breve di quello per Cancello gestito dalle Romane. La nuova Napoli-Caserta, con le stazioni intermedie di Casoria-Afragola, Frattamaggiore, Sant'Antimo e Aversa, lunga 34 Km, fu aperta il 7 maggio 1867[10]. A partire da questo momento tali stazioni furono interessate da una serie di rifacimenti e ampliamenti (sebbene rallentati dalla guerra), in particolare a seguito del promulgamento delle due fondamentali leggi nella storia ferroviaria, entrambe del 1905: la n. 137 del 22 aprile, con la quale le linee ferroviarie passarono alle dipendenze dello Stato e la n. 413 del 9 luglio per la costruzione della Direttissima Napoli-Roma, inaugurata nel 1927[11].

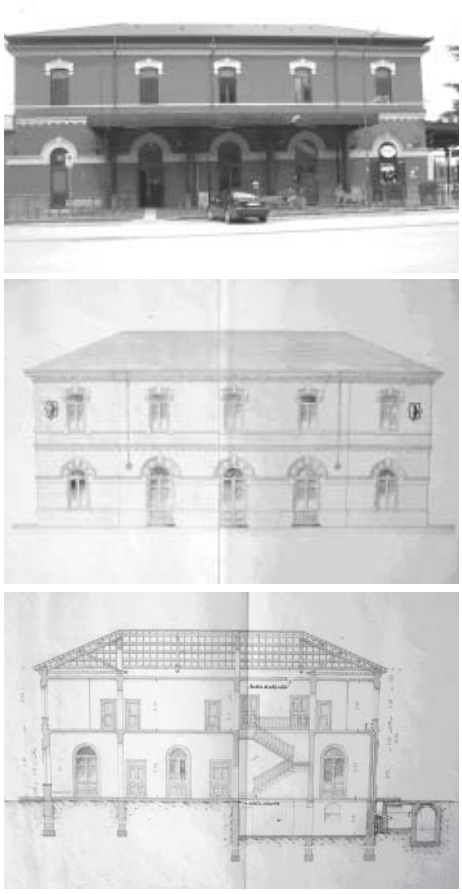
Quando nel 1923 quest'ultima entrò a far parte delle grandi opere scelte dal regime fascista per consolidare un'immagine di efficienza, un nuovo impulso fu dato nel rinnovamento dei fabbricati viaggiatori delle stazioni interessate dal percorso. I lavori si concentrarono soprattutto sull'area napoletana fino a Pozzuoli e sulla realizzazione del raccordo con la Foggia-Napoli, mediante un tronco di linea tra Villa Literno e Aversa, con la costruzione di numerose stazioni.

Un documento del 1926 - che dimostra i ricorsi della Storia - testimonia "il vigoroso impulso impresso alla costruzione dalla Direttissima Roma Napoli, la cui attivazione è stata fissata per l'autunno 1927" la quale ha pertanto "reso necessario ristudiare il modo migliore di allacciare la Direttissima stessa alla Stazione di Napoli"[12]. Dalla stazione di Vico di Pantano, in particolare, si dovevano realizzare due diramazioni: la prima, passante per Giugliano-Qualiano, si sarebbe andata a congiungere a Pozzuoli e l'altra, passante per Aversa, si sarebbe collegata alla Caserta-Napoli. "E poiché la nuova direttissima Roma-Vico Pantano-Aversa-Napoli verrà esercitata a altissima velocità (la velocità massima potrà raggiungere i 120 Km ora) il corpo stradale, l'armamento, gli impianti di stazione e quelli di sicurezza, ecc., dovranno essere tali da consentire il nor-

male svolgimento del tipo di esercizio modernissimo"[13].

Una delle stazioni interessate dai lavori di ampliamento è quella di Casoria-Afragola per l'adeguamento della quale, il 26 giugno 1926, viene stipulato un contratto con l'impresa Luigi d'Ambra, oltre che per la basolatura della piazza antistante l'edificio, per la "sistemazione ad uso Fabbricato Alloggi e servizi accessori dell'attuale Fabbricato Viaggiatori"[14]. In seguito alle nuove disposizioni legislative, infatti, era necessario che il personale di servizio risiedesse o in edifici appositamente predisposti o presso gli stessi fabbricati viaggiatori, come nel caso di Afragola. I disegni di trasformazione della stazione, per accogliere al primo piano l'alloggio del capostazione, ci restituiscono il palazzetto d'inizio secolo scorso, con le aperture impreziosite da motivi in stucco, quale ancora oggi si presenta[15].

Il confronto tra questi disegni e gli altri ritrovati relativi alla costruzione della stazione di Acerra, identici a meno di una maggiore estensione di quest'ultima ottobre 1919, consente una datazione analoga anche per l'edificio di Afragola[16]. Formulare un'attribuzione di tali progetti non è invece compito semplice. Quando vennero istituite le Ferrovie dello Stato fondamentale fu il ruolo svolto dal Servizio Lavori e Costruzioni cui era affidato il compito di progettazione e realizzazione delle opere ferroviarie[17]. All'interno di tale servizio, dove un ruolo chiave fu svolto dall'ingegnere Ferruccio Businari dal 1924 al 1932, non è facile valutare i singoli contributi di



Figg. 1,2,3 – Stazione di Afragola. Fotografia dell'attuale facciata. Prospetto e sezione (ASFS)

architetti e ingegneri in quanto l'apporto dei singoli risulta quasi sempre assorbito nell'impegno collettivo, in base alla scelta della Società di relazionarsi mediante un'immagine unitaria[18]. Il bando di concorso per la stazione di Milano del 1906, ad esempio, rendeva evidente un ulteriore problema, riscontrabile nella maggior parte dei progetti presentati, ossia la mancata rispondenza al tema proposto: "una questione che costituiva, del resto, l'ambito di competenza

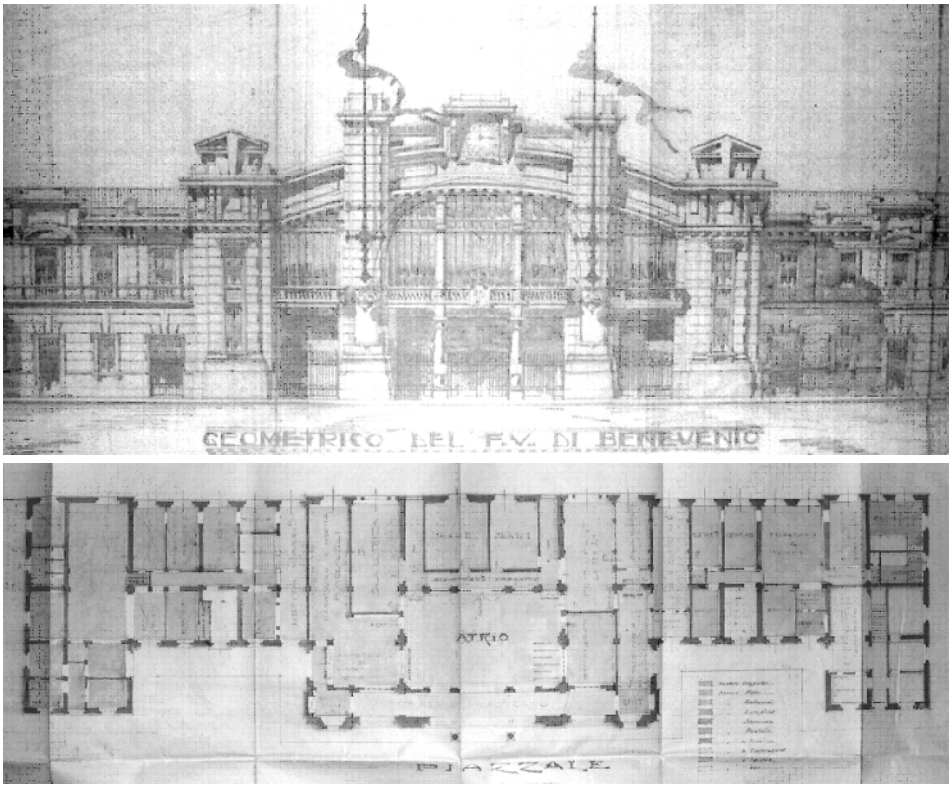
degli architetti, in un concorso dove le caratteristiche distributive dell'edificio erano state stabilite dagli uffici tecnici dell'amministrazione ferroviaria"[19].

Dai documenti sulla stazione di Acerra emerge tuttavia un nominativo di sicuro interesse nella stipula della convenzione di cottimo "per la costruzione di un nuovo Fabbricato Viaggiatori", del 24 giugno 1920, tra l'ingegnere Garibaldi Greco per le Ferrovie dello Stato e l'impresa Luigi Laudiero. Al nome dell'imprenditore, "nato in Afragola e domiciliato a Napoli alla via Nuova Posillipo", si affianca quello dell'ingegnere Guglielmo Melisurgo[20]. Se non è possibile stabile la misura dell'intervento di quest'ultimo, il quale affianca un'impresa che interviene anche "negli importanti lavori eseguiti nella Stazione Centrale di Napoli", è tuttavia facilmente ipotizzabile un suo interessamento ai cantieri ferroviari, che gli deriva da una lunga tradizione familiare[21]. I lavori si conclusero nel 1924 e furono collaudati dall'Ispettore Capo Ferruccio Businari[22].

Per quanto riguarda il collegamento ferroviario diretto fra Campania e Puglia, soltanto nel 1870 la Caserta-Benevento-Foggia consentì di superare gli Appennini anche al Sud[23]. L'impegno speso nella costruzione della connessione della Puglia con Napoli, specialmente a seguito dell'elettrificazione ferroviaria, è testimoniato da un progetto dell'ingegnere Cucciniello del 1914. "Scopo principale di tale linea era quello di collegare, con ferrovia elettrica, una buona parte dei Comuni dell'interno dell'Irpinia […] sulla linea Napoli-Foggia, per mettere, con comunicazione diretta la capitale del Mezzogiorno d'Italia «Napoli», con le Puglie […] e tenendo conto della costruenda «direttissima elettrica» dello Stato «Roma-Napoli» si verrebbe a costruire la più grande ferrovia elettrica del mondo Bari-Napoli-Roma"[24].

Di particolare interesse è la storia della costruzione della stazione di Benevento, il cui ammodernamento, auspicato fin dal 1908 si realizzerà nel secondo dopoguerra, offrendo i disegni di progetto un vero e proprio spaccato dell'evoluzione del gusto nella prima metà del secolo scorso[25]. Dieci anni dopo, il 24 gennaio 1918, il Consiglio di Amministrazione delle Ferrovie dello Stato approvava la variante al progetto presentato prima della guerra, nel 1915, con una previsione di spesa di L. 103.600[26]. Una fotografia d'archivio restituisce la testimonianza della primitiva stazione che si tentava di trasformare: un lunghissimo edificio a un sol piano, a meno della parte centrale, ritmato da aperture ad arco[27].

È del 1926, contemporaneo a quello della stazione di Mergellina a Napoli (1927)[28], un ambizioso progetto per il totale rifacimento del fabbricato viaggiatori di Benevento. La proposta si allinea ai progetti di stazioni della prima metà del Novecento nei quali percorsi regolati da precise gerarchie suddividono gli spazi destinati al flusso dei viaggiatori o ai servizi e al trasporto bagagli (hall, biglietterie, sale d'attesa, depositi), non solo in funzione di un'organizzazione interna ma anche in relazione allo



Figg. 4, 5 - Stazione di Benevento. Prospetto e pianta, progetto del 1926 (ASFS)

spazio esterno all'edificio. Qui risiede forse una delle maggiori novità nella progettazione di queste opere, non più edifici chiusi ma sensibili alle relazioni con l'ambiente circostante di cui spesso divengono il fulcro o determinano gli assi principali della viabilità e della nuova mobilità generata dalle metropolitane[29].

Tra le richieste formulate per il progetto della stazione beneventana, dunque, viene avanzata l'ipotesi "che il nuovo F.V. venisse progettato con la fronte principale verso città normale alla strada di accesso alla stazione, in modo che il piazzale esterno alla stazione stessa risultasse simmetrico rispetto a detta strada", come risulta dal disegno di "Piano Regolatore di Benevento" del 1935 dove, oltre al taglio, viene riportato l'attuale viale Principe di Napoli[30]. La proposta fu scartata in quanto si riconobbe, mostrando una moderna attenzione per il contesto, che "essa non era attuabile, giacché avrebbe importato l'espropriazione od il sacrificio di fabbricati di carattere industriale di preminente importanza, non giustificata da sole ragioni di estetica". Nel secondo dopoguerra, tuttavia, seppure in forma meno aggressiva per il tessuto urbano, verrà aperta davanti alla stazione l'attuale via Dia-

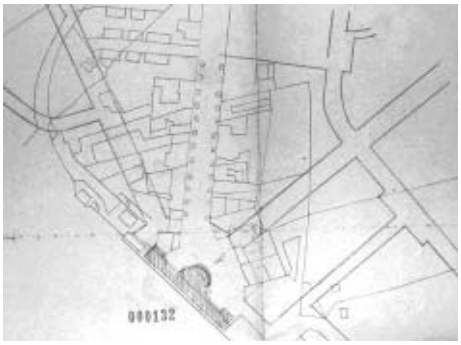


Fig. 6 - Stazione di Benevento. Piano regolatore, 1935 (ASFS)

cono Paolo. Il progetto prevedeva una ricostruzione integrale dell'edificio infatti "non si è tenuto grande conto dell'utilizzazione della muratura dell'esistente F.V., perché ciò avrebbe inceppato lo sviluppo del progetto" inoltre al nuovo edificio "si è ritenuto il caso di assegnare un carattere di una certa importanza, sia nei riguardi architettonici, sia in rapporto allo sviluppo dei locali adibiti ai diversi servizi e ciò tenuto presente che Benevento è capoluogo di Provincia in via di continuo e notevole sviluppo e che la sua stazione è un nodo ferroviario di notevole importanza"[31].

Dall'analisi dei disegni emerge quella complessità d'impianto ricercata in questo periodo. Attraverso un ampio atrio si accede alle sale di prima, di seconda e di terza classe. Sulla sinistra dell'edificio, trova posto la sede dell'ufficio postale, mentre sulla destra si distinguono un ristorante e un bar *buffet.*



Fig. 7 – La stazione ottocentesca di Benevento (ASFS)

L'eclettica facciata sembra distinguersi, seppure con un'impronta classicista, dall'architettura ministeriale neorinascimentale che caratterizza, ad esempio, il fabbricato viaggiatori della stazione di Forlì di Ezio Bianchi o quello di Sassari di Giovanni Zanfarino, realizzate negli stessi anni, presentando una maggiore articolazione nella zona centrale posta in rilievo da un'ampia apertura vetrata, serrata lateralmente da due torrette in aggetto e tripartita da altri due alti elementi reggistendardo in muratura[32]. Va osservato che nel progetto della stazione di Benevento l'impaginato centrale non è dato dalla proiezione sul prospetto della retrostante galleria dei treni come avviene nelle stazioni ottocentesche, si pensi all'episodio napoletano dove le ampie aperture a tre fornici della facciata neorinascimentale denunciavano la grande *hall* centrale di copertura del piazzale ferroviario[33]. A Benevento è il grande atrio che immette nelle sale d'attesa a essere denunciato in facciata, a sua volta preceduto da un ulteriore atrio porticato. Saranno ancor di più i progetti successivi ad allinearsi all'innovativa svolta compiuta negli anni Trenta che sanciva il definitivo abbandono delle grandi volte metalliche di copertura dei treni, sostituite da pensiline dalla forma lineare, oltre all'uso del cemento armato e delle ampie vetrate a segnare l'iterazione tra esterno e interno[34].



Fig. 8 – La stazione di Benevento nel secondo dopoguerra. Collezione Francesco Capezza

Va considerato che negli stessi anni la facciata della stazione di Mergellina a Napoli presenta ancora una commistione di motivi classicisti e tardo-liberty, sebbene secondo un impaginato di più ampio respiro[35]. Non va inoltre dimenticato che se da un lato Napoli vive un "eclettismo di ritorno", protrattosi oltre la fine della prima guerra mondiale[36], d'altro canto l'uso del liberty negli anni Venti è stato segnalato come lessico di appartenenza a una categoria: quella dei dipendenti delle Ferrovie dello Stato[37].

Per mancanza di fondi il progetto per la stazione di Benevento non viene realizzato, come dimostra l'accorata richiesta del 1928 a S.E. l'On. Costanzo Ciano Ministro delle Comunicazioni. La stazione verrà ristrutturata soltanto nel dopoguerra probabilmente, formulando un'ipotesi attributiva, da Roberto Narducci, architetto e ingegnere dipendente del Ministero delle Comunicazioni, collega di Angiolo Mazzoni e autore di circa quaranta stazioni, tra cui quella di Roma Ostiense[38]. La semplicità dei volumi del nuovo fabbricato viaggiatori di Benevento, scandito al centro da cinque arcate, la tessitura muraria, le aperture a persiana riquadrate da bianche cornici che si stagliano sulla muratura di mattoni, rimandano alla stazione di Villa San Giovanni sullo Stretto di Messina, realizzata da Narducci nel 1937 o a quella di Verona Porta Nuova, sorta nel 1948 sui resti del distrutto edificio, espressioni di un nuovo capitolo di architettura ferroviaria.

[1]*Luoghi di transito*, "Annual Contract 2007", suppl. di "Interni", settembre 2007, p. 44. Dalle stazioni di nuova costruzione, come la Estação do Oriente a Lisbona di Santiago Calatrava del 1998, al recupero e all'estensione di quelle antiche, da Puerta de Atocha a Madrid di Rafael Moneo del 1992, alla Stazione Termini di Roma di Marco Tamino del 2000, l'architettura ferroviaria è ritornata oggetto di riflessione da parte dei progettisti come delle amministrazioni locali. Cfr. anche M. THORNE, *Modern trains and splendid stations: architecture, design, and rail travel for the twenty-first century*, catalogo della mostra (Chicago, dicembre 2001- luglio 2002), London, Merrell, 2001.

[2] G. Ciucci, *Le vicende dell'architettura italiana e le stazioni*, "Ingegneria Ferroviaria", a. XL, aprile 1985, n. 4, pp. 143-150.

[3] La ricerca è in corso presso l'Archivio Storico delle Ferrovie dello Stato a Roma, chiuso fino al 2000 per una prima fase di riordino e non ancora interamente consultabile. Devo alla disponibilità e gentilezza della dott.ssa Lia Mascioli l'avermi reso accessibili le fonti documentarie.

[4] Le altre stazioni in fase di studio sono quelle di Napoli, Acerra, Cancello, Maddaloni, Caserta, Santa Maria Capua Vetere, Capua e Cassino, sulla Napoli-Roma via Cassino, e Marcianise, Aversa e Frattamaggiore, sulla Napoli-Foggia.

[5] Anche la stazione di Benevento è interessata dal progetto previsto da Centostazioni. La nuova stazione di Afragola è concepita come un ponte sopra i binari che assicura la connessione del tessuto urbano scavalcando la ferrovia. Cfr. *Concorso Internazionale di Progettazione per la Nuova Stazione Alta Velocità Napoli-Afragola*, a cura di S. Cascinai, Milano 2004, pp. 20-31 e E. Pitzalis, *Concorso Internazionale di progettazione per la nuova stazione Alta Velocità Napoli Afragola*, Editoriale "Domus", 2004, pp. 78-81. Cfr. anche C. Gambardella, *Stazione Aversa Centro*, in *Metropolis – la sfida del trasporto su ferro a Napoli e in Campania*, allegato "Abitare", settembre 2006, n. 464.

[6] Cfr. G. Durando, *Della nazionalità italiana*, Losanna, Bonamici e C., 1846; C. Pavese, *I trasporti e le comunicazioni*, in *Lo sviluppo economico moderno: dalla rivoluzione industriale alla crisi energetica, 1750-1973*, a cura di P.A. Toninelli, Venezia, Marsilio, 1997, pp. 24-37; A. Giuntini, *Il boom delle ferrovie*, in *Storia economica mondiale*, Roma-Bari, Laterza, 1999, pp. 122-124.

[7] Cfr. il capitolo *I modelli di stazione nella* storia in C. Mazzoni, *Stazioni. Architetture 1990-2010*, Milano, Federico Motta Editore, 2001, pp. 19-34. Cfr. anche E. Godoli, *L'apporto degli ingegneri inglesi alla costruzione delle ferrovie toscane*, in *Architettura ferroviaria. Ottocento*, a cura di E. Godoli e M. Cozzi, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2004, pp. 121-150.

[8] I modelli erano forniti dalla Gran Bretagna e dalla Francia con le stazioni di King's Cross a Londra del 1852, e quelle di Parigi: la Gare de l'Est del 1847-1852 e la Gare du Nord del 1861-1865. In Italia appartengono a questa generazione le antiche stazioni di Torino Porta Nuova di Mazzucchelli (1865-68), unica a non essere stata trasformata, di Roma Termini di Salvatore Bianchi (1862-70) e di Napoli Centrale di Nicola Breglia, Carlo Paris e Alfredo Cottrau (1867-70).

[9] Poiché il primo dicembre 1862 era stato completato il tratto da Roma al confine dello Stato pontificio, già il 25 febbraio 1863 la Roma-Napoli fu aperta al traffico. Dopo solo un anno il ompletamento della linea tra Roma ed Ancona (già collegata con Bologna, Milano e Torino) metteva in comunicazione ferroviaria Napoli con il Nord Italia. F. Ogliari *Terra di primati. Storia di trasporti Italian*i, Milano, Cavallotti, 1976, vol. III p. 598.

[10] Cfr. L. Loria, *Le strade ferrate*, Milano, Hoepli, 1890, p. 41. Dal 1885 l'esercizio ferroviario italiano fu ripartito fra tre grandi società private: la RM (Rete Mediterranea), la RA (Rete Adriatica) e la SFR (Strade Ferrate Romane) Cfr., tra gli altri, in generale: A. Giuntini, *Il paese che si muove. Le ferrovie in Italia fra '800 e '900*, Milano, Franco Angeli, 2001.

[11] La realizzazione di quest'ultima, prevista e finanziata fin dal 1879, fu affrontata dal governo solo nel 1901, anche se a causa delle difficoltà di esproprio solo tra il 1920 e il 1922 vennero aperti i primi tratti tra Roma e Formia. I. Briano, *Storia della ferrovia in Italia*, Milano, Cavallotti Editore, 1977, p. 93.

[12] Archivio Storico delle Ferrovie dello Stato (da ora in poi ASFS), Fondo *Servizio Lavori e Costruzioni*, Serie C IV, linea 144, stazione 29, busta 4965, fasc. 4 -II, foll. 469-470.

[13] *Ibidem*.

[14] *Ivi*, foll. 636-713 .

[15] *Ivi*, foll. 714. Sull'argomento ho anche seguito la tesi di Laurea di C. Golia, *Architettura ferroviaria tra Ottocento e Novecento in Terra di Lavoro*, a.a. 2005-06, nell'ambito del Laboratorio di Sintesi Finale coordinato da D. Jacazzi.

[16] ASFS, Fondo *Servizio Lavori e Costruzioni*, Serie C IV, linea 59, stazione 34, busta 1469, fasc. 7, foll. 1161 e sgg.

[17] P. Ferri, *Il servizio Lavori e Costruzioni, La gestione dei Lavori, Beni immobili- Espropriazioni*, a cura del Collegio degli Ingegneri Ferroviari Italiani, Roma 1952, p. 5; cfr. anche M. Morandotti, *Stazioni ferroviarie: elementi di analisi tipologica e tecnologica*, Colorno, TLC Editrice, 1998.

[18] E. Masiello, *Architetti e ingegneri del Ministero delle Comunicazioni*, in *Architettura ferroviaria in Italia. Novecento*, a cura di E. Godoli, A. I. Lima, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2003, p. 97. Cfr. anche F. Businari, *L'architettura nella edilizia delle Ferrovie dello Stato*, in *Relazioni tecniche al II Congresso Nazionale degli ingegneri italiani*, (Roma, 8-15 aprile 1931-IX), Roma, Società Anonima Poligrafica Italiana, 1931.

[19] G. D'Auria, *L'architettura ferroviaria di Giuseppe di Giovanni: dai progetti per la stazione centrale di Milano alle case economiche per i ferrovieri di Palermo, in Architettura ferroviaria in Italia. Novecento*, a cura di E. Godoli, A.I. Lima, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2004, p. 73.

[20] ASFS, Fondo *Servizio Lavori e Costruzioni*, Serie C IV, linea 59, stazione 34, busta 1469, fasc. 7, foll. 325-384.

[21] *Ivi*, fol. 470. Giulio ed Emmanuele Melisurgo, padre e nonno di Gugliemo, avevano affiancato Bayard nella costruzione della Napoli-Portici. Entrambi avevano avuto una formazione internazionale: a Londra Emmanuele, a Parigi Giulio, il quale, già apprendista presso lo studio di Enrico Alvino, divenne nel 1863 ingegnere delle Strade Ferrate Meridionali. A lui si deve il progetto della Ferrovia Cumana realizzato tra il 1889 e il 1890. Cfr. D. Cirella, *Una famiglia di pionieri: i Melisurgo*, in *Ferrovie e tranvie in Campania*, cit., pp. 164-166. Cfr. inoltre: G. Melisurgo, *Per la ferrovia delle Puglie da Napoli a Brindisi*, Napoli, stab. tip. di G. Nobile, 1855; A. Giovine, *Emmanuele Melisurgo, ingegnere, giornalista e patriota non era napoletano, ma barese*, Bari, Alfredo Giovine, 1970. Per quanto riguarda Guglielmo Melisurgo, ingegnere del Comune di Napoli, è ricordato per il progetto, inizialmente con Quaglia, dell'edificio dell'Università di Napoli a Corso Umberto, realizzato tra il 1897 e il 1908, nonché per una proposta di piano regolatore del 1939. Cfr. G. Melisurgo, *L'Universita,le Cliniche, gli Istituti Scientifici di Napoli*, Napoli, Tipografia F. Cafieri, 1944; A. Buccaro, *La sede centrale dell'Università*, in "Fredericiana", n. 4, 1993.

[22] ASFS, Fondo *Servizio Lavori e Costruzioni*, Serie C IV, linea 59, stazione 34, busta 1469, fasc. 7, fol. 386.

[23] Il collegamento era previsto fin dal 1843 quando fu costruita la Napoli-Caserta via Cancello, ma Benevento all'epoca era in territorio pontificio e ciò ne ritardò la costruzione che iniziò solo nel 1867. A. Giuntini, *La creazione della rete ferroviaria italian preunitaria. Vincoli economici, politici e tecnologici*, in *Architettura ferroviaria in Italia. Ottocento*, cit., p. 18.

[24] S. CUCCINIELLO, *Il progetto di massima della ferrovia a trazione elettrica Atripalda-Candela-Bari con allacciamento alle Ferrovie dello Stato nelle stazioni di Avellino-Candela-Cerignola-Canosa-Bari*, Messina, tip. S. Giuseppe, 1914, pp. 3-4. Cfr. anche C. DE FALCO, *Trasporti su rotaie agli inizi del Novecento. La circumvesuviana e il progetto per la stazione di Bellavista*, in Atti del I Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria (Napoli 8-9 marzo 2006), a cura di A. Buccaro, G. Fabbricatore, L.M. Papa, Cuzzolin editore, Napoli 2006, pp. 1047-1055.

[25] ASFS, Fondo *Servizio Lavori e Costruzioni*, Serie C IV, linea 144, stazione 14, busta 4954, fasc. 13, fol. 121. Non è possibile in questa sede descrivere gli ulteriori progetti del 1933 e del 1935.

[26] *Ivi*, foll. 87 e 91-91. Cfr. anche la relazione del 1919 *Per l'ampliamento della stazione di Benevento*, degli ingegneri L. Ciapparelli e E. Franchini: *Ivi*, foll. 56-70.

[27] *Ivi*, fol. 142.

[28] Cfr. P.C. VERDE, *Stazione ferroviaria di Mergellina*, (1924-1927), in C. DE SETA, *L'architettura a Napoli tra le due guerre*, Napoli, Electa, 1999, pp.199-200.

[29] C. MAZZONI, *op. cit*., p. 38. Sull'argomento cfr. anche S. MAGGI, *Le ferrovie*, Bologna, Il Mulino, 2003, p. 32.

[30] ASFS, Fondo *Servizio Lavori e Costruzioni*, Serie C IV, linea 144, stazione 14, busta 4954, fasc. 13, fol 237. Il disegno è a fol. 132.

[31] *Ivi*, fol. 238.

[32] E. MASIELLO, *op. cit.*, pp. 100-101.

[33] Cfr. A. MARCIANO, *Architettura e dibattito critico sulla stazione centrale di Napoli*, (1861-1867), in "Patrimoine de l'industrie", 2003, n.10, pp. 55-74 e *Ibidem*, *Architettura e dibattito critico sulla Stazione Centrale di Napoli fra Ottocento e Novecento*, in *Costruttori di opifici: architetture del lavoro fra tradizione e innovazione*, a cura di G. E. Rubino, Napoli, Giannini Editore, 2005, pp. 101-121; R. PARISI, *Luigi Giura*, 1795-1864, *Ingegnere e Architetto dell'Ottocento*, Napoli, Electa Napoli, 2003, pp. 211-223; U. CARUGHI, E. GUIDA, *Alfredo Cottrau 1839-1898. L'architettura del ferro nell'Italia delle grandi trasformazioni*, Alfredo Cottrau, Napoli, Electa, 2003. Cfr. anche *Ferrovie e tranvie in Campania. Dalla Napoli-Portici alla Metropolitana regionale*, Napoli, Giannini Editore, 2006.

[34] Cfr. *L'architettura dei fabbricati viaggiatori negli anni del razionalismo*, "Ingegneria ferroviaria", Aprile 1985.

[35] B. GRAVAGNUOLO, *Le stazioni ferroviarie di Napoli nel XX secolo*, in *Architettura Ferroviaria in Italia*. *Novecento*, cit., p. 407.

[36] P. BELFIORE, B. GRAVAGNUOLO, *Napoli. Architettura e urbanistica del Novecento*, Napoli, Editori Laterza, 1994, pp. 18-55. Cfr. anche R. BOSCAGLIA, *Dopo il Liberty: considerazioni sull'eclettismo di ritorno e il filone dell'architettura fantastica in Italia*, in *Studi in onore di Giulio Carlo Argan*, Roma, Multigrafica Editrice, 1984, pp. 209-220.

[37] E. SESSA, *Un tardo liberty per le stazioni in Sicilia*, in *Architettura ferroviaria*, cit., pp. 169-186.

[38] M. GIACOMELLI, *Roberto Narducci (1887-1979) architetto-ingegnere del Ministero delle Comunicazioni*, in *Architettura ferroviaria in Italia. Novecen*to, cit., pp. 105-128. Narducci partecipa al concorso del 1954 per Napoli Centrale. I documenti di Benevento sono in fase di studio.

ENZO SIVIERO, GIORGIO PRADELLA

Carlo Pradella ingegnere

Carlo Pradella è una fra le più rappresentative figure dell'ingegneria del secondo Novecento italiano e le sue opere trovano uno spazio di grande rilievo al fianco di manufatti di progettisti quali Cestelli Guidi, Zorzi, Morandi, Rinaldi, Macchi.

Carlo Pradella nasce a Quingentole (MN) nel 1905 e nel 1929 si laurea in ingegneria industriale al Politecnico di Milano; tra i suoi docenti Danuso, Baroni, Jorini. Nello stesso anno inizia a frequentare il corso allievi ufficiali del Genio Pontieri Lagunari di Verona.

L'esordio professionale risente però della difficile situazione economica del dopoguerra e solo nel 1933, dopo l'abilitazione all'università di Padova, inizia l'attività lavorativa. In quell'anno infatti viene assunto dalla società A. Giuseppe Torno & C. di Milano come direttore di cantiere per il lotto 12 dell' autocamionale Genova-Serravalle-Scrivia e come progettista del ponte-viadotto sul torrente Vobbia a Isola della Scala. Sebbene l'incontro con l'ingegneria civile sia dovuto alla necessità pratica di trovare un'occupazione lavorativa, il tema "ponte-viadotto" diverrà poi centrale nella sua attività professionale ed in particolare nel suo lavoro per la Società Anonima Cementi Armati Ingegner Mantelli (SACAIM) di Venezia.



Fig. 1 – Ritratto



Fig. 2 – Viadotto sul torrente Vobbia. La casseratura dell'arcata centrale con le centine e la piattaforma per il disarmo

Nel 1937 l'Università di Padova lo assume come ingegnere per i lavori di ristrutturazione ed ampliamento del palazzo centrale del Bo. Nella città patavina conosce Gio Ponti, figura principale fra i professionisti incaricati per i lavori di trasformazione e recupero dell'antica sede universitaria che riconosce a Pradella la capacità di interpretare e dare concretezza esecutiva e strutturale ai suoi progetti e ai suoi schizzi inviati costantemente al Consorzio. La stima fra i due professionisti continuerà anche dopo la collaborazione padovana.



Fig. 3 – Restauro del Palazzo del Bo (PD) Corpo di fabbrica detto Basilica, preparazione per il getto del solaio a losanghe

L'esperienza lavorativa nel Consorzio è di rilevante importanza per la formazione professionale di Carlo Pradella, poiché alla sua provata capacità tecnica si aggiunge una nuova sensibilità legata all'arte e all'architettura. I lavori di restauro del Palazzo del Bo infatti diventano uno dei più importanti esempi di recupero edilizio e raro modello di sintesi di tutte le arti visive. Pradella si trova ad operare in questo favorevole contesto, oltre che al fianco di progettisti di indubbia notorietà come Gio Ponti ed Ettore Fagiuoli, anche con scultori e pittori, quali Arturo Martini, Mario Sironi e Gino Severini.

A Padova rimane fino al 1943, nonostante le interruzioni dovute al richiamo alle armi ed alla campagna di Russia che lo vede impiegato nella realizzazione di alcuni ponti provvisori in legno per consentire la ritirata dei soldati italiani.

Nel 1946 è assunto dall'impresa di costruzioni SACAIM di Venezia per ricoprire l'incarico di capo ufficio tecnico. Alla SACAIM Pradella trova un ambiente attivo, stimolante ed innovativo. Conosce Silvano Zorzi, giovane ingegnere, con cui entra subito in sintonia e con il quale lavora per circa due anni.

Zorzi proviene dall'esperienza di collaborazione con il Centro di studi sugli stati di coazione elastica fondato, all'interno del CNR, dal professor Gustavo Colonnetti. La sua presenza in SACAIM fa nascere all'interno dell'azienda l'interesse per la nuova tecnica costruttiva del cemento armato precompresso che Zorzi, fin dall'epoca della frequenza dei corsi tenuti dallo stesso Colonnetti al Politecnico di Losanna, aveva intuito essere il futuro dell' industria delle costruzioni.

Il tempo trascorso assieme nell'ufficio tecnico dell'impresa veneziana non è molto, ma l'incontro tra i due ingegneri, che rimarranno poi sempre in contatto, si rivela una felice coincidenza. Gli studi di entrambi i professionisti, nell'ambito dello sviluppo dell' applicazione del precompresso, segnano la storia dell'ingegneria italiana del dopoguerra.

Tra il 1946 ed il 1960 molte sono le realizzazioni della SACAIM che portano la firma di Pradella, ma è nell'ambito della costruzione del grande sistema idroelettrico del bacino del Piave-Boite-Maè-Vajont, per il quale l'impresa veneziana ottiene l'appalto per alcune importanti opere, che l'ingegnere consegue i maggiori successi professionali. Il viadotto sul fiume Piave a Vallesella, il ponte sul torrente Vajont, le condotte forzate della centrale elettrica di Soverzene e il ponte sul rio Bosconero sono tutte opere che, all'avanguardia nel

panorama tecnico italiano, apriranno la strada a nuove modalità costruttive e procedimenti produttivi.

Nel biennio 1949-50 il viadotto di Vallesella di Cadore, realizzato da SACAIM è sicuramente l'opera più conosciuta ed importante di Pradella essendo il primo ponte in cemento armato precompresso in Italia.

L'impresa, su sollecitazione del progettista, intuisce le possibilità che questa nuova metodologia avrebbe potuto offrire nella tecnica delle costruzioni e, in occasione dell'appalto di quest'opera, decide di affrontare questa esperienza nonostante il confronto dei costi con una soluzione tradizionale non sia ancora vantaggiosa economicamente.

L'opera, che utilizza il brevetto di precompressione Freyssinet, desta molto interesse nell'ambiente scientifico ed alle operazioni di collaudo, eseguite dal professore Franco Levi, si presentano molti studiosi della materia, tra i quali Gustavo Colonnetti. Questo è l'inizio di un importante percorso professionale che vede Pradella impegnato in progetti di numerose strutture in c.a.p. È il caso del progetto delle condotte forzate della centrale idroelettrica di Soverzene, in cui Carlo Pradella utilizza per la prima volta la precompressione per tubazioni di grande dimensione con pressioni di esercizio fino a trenta atmosfere o quello del ponte sul rio Bosconero (BL-1955), in cui viene utilizzata un'unica travata di ml. 47.

A Istrago (PN), sempre nell'ambito di un bacino idroelettrico, Pradella, sulla base dei procedimenti di calcolo sulle strutture scatolari precompresse indicate da Giangreco, progetta una torre piezometrica di tipo a grande serbatoio sfiorante con scarico di troppo pieno concentrico interno, dimostrando la validità degli studi teorici del professore.

La torre di Istrago, così come il ponte di Vallesella e le condotte della centrale di Soverzene, vengono recensiti nel primo annuario sulle realizzazioni italiane in precompresso edito dall'Associazione Italiana Tecnico-Economica del Cemento (AITEC) in occasione del IV Congresso Internazionale del Precom-



Fig. 4 – Viadotto sul fiume Piave Vallesella di Domegge di Cadore (BL)



Fig. 5 – Viadotto sul fiume Piave Domegge di Cadore (BL) I professori G. Colonnetti e F. Levi al collaudo



Fig. 6 – Torre piezometrica Istrago (PN)
Fase di costruzione

presso tenutosi a Roma e Napoli nel 1962. Nel 1956 una nuova opera lo porta, come già successo con il viadotto di Vallesella, ai vertici della sperimentazione dell'ingegneria italiana: il progetto del ponte ad arco in cemento armato sul torrente Vajont. Pradella adotta la tecnica di costruzione che prevede, in sostituzione delle centinature, l'esecuzione dei due semiarchi in posizione verticale nei fianchi della gola rocciosa e successivamente congiunti nella posizione definitiva.

La manovra di "varo" del ponte, eseguita alla presenza di stampa e personalità, suscita grande interesse, sia per la spettacolarità dell'evento che per l'utilizzo delle avanzate tecniche di costruzione.



Fig. 7 – Ponte sul torrente Vajont
Longarone (BL)
Le due arcate in fase di realizzazione

L'Italia negli anni Sessanta, ha già realizzato i più grandi bacini idroelettrici e comincia a sviluppare e ad ampliare il sistema delle infrastrutture.

Nel 1960 Carlo Pradella è impegnato nella progettazione di due ponti in cemento armato precompresso con brevetto SACAIM, per il raddoppio del tratto autostradale Venezia-Padova. Il più grande dei due manufatti, quello sul fiume Brenta, prototipo di un metodo



Fig. 8 – Ponte sul fiume Brenta
Autostrada Venezia-Padova
Il nuovo ponte affiancato a quello in ferro



Fig. 9 – Capannone Sali Marghera (VE)

costruttivo prefabbricato di notevole diffusione negli anni successivi, viene scelto dal CNR per compiere studi per la determinazione geometrica delle deformazioni elastiche nei manufatti in precompresso con forte obliquità rispetto agli appoggi.

Altre opere vengono progettate da Pradella nel campo dell'edilizia produttiva diventando prototipi di strutture che avranno largo seguito nella prefabbricazione industriale: i capannoni "Sali" a parabola a Porto Marghera, gli impianti industriali per la SNIA Viscosa a Durban ed a Coimbatore.

Il piano per la realizzazione di nuove centrali termoelettriche messo in atto dal nuovo ente nazionale per l'energia elettrica (ENEL) vede Carlo Pradella, già libero professionista da alcuni anni, incaricato per la soluzione dei problemi di vibrazione dei basamenti per i turboalternatori.

Vengono così calcolate, tra il 1963 ed il 1966, le strutture delle centrali di Fusina (VE), di Porto Corsini (RA), di Monfalcone (UD) e di Ostiglia (MN).

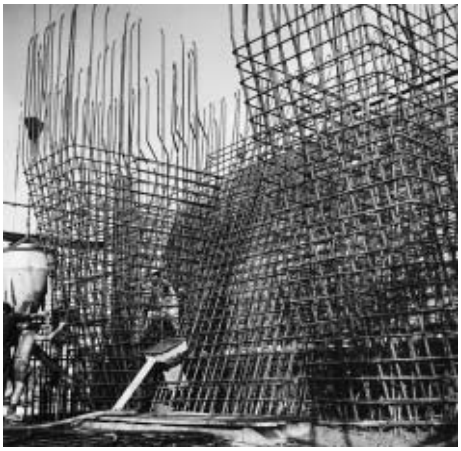


Fig. 10 – Centrale termoelettrica Ostiglia (MN)
Le gabbie di armatura per le strutture in elevazione del basamento

Tra il 1964 ed il 1972 applica e sviluppa la tecnica del cemento armato precompresso in una serie di ponti, alcuni dei quali nell'ambito della riorganizzazione infrastrutturale di Longarone, dopo il disastro del Vajont e dell'alluvione del 1966.

I primi anni Settanta segnano profonde modifiche sociali e culturali nel paese che incidono anche nella formazione delle figure professionali. La figura del tecnico cambia: l'ingegnere d'impresa, con ampia preparazione, capace di risolvere i problemi di progettazione e di costruzione dell'opera, è destinato a scomparire per lasciare spazio a tecnici specializzati in grandi studi di progettazione.

La grande esperienza maturata da Pradella, il suo costante desiderio di aggiornamento sulle tecniche di calcolo e la grande capacità intuitiva gli procurano tuttavia molte consulenze, collabo-



Fig. 11 – Ponte sul fiume Piave
Faé di Longarone (BL)



Fig. 12 – Ponte sul torrente Maé
S.S. 51 Alemagna - Longarone (BL)
Prospettiva

razioni ed importanti collaudi, maturando anche un costante scambio di informazioni con il laboratorio di prove sui cementi armati dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia e con alcuni docenti dello stesso Ateneo, alcuni di questi formati alla sua "scuola" nell'ufficio tecnico SACAIM.

Carlo Pradella muore il 22 novembre del 1982. I ponti e le opere di Carlo Pradella sono caratterizzati dalla stretta interrelazione tra progettista ed impresa. La fase progettuale è inseparabile dai procedimenti e dai vincoli indotti dalle fasi di messa in opera e l'ingegnere interpreta una prassi progettuale in grado di tradurre le acquisizioni della ricerca più avanzata in comportamenti tecnico-professionali diffusi. *Vincoli economici e coscienza della forma strutturale interpretano la qualità formale dei manufatti come dimostrazione di una verità tecnica.*

La storia professionale di Carlo Pradella si svolge parallela alla fase della ricostruzione e della modernizzazione dell'Italia del dopoguerra. In questo quadro si sviluppa lo strutturalismo italiano, caratterizzato anzitutto da una stretta relazione tra avanzamento teorico-sperimentale e prassi operativa.

Una *ricerca collettiva* impegna teorici, progettisti ed imprese a sviluppare in Italia la tecnica del cemento armato precompresso che passa in breve tempo da oggetto di studi teorici a strumento dei progettisti. Le imprese diventano il luogo della sperimentazione e dell'applicazione delle nuove acquisizioni teoriche, ricorrendo prima a brevetti stranieri per l'ancoraggio e la tesatura dei cavi, poi utilizzando nuovi brevetti italiani.

In questo quadro si collocano i ponti di Carlo Pradella e la sua esperienza all'interno dell'impresa SACAIM di Venezia, impegnata a tutto campo nella fase di realizzazione di grandi opere idrauliche ed infrastrutturali. Il tema del ponte si pone per primo come oggetto di confronto con la sperimentazione di nuove tecniche, ma anche con la conoscenza e lo sviluppo dei procedimenti costruttivi, delle macchine coinvolte, dell'ottimizzazione e del risultato dell'appalto. Il progetto è la conseguenza di consapevoli scelte costruttive mediante l'adozione di schemi statici semplici, in cui disposizione e forma esprimono chiaramente la funzione statica.

Nel ponte sul Piave a Vallesella, lo schema statico è quello di travi in precompresso appoggiate a piedritti costituiti da tralicci in cemento armato per sette campate con luce di m. 24. La scelta del precompresso non è dettata da motivi strettamente economici, bensì dalla volontà dell'impresa SACAIM di applicare tecnologie di avanguardia. Il confronto con il costo di una struttura in c.a. tradizionale non era stato infatti favorevole.

L'intuizione che lo sviluppo del nuovo metodo di costruzione avrebbe portato a grandi possibilità di applicazione fa seguire nell'arco di poco tempo altre realizzazioni: il ponte sul Samoggia di Rinaldi ed il ponte dell'Elsa di Morandi.

Nell'ambito della collaborazione fra Pradella e SACAIM, allo schema della travata appoggiata, è riconducibile il Ponte sul torrente Rio Bosco Nero (Belluno, 1955-56) che raggiunge una campata unica di m. 47 con impalcato costituito da travi longitudinali in cemento precompresso.

In questa struttura, SACAIM brevetta un nuovo procedimento di precompressione che verrà poi messo a punto in altre opere. Questo consente la ritesatura dei cavi anche successivamente alla conclusione dei lavori, qualora ci fossero problemi di allentamento degli stessi.L'applicazione del cemento armato precompresso non riguarda solo opere trasportistiche, ma anche altri manufatti.

Proprio Pradella (primi anni Cinquanta) sperimenta per la prima volta il precompresso nel progetto per le condotte forzate della centrale di Soverzene nell'ambito dei lavori per l'impianto idroelettrico Piave-Boite-Maé-Vajont e successivamente nel progetto per la torre piezometrica di Istrago (PN).

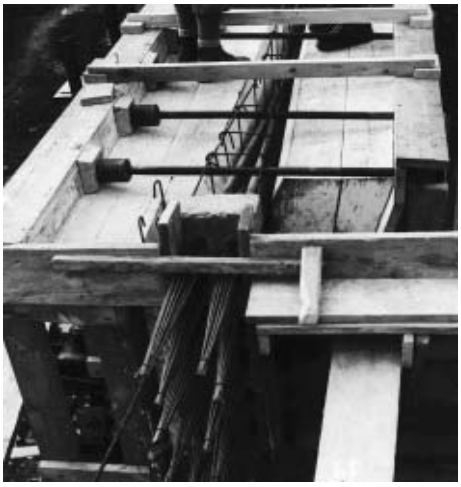


Fig. 13 – Viadotto sul fiume Piave Vallesella di Domegge di Cadore (BL) Le trecce dei cavi longitudinali della trave e i coni di ancoraggio di quelli trasversali della soletta



Fig. 14 – Ponte sul torrente Rio Bosconero S.S. 251 Longarone – Forno di Zoldo (BL) Il posizionamento delle travi sulle testate di appoggio

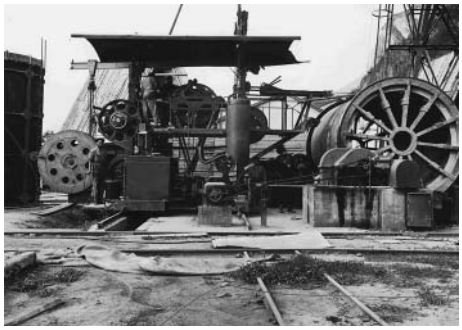


Fig. 15 – Condotte forzate centrale idroelettrica Achille Gaggia – Soverzene (BL) La macchina tendifili brevettata dalla SACAIM

Anche in questo caso risulta fondamentale la progettazione all'interno dell'impresa che sviluppa e realizza particolari macchine tendifilo su proprio brevetto. Seguiranno in breve tempo in Italia realizzazioni connesse a grandi impianti tecnologici, energetici, idraulici e produttivi, oltre allo sviluppo di una vera e propria industria delle costruzioni e della prefabbricazione. Intuizione, capacità di un ingegnere e lungimiranza di un'impresa si intrecciano con Pradella e con la storia di un paese che nell'arco di pochi anni ha visto uno sviluppo tecnologico non paragonabile a nessun altro periodo della nostra storia.

Bibliografia

Carlo Pradella ingegnere, a cura di G. PRADELLA, testi di E. Siviero, A. Villa e V. Dal Piaz, Venezia, Marsilio, 2006

Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso, IV Congresso Internazionale del Precompresso (FIP) (Roma-Napoli 1962), a cura dell'AITEC - Associazione Italiana Tecnico-economica del Cemento, Roma, 1962

Silvano Zorzi ingegnere 1950-1990, a cura di A. VILLA, Milano, Electa, 1995

RAFAEL GARCÍA

La fábrica de cemento ENCI de Maastricht y sus ampliaciones tras la Segunda Guerra Mundial

La fábrica ENCI de Maastricht fue fundada en la montaña de St Peter en virtud de un permiso de explotación concedido el 15 de julio de 1925. Las obras de la fábrica comenzaron en enero de 1927 y el primer horno de cemento se encendió el 7 de septiembre de 1928. ENCI (Primera Industria Neerlandesa de Cemento) tomó su nombre de esta primera fundación la cual fue establecida con capitales belgas y suizos. Este complejo creció convirtiéndose en uno de los mayores de Europa y ha sufrido diferentes ampliaciones. Actualmente la fábrica está en pleno funcionamiento pero el rechazo, a causa de un último informe sobre su efecto en el medio ambiente (Millieu-effect-rapport MER), de la posibilidad de seguir excavando en profundidad en la St Petersberg obligará al cierre de la misma en un plazo no mayor de cinco años.

El objetivo de este trabajo es suministrar una panorámica de las ampliaciones posteriores a la Segunda Guerra Mundial, las cuales son responsables de la imagen moderna y en continuo cambio de la fábrica. La descripción de estas instalaciones es interesante tanto por su proceso de producción como por sus características arquitectónicas. Estas últimas proveen al complejo de una monumentalidad que aún es visible. La situación a lo largo del canal Luik-Maastricht de algunos de sus edificios más importantes es uno de los factores que contribuyen a esta monumentalidad.

La decisión de ampliar la fábrica norte, existente desde 1928 fue tomada ya en el año 1939, habiéndose encargado las máquinas, pero la guerra impidió su realización. Después de la guerra la necesidad de cemento aumentó considerablemente y en diciembre de 1948 el consejo de comisarios de la ENCI decidió, ya en firme, llevar a cabo dicha primera ampliación. El proyecto de las instalaciones técnicas fue llevado a cabo por la oficina de estudios de ENCI pero con objeto de conseguir una imagen más agradable de la fábrica se convocó un concurso entre siete estudios de arquitectura. La oficina de estudios ya había fijado con bastante precisión la disposición de todos los edificios e instalaciones y ofreció a los participantes una planta detallada con



Fig. 1 - La fábrica antigua, St. Petersberg y la cantera en 1928

una serie de prescripciones. El nuevo complejo de la fábrica de cemento tenía que construirse al sur de la fábrica antigua y llevarse a cabo de forma que pudiera ampliarse posteriormente sin dificultades. Para hacerse una clara impresión del conjunto damos una lista de los elementos principales:

- Un muelle de hormigón de 420 m de longitud con una calzada sobre él y una grúa de carga y descarga sobre raíles con capacidad de 120 toneladas/ hora
- Un muro de contención de 213 m de longitud
- Un almacén para materias primas de 153 m de longitud con una grúa puente
- Dos depósitos circulares de hormigón armado para remover papillas de 24,5 m de diámetro y 4 m de altura
- Un edificio para el secado y molido del carbón construido junto al almacén cubierto
- Una nave para el horno de 183 m de longitud
- Una chimenea de hormigón armado de 110 m de altura
- Un edificio para dos molinos de cemento también construido contra el depósito cubierto
- Un edificio de transformadores con estación de reparto con una superficie de 30x29 m2 y una altura de 6 m

De las medidas de los componentes citados se deduce que el almacén cubierto con la grúa puente y el edificio del horno eran las construcciones más importantes. Estaban situadas en ángulo recto respectivamente entre sí. El almacén en dirección norte-sur, a lo largo del canal, y el horno detrás de aquel y en dirección oesteeste.

En el jurado del concurso estuvieron B.H.H. Zweers, W.F. Fontein, D. Roosenburg, J.A.G. van de Steur y A.J. van Walraven, todos ellos importantes ingenieros civiles y arquitectos. El premio se concedió al lema “kraan en silo” (Grúa y silo) del cual eran autores P.H. Dingemans, Sj. Wouda Jr y B.V van den Bergh. El segundo premio recayó en el lema “October 49” del arquitecto J.A.H. Huysmans de Maastricht.

El proyecto del estudio Dingemans, Wouda y van den Berg es interesante sobre todo porque intenta dar al complejo una imagen arquitectónica a través de algunas sutiles decisiones. La principal fue configurar una plaza como elemento central del mismo. Esta plaza existió ya en el proyecto de la oficina de estudios de ENCI pero los arquitectos la dotaron de una más clara expresión. La plaza fue, en este proyecto, delimitada por el almacén cubierto, el edificio de preparación del combustible, el pabellón del transformador, el edificio del laboratorio y las oficinas, la nave del horno y el edificio de los molinos de cemento.

Otra importante decisión correspondió al elemento dinámico, haciendo que la grúa con los carriles y cucharas fuera claramente visible desde el lado del muelle. El muro de contención se levantaba en el lado oeste sobre una serie de columnas y sobre los depósitos de carbón existentes en ese lado. En el lado este se erigía, por el contrario, separado casi diez metros de las

columnas y esta disposición se mantuvo en la solución definitiva. Para la construcción se eligieron en este proyecto columnas de hormigón y celosías de acero. También modificaron la marquesina ya prevista por la oficina de estudios elevándola y convirtiéndola en un atractivo voladizo. Los dibujos del proyecto dan una clara imagen de las relaciones mutuas entre los elementos.

El 1 de noviembre de 1949 se empezaron las obras de los muros del muelle y de contención así como con la construcción de la calzada de hormigón a lo largo del canal. El 14 de septiembre de 1951, trece meses más tarde, tuvo lugar la inauguración oficial. La producción del klinker no comenzó sin embargo hasta el 1 de julio del mismo año. Algunos importantes cambios se decidieron en relación al proyecto inicial pero antes de proseguir con la descripción de los edificios y sus soluciones parece adecuado transcribir la descripción dada por el ingeniero Ulrich sobre el proceso de fabricación.

"La marga se extrae de la cantera y con un tren de vagonetas se transporta a la fábrica antigua. Allí se mezcla la marga con el loess de la cantera, más la arcilla de Brunssum y las piritas, añadiendo agua y realizando una fina molienda en los molinos de bolas. La papilla así obtenida se bombea hacia la nueva fábrica y se almacena en las piscinas o depósitos de papilla (1). Con brazos giratorios y mediante aire insuflado en las piscinas se mejora la mezcla y a continuación se bombea hacia

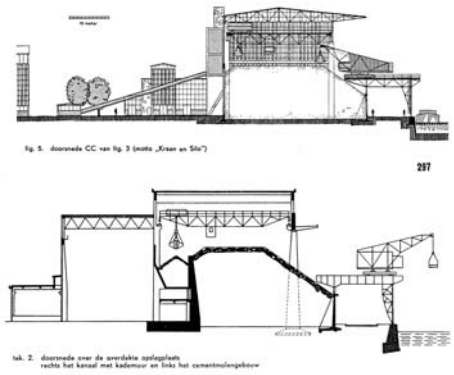


Fig.2 - Secciones de almacén cubierto y muelle. Arriba primera versión. Abajo solución definitiva

el horno giratorio. Este se encuentra en su nave correspondiente (2) y tiene una longitud de 120 m. La papilla se seca con un fuego de polvo de carbón como combustible, se calcina a una temperatura de 1450ºC y abandona el horno como klinker".[1] Se tiene aún que añadir que el eje del horno tiene una ligera inclinación que ayuda al movimiento de la papilla. La dirección del movimiento es en este caso de oeste a este.

"El polvo generado en el horno es absorbido en un electrofiltro y los gases evacuados por la chimenea (3). El klinker se fragmenta en el edificio de quebrantación (4) y se lleva después al almacén cubierto (5). Por medio de una grúa puente se recoge de nuevo, se mezcla con yeso para regular el tiempo de fraguado y se muele finamente en molinos de bolas. El producto así obtenido, el cemento, se bombea después por tuberías desde el edificio de molienda de cemento (6) hasta los silos de cemento en la fábrica antigua y se carga

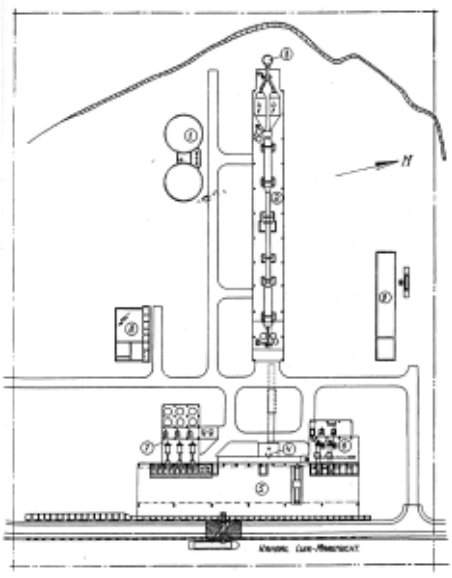


Fig 3 – Planta primera ampliación. Con la numeración correspondiente al texto

para expedición desde ellos".[2] También se da la indicación de que el carbón se bombea tanto hacia los hornos viejos como hacia los nuevos, aunque antes es secado y molido en el edificio de molienda de carbón (7). El complejo de esta primera ampliación constaba además de una estación eléctrica de distribución para 10.000 KW (8), un taller y un almacén (9).

El costo del complejo fue de aproximadamente 15 millones de florines, de los que el 40% fue para los edificios y el 60% para el resto, máquinas e instalación eléctrica incluida. Por sus dimensiones, el almacén cubierto es la estructura más destacable. ENCI dio a los contratistas cinco posibilidades distintas para la construcción de la cubierta: cubiertas laminares en dirección longitudinal o en dirección transversal, una

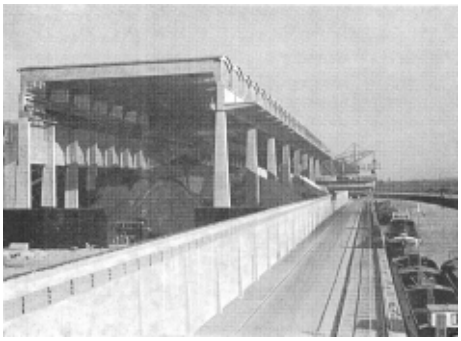


Fig.4 –El almacén cubierto y el muelle

estructura reticular de hormigón armado, una con vigas de hormigón pretensado y una con e-structura metálica. Además de ellas un contratista ofreció otra solución con pórticos prefabricados triarticulados.

Por razones económicas se eligió una cubierta laminar en sentido transversal y, como consecuencia, el almacén se cubrió con 18 láminas cilíndricas. Cada lámina tenía un espesor de 7 cm y un ancho de 8 m cubriendo una luz de 27 m. Es de destacar que dichas láminas se situaron a una altura de 22,6 m y que las columnas del lado del muelle se proyectaron con inusuales separaciones de 24 m. Para ello se construyó una pesada viga de 3,2 m de canto la cual recorría en longitud toda la fachada. La razón fue que así se permitía un mejor acceso a las grúas. Todas estas características dan al almacén desde el lado del canal un imponente aspecto de proporciones monumentales. Actualmente se puede tener desde el muelle una vista muy cercana de las láminas e incluso se puede caminar bajo ellas ya que una parte del almacén forma en la actualidad una

especie de pórtico monumental de entrada a la fábrica. Otra interesante característica de las láminas cilíndricas es la ausencia de tímpanos cerrados sustituidos en este caso por ventanales. En lugar de membranas ciegas se colocaron arcos, lo que además de contribuir a la iluminación deseada favoreció la imagen arquitectónica del conjunto. La longitud del almacén alcanzó en esta primera ampliación los 144 m y sirvió además como almacén de suministros. El material almacenado podía colmarse en su interior hasta una altura de 14 m y llenado había espacio para 50.000 toneladas de klinker, 10.000 de carbón, 10.000 de pizarra y 15.000 de yeso.

La segunda estructura en importancia fue la nueva nave del horno. A destacar es que el horno giratorio se transportó por barco dividido en piezas. En relación a la difícil situación financiera del periodo, tanto el horno como otros elementos de las nuevas instalaciones fueron suministrados por los EEUU dentro de la ayuda del Plan Marshall. Previamente se prepararon los cimientos del horno y después se montó éste. La estructura de la nave se construyó inmediatamente después de montarse el horno. Esto fue obligado por las grandes dimensiones del horno con 120 m de longitud y un diámetro variable desde 3,5 m a 4,2 m. Esto aconsejó también realizar una estructura metálica.

Se obtuvo así una nave de 194 m de largo y altura de pilares de 17,4 m con una luz de 17,4 m que era también

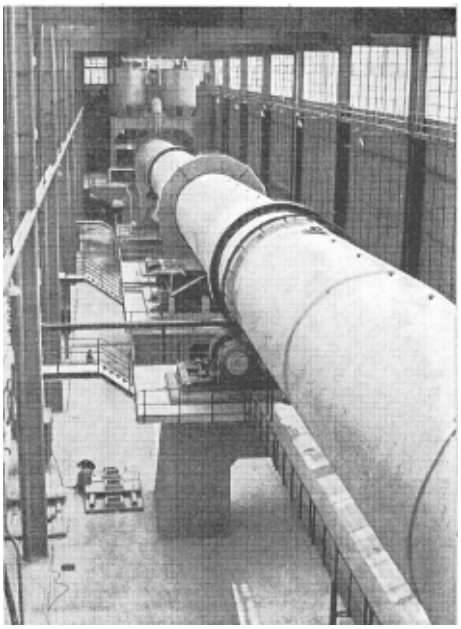


Fig. 5 – Interior del horno rotatorio. Segunda ampliación

monumental. Por consideraciones económicas se llegó a una solución con pórticos separados 15,8 muy por encima de lo usual en un caso así. Esta decisión dio, sobre todo desde dentro, una especial sensación de orden y armonía. Se ha de tener cuenta que, según el proyecto original, se contemplaba la colocación en el futuro de otros dos nuevos edificios de hornos adosados a ambos lados del inicial. En el extremo oeste se situó la gran chimenea con una altura de 110 m. Estaba formada por una hoja exterior de hormigón armado, una capa de aislamiento de vermiculita y una hoja interior de ladrillo. Esto se justificaba por que los gases podían alcanzar en el interior una temperatura de 260º y el hormigón no podía tolerar un salto térmico tan grande en relación al exterior.

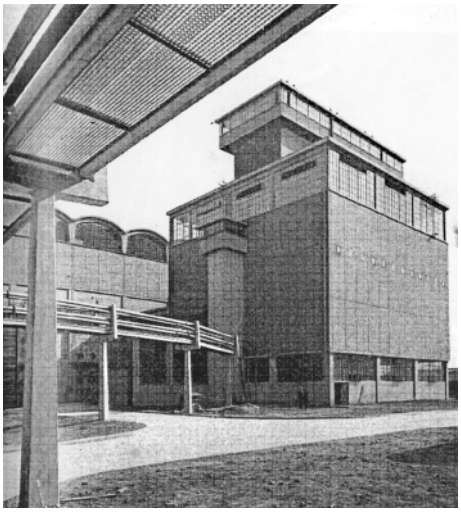


Fig.6 – Edificio del molino de bolas y conductos de bombeo en primer plano

El resto de construcciones de esta primera ampliación aun merecen algunas consideraciones. En primer lugar por ejemplo el edificio de molinos de bolas con una altura de cinco pisos y 32 m de altura. Tenía un esqueleto de hormigón armado pero las fachadas, al igual que las cerchas de cubierta, se realizaron en acero. Dichas fachadas se hicieron con una hoja sencilla de ladrillo rojo amarillento la cual, por su color, ofrecía un bello efecto de contraste con el hormigón.

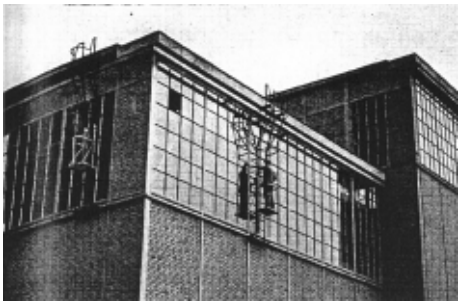


Fig 7 – Góndola con canastilla para la limpieza de cristales

Estas fachadas no portantes permitían un fácil desmontaje si se tenía que retirar una parte o la totalidad de la maquinaria. Al igual que el vecino edificio del horno de hormigón, el de horno de bolas tenía amplias franjas de cristal las cuales a su vez tenían que poderse limpiar de forma fácil. Para ello se proyectó un práctico sistema de góndolas de limpieza discurriendo sobre dos rodamientos. Su rodadura era tan suave que con un ligero empujón contra las ventanas del operario situado en ella esta se ponía en movimiento. Las góndolas estaban formadas por dos partes; la estructura móvil que era de acero, y la cesta de aluminio. Entre estos dos edificios una diferencia a destacar eran las vigas de cubierta, que en el del molino de cemento eran inusualmente cerchas de hormigón armado. La solución típica para una situación así era la viga Vierendeel. Estas celosías de hormigón más ligeras que la Vierendeel pesaban a pesar de todo 8 toneladas cada una alcanzando una luz de 17,91 m.

Como último edificio importante citaremos la estación eléctrica de distribución. Se situó al sur del edificio del horno y tenía 34,8 m de largo por 22,4 de ancho. Aunque no se trataba de un edificio especialmente grande las instalaciones eléctricas y la estructura de hormigón dieron lugar a algunos problemas interesantes. Todos los cables se colocaron en un sótano de 2 m de alto y los suelos de hormigón se perforaron con un incontable número de agujeros pasantes. Para este edificio se empleó un sistema de losas sobre

capiteles fungiformes a fin de que no existieran vigas que dificultaran el trazado de los cables. Esta exigencia vino impuesta por uno de los grupos de transformadores más importantes instalados en el país en ese periodo. En la planta de acceso se dispusieron las salas de mando e interruptores y por todos los lados celdas cerradas para los transformadores. Finalmente, un almacén y un taller completaron el complejo de esta primera ampliación. Es también interesante constatar que no solamente participaron contratistas holandeses sino también alemanes, belgas y estadounidenses. Estos últimos fueron, en concreto, responsables de la gran maquinaria del horno giratorio de cemento (Allis Chalmers, Milwaukee), los ventildores y quebrantadores de klinker (Alis Chalmers), el enfriador de klinker (Fullercompany, Catasauquia) y las cubas mezcladoras de papilla (Dorr Company, Stamford- Sturtevant, Boston).

La segunda ampliación del ENCI estuvo lista solo cinco años más tarde con la puesta en funcionamiento del horno número 6 el 1 de septiembre de 1955. Con ello la capacidad de producción de cemento holandés aumentó en cerca de 350.000 toneladas al año alcanzando la producción total del país 1.000.000 toneladas. Este nuevo horno se instaló adosado al sur del anterior y tenía similares características aunque en ciertos aspectos era más modernizado. El suministrador no fue un americano en este caso sino la Compagníe de Fives-Lille teniendo también que transportarse partes por barco y partes por carretera. Para el control del proceso químico que tenía lugar en el horno, se colocó un nuevo sistema electrónico de medida y regulación. La chimenea del horno 6 se levantó junto a la anterior y tenía la misma altura. Sin embargo,

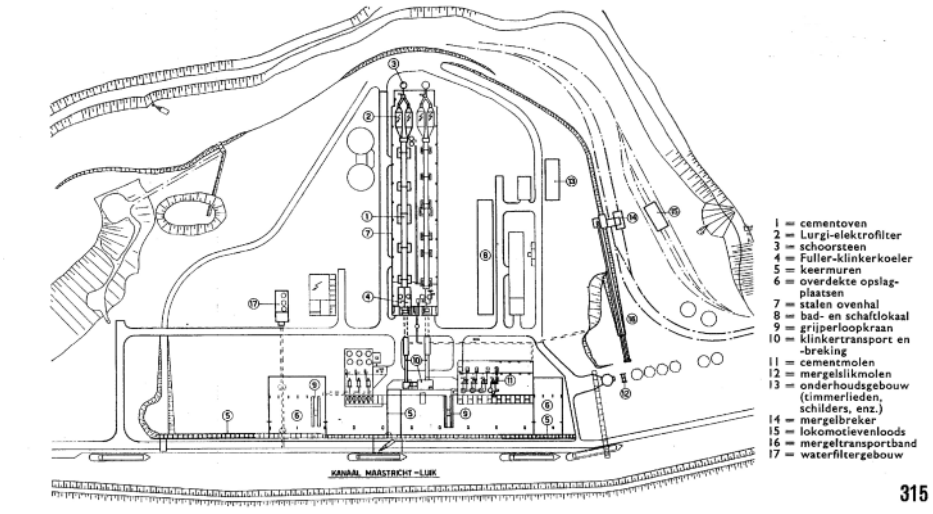


Fig.8 – Planta de la segunda ampliación con horno número

en la nueva chimenea se dispuso una ventilación de aire exterior en la cámara entre el ladrillo y el hormigón, lo que no solo protegió a este último contra las altas temperaturas sino que lo mantuvo seco. Debido a ello no se produjo ninguna condensación y los gases no podían atacar el hormigón. Para tener un control preciso de la temperatura, la humedad y la corriente de aire se colocaron, a media altura y en la parte alta, dos plataformas no existentes en la anterior.

La capacidad del almacén cubierto tuvo también que ampliarse lo que se realizó mediante dos extensiones del mismo por ambos extremos, cada uno con una longitud de 48 y 56 m respectivamente. El almacén completo alcanzó los 248 m de largo con una luz cubierta de 30 m, incluida la marquesina, y 10 intercolumnios de 24 m más un último intercolumnio menor de 8 m en el extremo norte. Con ello no solo se aumentó su dimensión sino también la impronta de su imagen por la parte del muelle. Estas ampliaciones fueron iguales en su forma a la parte existente pero no en su construcción, ya que en este caso se empleó una solución pretensada en el apoyo de las columnas y en las láminas de cubierta.

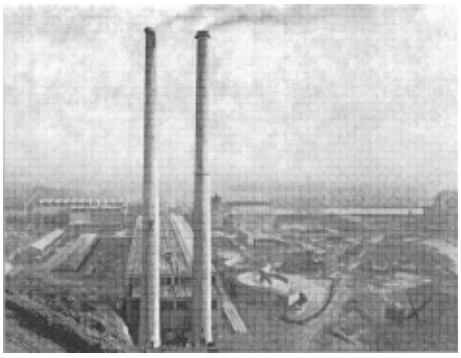


Fig.9 – Segunda ampliación con la nueva chimenea

El aumento de aporte de marga desde la cantera exigió también una nueva quebrantadora, una instalación de transporte de marga y un tambor rotatorio de fangos, así como una extensión de la pequeña red ferroviaria de la cantera.

En ese momento se pensó que la tercera ampliación con el horno de cemento n. 7 pronto sería necesaria y los planes para el mismo estaban ya en curso. Sin embargo, las circunstancias cambiaron y se decidió que la nueva fábrica ya no produciría cemento Portland sino cemento de alto horno dadas las nuevas favorables condiciones. Esta tercera ampliación se puso en uso oficialmente cinco años después, en septiembre de 1960. Gracias a esta instalación la producción de ENCI aumentó hasta 1200.000 toneladas al año, de las cuales más de 300.000 correspondían a la nueva fábrica. Con estas cifras la empresa de Maastricht suministraba junto con la Cemij de Ijmuiden, que producía 700.000 toneladas de cemento de alto horno, aproximadamente el sesenta por ciento de la producción nacional.

Es interesante citar que el cemento de alto horno fue desarrollado por primera vez en Alemania y que ya en 1917 fue reconocido por las normas alemanas como de igual valor que el Portland. En Holanda la producción de cemento de alto horno comenzó en Ijmuiden con la fundación de la sociedad

anónima Cementfabriek Ijmuiden (Cemij) en 1931. El proceso de fabricación es descrito en un artículo sobre esta nueva instalación en *Bouw* en 1960:

"La escoria es recibida por barco, llevada por una cinta de transporte hacia un depósito de almacenaje de 11.000 m3 y de allí, por medio de un cargador, vertido en los silos de suministro de la secadora. En el tambor de secado de 16 m de largo y 3,25 m de diámetro la escoria se seca con una corriente de gas caliente procedente de un hogar encendido automáticamente mediante gasóleo. Después, vía una instalación de transporte por cinta, es llevado a los silos de escoria del edificio de molturación de cemento. En la instalación de molienda, consistente en dos molinos de bolas de 11,5 m de longitud y un diámetro de 3,5 m la escoria se mezcla y dosifica en las proporciones deseadas con cemento de klinker Pórtland y yeso molturándose hasta conseguir el cemento de alto horno. El cemento así obtenido va por cinta transportadora hacia un almacén desde donde bien por barco o en camión se envía suelto o en sacos".[3]

En relación al estado actual de la fábrica se tiene aún que hacer mención a otro importante cambio. Este consistió en la sustitución de los hornos 5 y 6 por uno nuevo de aproximadamente la misma capacidad que los dos juntos. Este tenía una longitud de 180 m y un diámetro de 5,5 m e incluyó ocho enfriadores rotatorios, cada uno de 22 m de longitud, y un ultramoderno electrofiltro con un rendimiento del 99,9 por ciento. Los planes para este horno se iniciaron ya en 1960 pero no fue hasta 1966 que este proyecto recibió la luz verde gracias a una nueva concesión para extraer marga de la San Peterberg. Cuando en 1968 el horno se puso en funcionamiento, el complejo ENCI volvió a ser otra vez el de mayor capacidad de Europa. El establecimiento de un nuevo proceso de horno seco trajo consigo la demolición de las, hasta entonces, tan características dos chimeneas, las cuales fueron sustituidas por una única y de mayor altura. Actualmente es el signo reconocible de todo el complejo y visible desde Maastricht sobresaliendo por encima de la colina St. Petersberg.

Algo más tarde, en 1975, a causa de la crisis de energía de 1973 los cuatro antiguos hornos de 1927 situados en la parte norte se desactivaron y en 1979 se demolieron sus cuatro chimeneas de ladrillo. Con ello desapareció uno de los más importantes vestigios de la antigua fábrica con la que se inicio la producción moderna de cemento en los Países Bajos. Además desapareció un destacado elemento de un interesante edifico del patrimonio industrial del país, dise-

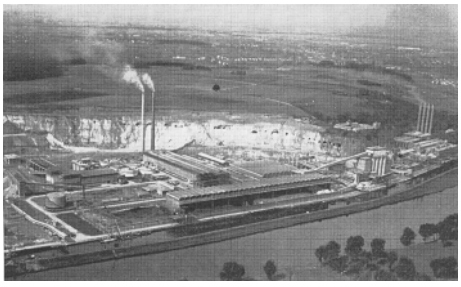


Fig.10 – Vista tras la tercera ampliación con el nuevo silo vertical a la derecha

ñado por el célebre arquitecto limburgés Frits Peutz.

Finalmente, con las últimas informaciones sobre el cierre, el fin del complejo es incierto y, sobre todo, el de sus mayores y másmonumentales construcciones.

Bibliografía

A.J. van WALRAVEN, *Uitbreiding van de ENCI te Maastricht* (Ampliación de ENCI en Maastricht), "Cement" , 1950, pp. 293 y ss.

M.L.E. GEMMEKE, *Opening nieuwe cementfabriek te Maastricht. Natuurhistorisch gebied in ruil voor devizen* (Apertura de nueva fábrica de cemento en Maastricht. Area de historia natural a cambio de divisas) , "Katholiek Bouwblad", 1950-51 año 18, p. 414

Uitbreiding van de ENCI in beeld (Ampliación de ENCI en imágen), "Cement", 1951, p.65

J.J.J. CRUL, *De in uitvoering zijnde tweede uitbreiding van de ENCI te Maastricht* (La, en realización segunda ampliación de la ENCI en Maastricht), "Cement" 7, 1955, Nr 1-2, pp. 14-17

J.J.J. CRUL, *De tweede uitbreiding van de ENCI te Maastricht* (La segunda ampliación...), "Cement", 8 1956, Nr 13-14, pp. 315-319

E.N.C.I. Hoogovencementfabriek te Maastricht (Fábrica de cemento de alto horno en Maastricht), "Bouwwereld", (4-10-1960 Bouwkroniek) p. 967

Nieuwe cementsilo's CEMI te Maa-stricht (Nuevo silo de cemento en...), "Cement", 1960 pp. 757 y ss.

A.NIESTE; M. POESEN, *70 jaar ENCI- van mergel tot cement 1926-1996*, 1996

[1] B. ULRICH, *De uitbreiding van de E.N.C.I. te Maastricht*, "Cement", 3, 1951, Nr 9-10, pp.153-161.

[2] *Ibidem*

[3] *E.N.C.I. opent hoogovencement-fabriek*, "Bouw", 1960, p.1219

NANCY DEMBO

Carlos Raúl Villanueva
Pionero en la construcción de la modernidad venezolana

Carlos Raúl Villanueva (1900-1975) nace circunstancialmente en Londres, debido a la carrera diplomática de su padre. Luego, se traslada junto con la familia a París donde recibirá su educación formal. En 1929, llega a Venezuela como arquitecto egresado de la École des Beaux Arts y se incorpora a trabajar en el Ministerio de Obras Públicas, iniciando su actividad como profesional, en un país que aspiraba a incorporarse a la modernidad formulada en otras latitudes y que Villanueva, de manera paulatina, haría cónsona con las características geográficas, culturales y técnicas venezolanas.

La obra de Villanueva ha sido reconocida y reseñada en la bibliografía dedicada a la arquitectura moderna y en el año 2000, una de sus más importantes producciones, la Ciudad Universitaria de Caracas, fue distinguida, por parte de la UNESCO, como Patrimonio Mundial de la Humanidad.

Nos interesa, en esta oportunidad, de todos los aspectos relevantes de su obra, destacar los aspectos tectónicos, es decir, las características de sus propuestas estructurales y la escogencia y manejo de los materiales que, en su dominio, formulan toda una poética constructiva.

Villanueva trabajó de manera sostenida desde su llegada al país hasta la fecha de su muerte, por lo que el análisis de su trayectoria es arduo y complejo. Hemos decidido, por tanto, concentrarnos en tres períodos cronológicos que demuestran la evolución tanto en el uso de los materiales como en las consideraciones referidas al diseño estructural y que permiten, además, ilustrar el desarrollo tecnológico de Venezuela para ese entonces.

El primer período reúne un conjunto de obras realizadas durante los años treinta, del siglo XX, donde la mampostería tradicional prevalece en la configuración del contenedor del espacio arquitectónico cediendo, cautelosamente, oportunidades al concreto armado; luego, hemos escogido algunas de las obras producidas por Villanueva en la década de los cincuenta, donde la hegemonía del hormigón reforzado será determinante en la definición del carácter tectónico de las edificaciones de este segundo momento y fundamental para la transición hacia el tercer período, la década de los setenta, donde se concretan los proyectos comprometidos con el uso del concreto pretensado y postensado

Desde la perspectiva estructural es posible observar cómo la eficiencia del soporte, en términos de la relación forma-material, evoluciona sobre la base de satisfacer las aspiraciones del espa-

cio contenido. En los primeros ejemplos encontramos propuestas que podríamos calificar de *complacientes* donde los elementos estructurales muestran geometrías no vinculadas necesariamente a las exigencias resistentes y en general de dimensiones mayores a las exigidas por los esfuerzos. En el segundo momento analizado prevalecen las formas estructurales que con mayor eficiencia responde a las exigencias portantes, alcanzando grados de sofisticación que permiten calificarlas como *escultóricas* y, por último, destacan las estructuras asociadas a las exigencias de racionalidad y comprometidas con los procesos de construcción industrializada.

Resulta particularmente interesante como Villanueva transitó desde la École des Beaux Arts hacia la modernidad, de la Europa de su formación hacia el trópico donde realizó su ejercicio profesional, acompañado siempre por una profunda convicción tanto del potencial de los nuevos materiales como de las nuevas ideas sobre el diseño estructural.

La década de los 30' y el noble ladrillo

En el año de 1929, cuando Villanueva llega a Venezuela, algunos arquitectos latinoamericanos ya se ocupaban de conciliar las nuevas tendencias funcionalistas con una expresión que involucrara las condiciones regionales, liberándose de las fórmulas academicistas nacionales y de las influencias de la Academia de Bellas Artes de París. En ese sentido la visita de Le Corbusier a Latinoamérica se convertiría en un evento referencial y de solidaridad con las iniciativas vanguardistas y definitivamente modernas de este continente.

Sin embargo, en la Venezuela de los años treinta no existían las condiciones de índole socio-económica que justificaran el surgimiento de las tendencias funcionalistas. No habían surgido cambios en la estructura productiva porque no había ocurrido ningún fenómeno parecido a la Revolución Industrial. Además, la recién inaugurada política económica petrolera, aun no generaba los ingresos suficientes que permitieran asumir riesgos con nuevas tendencias arquitectónicas, ni experimentos en el ámbito constructivo. Es así como, la transición a la modernidad en Venezuela, se da, en ocasiones, por imitación de las sociedades que para entonces mostraban mayor grado de desarrollo y por la iniciativa de esos profesionales que, habiéndose graduado en el exterior, decidieron ejercer profesionalmente y ejercitar, en estas latitudes tropicales, esa reflexión obligada hacia el desarrollo tecnológico.

La obra de Villanueva de los años 30' puede ser vista como investigaciones estilísticas cuyo carácter ha merecido el calificativo de ecléctico, término igualmente aplicable a las características tectónicas de estas edificaciones.

Así veremos cómo para satisfacer las exigencias constructivas del afrancesado Hotel Jardín (1929), el estilo morisco de la plaza de toros de Maracay (1931) y el estilo neoclásico de los museos de la Plaza Morelos (1936), el

arquitecto recurre a las bondades de una mampostería en conjunto con las posibilidades de un concreto armado de baja resistencia pero moldeable al antojo del diseñador y perfiles de acero importados, de insospechable capacidad resistente. Villanueva intentó así encontrar en los materiales tradicionales una referencia para entender el medio y una lectura original hacia los objetivos de las tendencias funcionalistas en boga.

En estas primeras experiencias la masa persiste como valor estético y las ventajas racionalistas, en términos de menores secciones de los elementos estructurales, pasan desapercibidas. Más aún, los elementos de concreto y las paredes de mampostería generaron una sumatoria de las estructuras de soporte, circunstancia bastante común en las construcciones de la época en Venezuela.

El Hotel Jardín (Fig.1) tiene una intencional orientación clásica, con un eje axial que pasa por el centro del acceso, a partir del cual se organizan en forma simétrica los espacios más íntimos de las habitaciones, las áreas sociales y los jardines.



Fig 1 - Hotel Jardín,



Fig. 2 - Vista interior del Hotel Jardín

La estructura ha sido diseñada tomando en consideración las aspiraciones formales por sobre las exigencias reales de soporte. Es así como veremos, en el pasillo del patio que bordea al salón de baile, dobles columnas sin capiteles en forma de cilindros truncados, rematando en arcadas falsas utilizadas como simple recurso formal, donde el concreto armado y la mampostería de arcilla se conforma con satisfacer cómodamente las exigencias estéticas. (Fig. 2)

Aun cuando las reseñas de la época tildan al edificio de "moderno", lejos estaría de estarlo, al menos en lo que concierne a su arquitectura y a su estructura. Lo moderno, en esta oportunidad, estuvo representado por las instalaciones: lavandería, secaderos a vapor, cavas de refrigeración y una cocina dotada de un equipo que permitía lograr un completo aprovechamiento del combustible a diferentes temperaturas, además de maquinaria para hacer helados, para repostería y para café en grandes cantidades, así como fregaderos para grandes cantidades de cubiertos. La modernidad se concretó en el confort, mientras el espacio moderno y su lenguaje



Fig. 3 - Plaza de toros Maestranza

tectónico debieron esperar una década. La Maestranza de Maracay (Fig. 3) está definida a partir de un volumen cilíndrico soportado sobre un sistema de columnas en concreto armado conectadas en sentido radial por vigas del mismo material y, transversalmente, por vigas de concreto y perfiles metálicos que conforman el esqueleto de albergue de las gradas. El anillo exterior contiene las columnas que enmarcan los arcos ojivales moriscos que otorgan el aire andaluz que exhibe la fachada.

Al abandonar el plano de la fachada y adentrarse en el área de la gradería, dichas columnas son considerablemente menores (0.64 m. de ancho comparado con el 1,70 metros de la fachada), primer gesto vinculado al reconocimiento de la capacidad de soporte del concreto armado.Sin embargo, no sólo resulta innovadora la incorporación del concreto armado a esta construcción, también lo es la integración de perfiles de acero a la gradería y al techo del aro exterior de la misma (Fig. 4).

En el caso de la grada, propiamente dicha, esta se conforma con dos perfiles de acero que se complementan con la loseta de concreto que sirve de asiento al espectador. Cubiertos con una masilla, estos perfiles no son evidentes y se manifiestan como viguetas de concreto, sin embargo esta solución es sorprendentemente racional, tanto desde el punto de vista estructural como constructivo y sin duda un aporte en el lenguaje tectónico de Villanueva.

La construcción de los museos de Bellas Artes y Ciencias Naturales se identifica aun con la "etapa ecléctica" y es un claro ejemplo de la timidez con la que, todavía para esa fecha, Villanueva manipulaba el concepto estructural y la técnica del concreto vaciado en sitio. (Fig. 5)

Los elementos de soporte del patio central, resumidos en los pilares de inspiración dórica y los dinteles curvos



Fig. 4 - Estructura de la gradería



Fig. 5 - Museo de Bellas Artes



Fig. 6 - Detalle columnas

o rectos, aun no pueden ser asociados a la referencia moderna de los sistemas de pórticos.

Las ventajas del monolitismo ofrecido por el concreto quedan ocultas a costa de diferenciar el elemento vertical del horizontal, recurriendo para ello al collarín de sección cuadrada (Fig. 6), interpretación que hubiese sido inadmisible ante los ojos de Françoise Hennebique, que ya en 1892 concluía en la conveniencia de la junta monolítica de hormigón armado.

Para desarrollar el lenguaje neoclásico que define la fachada del Museo y con el que se alcanza el ritmo entre el interior y el exterior de sus salas, el Maestro recurre a voluminosas columnas de concreto armado como recurso formal, asociadas a las paredes de mampostería, todas ellas cuidadosamente recubiertas de morteros de impecable blancura, descartando todo gesto de reconocimiento a las bondades resistentes del concreto armado o a su textura.

La década de lo 50' y el desafiante concreto armado

En contraste con la obra de la década de los treinta, la producción de Villanueva de los años cincuenta muestra una convincente predisposición a incorporar la forma edificada como instrumento de expresión que revela el valor tectónico de la edificación en su totalidad y cuyo mayor acierto es la manera en que dicha forma dialoga con las variables fundamentales del quehacer arquitectónico vinculadas a las relaciones espaciales, las circunstancias del sitio, las condiciones del clima, de la luz y el tratamiento del soporte.

Es por ello que el vocabulario propio del concreto reforzado será esencial en la obra de este período y abarcará desde, el tema de la forma, es decir, la capacidad de este material para reproducir las geometrías de máxima eficiencia estructural, hasta la textura, el color y la desnudez con la que revela su proceso de concreción a través de los vestigios dejados por los encofrados.

Como consecuencia de la II guerra mundial, Venezuela se convierte en receptora de una importante inmigración proveniente, fundamentalmente, de España, Italia y Portugal, que incluirá excelentes artesanos, entrenados, entre otras áreas, en el campo de la construcción. Muchos de ellos se integraron a las actividades constructivas de la Ciudad Universitaria.

En 1949, veinte años después de que el joven Villanueva participara en el proyecto del Hotel Jardín, el arquitecto se dedicaba a proyectar el gimnasio olímpico de la Ciudad Universitaria de Caracas. Sin duda, su trayecto del academicismo a la modernidad se había cumplido y, sin titubeos, este profesional



Fig.7 - Estadio olímpico

iniciaba un período de profunda investigación en el campo de la arquitectura.

La geometría en forma de "C" que muestra este edificio tiene gran capacidad para soportar momentos pues la posición de los brazos aporta el equilibrio requerido para oponerse a las cargas. Esta tipología estructural ya había sido ensayada por Nervi en el estadio municipal de Florencia, en 1932. Villanueva la reinterpreta ajustando las secciones resistentes, de las costillas que conforman la cubierta, a los momentos resistentes producto de las solicitaciones. (Fig.7)

El ejercicio estructural se traduce en un conjunto de costillas que se integran mediante una loseta que cubre el espacio entre dichas vigas.

La distancia entre las costillas es de cinco metros y la carga es la mínima prevista para las superficies de techo, lo que explica sus escasos 6 centímetros de espesor. La loseta cuelga de las costillas, permitiendo que la superficie interna sea una piel continua. Esta estrategia de colocar las vigas por encima de la superficie de techo, sería utilizada con frecuencia para resolver la mayoría de las cubiertas de los espacios de grandes luces en el conjunto de la Ciudad Universitaria, dando libertad al espacio interior.

Otro de los ejemplos que muestra la interpretación de las posibilidades de la forma derivada del potencial técnico es, sin duda, las soluciones a los pasillos cubiertos. Estos recorridos, que conceden protección al caminante, han recibido máxima atención en su diseño.

El pasillo de acceso a la Ciudad Universitaria de Caracas (Fig. 8) muestra una geometría que, en un principio, aparece como respuesta funcional al problema del recorrido curvo. Sin embargo, su solución involucra claros criterios de racionalidad estructural. La ondulación de la losa suple al elemento estructural de la rigidez necesaria para que esta superficie sea capaz de salvar la luz entre los nervios de apoyo. Estos nervios, colocados por encima de la losa laminar, cubren un pasillo de 3,65 metros de ancho y apoyan en una viga transversal de sección pentagonal, hueca, sometida a grandes exigencias tanto de flexión (derivados de la luz de 15 metros entre apoyos), así como, de importantes esfuerzos de torsión (ocasionados por el apoyo asimétrico de los nervios), que pueden ser absorbidos gracias al sistema de pretensado.



Fig. 8 - Pasillo de acceso a la CUC



Fig. 9 - Vista exterior del Aula Magna

Las columnas de apoyo de la viga pretensada dan continuad a la curvatura de la superficie del la techo y su considerable sección es producto de los momentos flectores que en ellas se producen. En paralelo a todas estas acrobacias estructurales la geometría final del conjunto debe satisfacer las necesidades de cobijo y de interacción con el contexto a las que se aspira en el recorrido, sin las cuales, las piruetas del soporte dejarían de tener sentido.

El pasillo que comunica las Facultades de Ingeniería y Humanidades consiste, en un soporte en cantiliver, en forma de "L" invertida capaz de resistir la cubierta que viene apoyada cada 16 metros.

Para que dicha cubierta fuese un elemento liviano, fue necesario dotarla de cierta inercia a través del manejo de la forma, por lo que se optó por una geometría ondulada. El volado del soporte, de 6,5 metros, generaba importantes momentos flectores por lo que se optó por precomprimir el tramo horizontal como alternativa para reducir su sección. El trazado de los cables se ubica a lo largo de la cara superior de dicho volado, siendo que allí se desarrollan los máximos esfuerzos de tracción. Con el fin de no transmitir estos momentos a la columna y poder contar con un elemento esbelto, se decidió colocar un tensor en la parte posterior de la viga que equilibra el momento de vuelco, concentrando entonces, en el elemento en cantiliver, la mayor responsabilidad del conjunto. Esto permitió reducir considerablemente las dimensiones del soporte vertical. De todas las edificaciones que conforman el conjunto de la Ciudad Universitaria no hay duda de que el Aula Magna es la pieza estelar. (Fig 9)

Las formas estructurales adoptadas para resolver los elementos portantes son determinantes en la consolidación del discurso que se inaugura en estos espacios. Lo afirman los riegos asumidos en la solución de las grandes luces, expresando con claridad los planos escogidos para el trayecto de las fuerzas y lo reafirma la decisión de dejar a la vista gran parte de los elementos de soporte, privilegiando los aspectos constructivos en concordancia con el tratamiento brutalista que recibe el concreto armado. El sistema estructural de este

edificio de usos múltiples lo podemos descomponer en subsistemas más sencillos y estáticamente determinados, con el fin de simplificar su análisis. Así apreciamos, desde el exterior, el gran pórtico central, la cubierta del espacio de grandes luces, la marquesina, el soporte exigido por el escenario y los servicios que con él se vinculan y los pórticos rigidizadores del conjunto. En el interior, protagonizan el gran volado que conforma el balcón y la estructura del plafón que permite el mágico efecto de las nubes de Alexander Calder.

El imponente pórtico que abraza el cuerpo del edificio es una viga Vierendeel donde las piezas que la conforman trabajan a flexión y están totalmente resueltas en concreto armado. La altura de la viga del macro-pórtico del Aula Magna es de 5,5 metros y mantiene su sección a todo lo largo del tramo horizontal. Dicho pórtico, de 49,2 metros de ancho total y 38,2 metros de luz libre, sirve de apoyo a las vigas de la cubierta de la sala y a las vigas del escenario, transformándose en la columna vertebral del conjunto. Las vigas que conforman el abanico son de sección variable y están colocadas, parcialmente, por encima de la loseta.



Fig. 10 - Esquema estructural del Aula Magna

Como extensión de la cubierta en banico se desarrolla la marquesina que, sin constituir una fachada principal del edificio, cubre las zonas de acceso al Aula Magna. El ambicioso volado de 14 metros de luz, que exhibe cada una de las vigas de dicha marquesina, exige de un apoyo intermedio que, en este caso, ha sido resuelto a partir de un tensor que emerge de las vigas y se ancla en las costillas del abanico.(Fig 10)

Las vigas que cubren el espacio de la escena tienen una luz máxima de 12 metros, es decir la tercera parte de aquellas que conforman la cubierta del espacio central. Ubicadas por debajo de la losa generan esa cubierta plana que no compite con las vigas que cubren la gran sala. Las caras laterales del volumen sirven de envolvente al espacio de las salas y fueron aprovechadas como estructuras rigidizadoras del conjunto. Concebidas como pórticos, sus elementos se organizan en función a una retícula de 3,90 x 3,80 metros que se acopla a los bordes de la superficie. En el espacio interior del Aula Magna sólo destaca un gesto estructural: es el imponente balcón que se mimetiza ante las nubes de Calder. (Fig 11)

Su geometría se manifiesta a través de la curva que recorre la sala de extremo a extremo y con la que remata este volumen, sin apoyos aparentes. En realidad, el balcón está soportado por una serie de columnas que definen el acceso a la sala y que han sido ubicadas en forma tal que parece que el balcón estuviese flotando, emulando el efecto que producen las nubes de Calder. La



Fig. 11 - Vista interior del Aula Magna

estructura se resume en un sistema de balancín donde el plano inclinado está constituido por las gradas de asientos, el plano vertical, por la hilada de pilares de soporte y el plano horizontal conforma el pasillo de acceso al balcón.

Para lograr esa pureza de las superficies lisas y blancas que envuelven el imponente espacio interior fue necesario recurrir a una piel de yeso o plafón que apacigua la avasallante estructura exterior y sirven de telón de fondo a las nubes, que emocionan y a la vez satisfacen la acústica del lugar.

El edificio está totalmente construido en concreto armado dejado a la vista. Para alcanzar las texturas y acabados exigidos por la obra limpia se

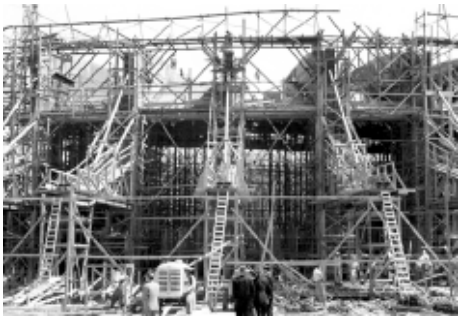


Fig. 12 - Proceso constructivo del Aula Magna

establecieron un conjunto de especificaciones que convirtieron al proceso constructivo en un verdadero acto de heroísmo. (Fig. 12)

El uso del concreto armado permitió a Villanueva, a partir de la década de los cincuenta, experimentar con el libre desarrollo de la forma permitiendo que las concesiones entre la estructura y el espacio contenido resultaran fluidas y amables.

La década de los 70' y los procesos de industrialización

Villanueva había insistido durante años en la industrialización como el futuro inevitable de los procesos de construcción. Sin embargo las circunstancias no le habían permitido incursionar en ese campo, por lo que el tema de la prefabricación sólo había estado presente en su discurso.

Mientras en la construcción de obras de infraestructura, como puentes y túneles, se había logrado en Venezuela incorporar los adelantos básicos alcanzados en otros países, en el ámbito de las edificaciones la experiencia en torno a la industrialización de los componentes estructurales era escasa.

El proyecto y construcción de la ampliación del Museo de Bellas Artes, que él mismo había diseñado 35 años antes, le permitió, en 1971, incursionar en estas técnicas constructivas para resolver el tema de las grandes luces en el bloque que reúne las salas de exposición. (Fig. 13)

Los espacios destinados a las exposiciones son plantas libres, sin apoyos



Fig. 13 - Salas de exposición del Museo de Bellas Artes

intermedios, con luces de 21 metros en las dos direcciones ortogonales y con voladizos de hasta 4,5 metros, en tres de sus lados. La altura de estos ambientes es de 4 metros. Las losas del piso se apoyan en los muros perimetrales y están armadas en ambas direcciones sobre la base de una retícula de 3 metros x 3 metros. Las losas están compuestas de elementos prefabricados de concreto armado, especialmente diseñados, que son: el marco, la cruz y la loseta y fueron producidos en un patio especialmente acondicionado, adyacente a la construcción de la ampliación del museo, previendo una pista de producción para cada elemento. (Fig. 13)

Los marcos, que conforman el plano inferior de la losa, tienen una



Fig. 14 - Losa tridimensional del museo de Bellas Artes

dimensión nominal en planta de 3 x 3 metros y una altura de 18 centímetros. (Fig.14)

La resistencia del concreto utilizado en estos componentes es de 400 k/cm² y responde a las exigencias de los esfuerzos que se desarrollan en el plano inferior de la losa. Dichos esfuerzos deben ser soportados de manera conjunta por los marcos y el juego de cables, en las dos direcciones ortogonales, trazado entre los marcos y cuya resistencia está en el orden de los 16.000 k/cm². Cada uno de los marcos pesa 1300 Kg.

Las cruces, que sirven de elementos conectivos entre el plano inferior y el plano superior de la losa, tienen una dimensión en planta de 3 x 3 metros, una altura de 120 centímetros y pesan 2000 kilogramos, cada una. (Fig. 15)

Siendo su geometría algo compleja se diseñaron plantillas y guías de montaje para la ejecución de las estas piezas. En la base de las mismas se previeron los ductos para el paso de los cables que se trazan en dos direcciones entre los marcos. La loseta, cuya dimensión nominal en planta es de 3 x 3 metros, es una losa nervada en dos direcciones y con nervios perimetrales



Fig. 15 - La cruz, pieza conector de la parte superior e inferior de la losa



Fig. 16 - Loseta superior colocada

de una altura máxima de 25cms. El peso total de la losa es de1700 kilogramos. (Fig.16)

La fabricación de estas piezas se realizó en juegos de moldes metálicos diseñados en forma tal de poder colocar los casetones que permitían configurar la geometría de la losa nervada. Sobre los casetones se daba previamente una capa delgada de un producto que permitiera lograr un acabado rugoso en la superficie del concreto en contacto con ellos. (Fig. 14)

La prefabricación se inició aun antes de iniciadas las fundaciones, con el fin de permitir el envejecimiento conveniente de las piezas. El proceso constructivo de las salas de exposición comenzaba con el vaciado de los muros perimetrales y el montaje de la cimbra compuesta por torres tubulares normalizadas ubicadas cada 3 metros y por una plataforma metálica horizontal, especialmente diseñada, que serviría de soporte a los elementos prefabricados: marcos y cruces

La tolerancia horizontal exigida en la colocación de las piezas era de 5mm. La tolerancia en la nivelación vertical fue de 1mm y los ajustes se realizaban a partir de tornillos telescópicos ubicados en las torres tubulares.

La colocación de las piezas prefabricadas comenzaba con los marcos distanciados, en forma tal, que quedara el espacio para las cruces. Dichas cruces debían coincidir con la intersección de los ejes de los cables. La parte inferior de las cruces se alojaba en el espacio previsto en las cuatro esquinas adyacentes de los marcos. Entre las caras de los marcos y las cruces se colocaba un mortero epóxico que aseguraba la transmisión de las fuerzas de precompresión de los marcos a través de la parte inferior de las cruces.

Luego se procedía al trazado de los cables en ambas direcciones. Se realizaba el primer tensado de los cables con una fuerza igual al 33% de la fuerza total. Simultáneamente al trazado de los cables se colocaban las losas prefabricadas. La altura total alcanzada por la estructura espacial es de 140 centímetros, pero sólo el 33% del volumen total es lleno.

Se procedía a realizar el vaciado de concreto sobre toda la superficie de la

estructura espacial. Tres días después de vaciado el concreto se procedía a realizar la segunda etapa del tensado de los cables con una fuerza adicional del 67 % de la fuerza total. Así se concluía el proceso constructivo de un piso de las salas de exposición, el cual se realizaba en el lapso de un mes.

Para el momento en que se construye el Museo no existían en Venezuela empresas que produjeran cables de alta resistencia por lo que fue necesario importarlos. Entre las dos opciones: el sistema VSL, de origen Suizo y el sistema Freyssinet, (utilizado en la construcción del viaducto Caracas-La Guaira) se seleccionó el primero, por conveniencias de carácter más administrativo que tecnológico.

El proceso de tensado en dos direcciones ortogonales fue sin duda la parte más compleja en la producción de las losas de entrepiso de las salas de exposición del museo. Como obra de ingeniería civil, esta estructura fue una experiencia absolutamente innovadora pues, si bien es cierto que la prefabricación y el postensado habían sido utilizados ya en varias de las construcciones con las que se contaba en Venezuela, no así, su aplicación en una losa de entrepiso, con cargas de diseño de 500k/m², tensada en dos direcciones y con luces libres de 21 metros. Aunque Villanueva sufría de quebrantos de salud para la época en que se construyó la ampliación del museo de Bellas Artes de Caracas, su lucidez alcanzó para que pudiese constatar que sus reflexiones sobre el futuro de la arquitectura vinculada al conocimiento tecnológico podían ser una realidad.

Quizás, el mayor mérito de esta obra, más allá de ser la experiencia donde Villanueva asume un claro compromiso tecnológico, es la agudeza y claridad espacial con las que el maestro conjugó las formas estructurales y el lenguaje constructivo para que el objetivo siguiese siendo la arquitectura.

Villanueva mantuvo la convicción de que sólo sería a través del desarrollo tecnológico que la industria de la construcción alcanzaría la condición acorde con las exigencias del país. De allí que el análisis de su obra sea un claro ejemplo de cómo se fue formulando el desarrollo tecnológico en la producción de edificaciones en Venezuela.

Fuente de figuras
Figg. 1, 2, 7, 8, 9, 10 I.González
Figg. 3, 4 M. Silva
Fig. 5 E. Arcila Farías
Figg. 6, 13 N. Dembo
Fig. 10 M. Salas
Fig. 12 MOP
Figg. 14, 15, 16 J. A Peña

Arianna Spinosa

Ingegneria e restauro nella ricostruzione postbellica. Gli studi di Piero Sanpaolesi per la copertura del Camposanto Monumentale di Pisa

L'emergenza postbellica di porre rimedio al *disfacimento* del patrimonio storico-artistico delle più importanti città italiane diventa, nella seconda metà del Novecento, anche un importante banco di prova per l'ingegneria applicata al restauro architettonico. La *ricostruzione* intrapresa nel dopoguerra infatti ha alimentato un fiorire di interventi volti a consolidare le volumetrie *monumentali*, in particolare tramite l'impiego diffuso di strutture in cemento armato, utilizzato innanzitutto per le sue caratteristiche di versatilità, di rimessa in efficienza della statica manomessa e della capacità di adattarsi alle più svariate forme e strutture, al di là delle sue qualità espressive. L'impiego, a volte disinvolto, dei nuovi mezzi costruttivi si ascrive anche alla formazione, per lo più di tipo ingegneristica[1], di una classe di tecnici che in questo momento si trova ad operare nell'Amministrazione delle Belle Arti. Tra questi spicca la figura del toscano Piero Sanpaolesi, soprintendente ai Monumenti e alle Gallerie delle provincie di Pisa, Livorno, Lucca e Massa Carrara dal 1943 al 1960.

Il presente contributo si pone l'obiettivo di indagare sul contesto storico, sulle ragioni e i modi che hanno condotto gli operatori del settore a prediligere negli interventi di ricostruzione, spesso in stile, l'impiego di tecniche e materiali moderni, i cui esiti hanno inciso profondamente sul volto dei monumenti restaurati. La liceità o meno di questi interventi sarà una questione ampiamente dibattuta in seguito, conducendo solo nel 1964, nella Carta di Venezia, a suggerire un utilizzo più cauto dei materiali moderni. La ricerca condotta parte dalla nota vicenda dell'incendio e della successiva ricostruzione del tetto del Camposanto Monumentale di Pisa, ponendo l'attenzione sul primo progetto, presentato dal soprintendente Sanpaolesi al Ministero della Pubblica Istruzione, ma non realizzato, di una copertura interamente

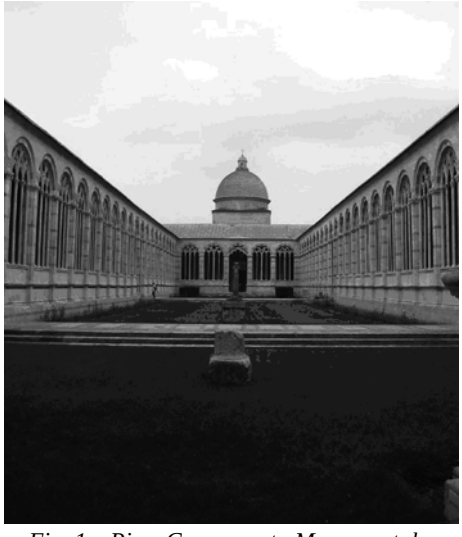


Fig. 1 – Pisa. Camposanto Monumentale, foto 2005



Fig. 2 – Pisa. Camposanto Monumentale, interno del quadriportico, foto 2005

in cemento armato. La rilettura di questa prima fase della generale opera di restauro e del dibattito che la caratterizza si fonda sulla documentazione inedita, rinvenuta presso l'Archivio Centrale dello Stato[2].

Piero Sanpaolesi, nominato soprintendente nel 1943, giunge a Pisa giovanissimo, ma già dotato di un ampio bagaglio culturale e soprattutto di un'apertura, dettata dalla propria esperienza di formazione e lavorativa, verso la moderna cultura scientifica e le tecnologie applicate al restauro. Egli aveva conseguito la laurea in ingegneria civile presso la scuola di Pisa nel 1926, la laurea in architettura a Firenze e soprattutto aveva svolto un incessante attività presso la Soprintendenza ai Monumenti di Firenze, sotto l'egida di illustri soprintendenti come Giovanni Poggi e Carlo Calzecchi Onesti. Ciò gli aveva peraltro consentito di collaborare con uomini di prestigio e storici, tra cui Gustavo Giovannoni, il che gli aveva dato l'opportunità di approfondire lo stretto rapporto tra conoscenze storico-umanistiche e sperimentazioni scientifiche e, più nello specifico, il rapporto tra forma e struttura dei principali monumenti fiorentini e toscani. Le sue ricerche, inoltre, durante tutta la sua attività di restauratore attivo sul campo e di ricercatore scientifico, prima nella Soprintendenza - dove aveva contribuito alla nascita del Laboratorio di Restauro negli Uffizi - e poi presso la Facoltà di Architettura di Firenze, si soffermano ad indagare l'impiego di soluzioni tecnico-innovative, fornite, appunto, dall'ingegneria e dalle scienze applicate, al restauro architettonico, nel rispetto delle esigenze di conservazione degli edifici storici.

Dalla consultazione dei documenti d'archivio relativi all'attività restaurativa postbellica, in particolare nella provincia di Pisa, emerge da parte del Soprintendente una certa predilezione nell'adozione del calcestruzzo armato, nelle sue più svariate forme e applicazioni, per far fronte alle problematiche strutturali degli edifici in muratura: una gamma di interventi che diverranno prassi comune nel cantiere della *Ricostruzione*.

Su tali premesse si inquadra lo studio e l'intervento di ricostruzione della copertura del Camposanto Monumentale di Pisa, distrutta da un incendio causato dai bombardamenti, che nell'estate del 1944, il 27 luglio, si abbatterono sulla città durante la ritirata dei tedeschi dagli Alleati: come è noto, uno dei momenti più tragici del conflitto bellico. La città di Pisa ne uscì completamente distrutta, sfigurata nella sua immagine storica e tradizionale. Rappresentative dell'entità dei danni sono le fotografie dello stato dei Lungarni pisani, i cui ponti,

sempre nell'estate del 1944, furono fatti saltare dai tedeschi, coinvolgendo gran parte del centro storico; le riprese aeree eseguite dal Comando Alleato raffiguravano il Camposanto privo del suo tetto, configurandosi come un'enorme *squarcio* urbano in una delle piazze più famose del mondo, la Piazza dei Miracoli. L'incendio della copertura si sviluppò in pochissimo tempo, essendo questa costituita da capriate in legno e rivestita in piombo, rovente al sole di luglio. Nonostante i vani tentativi di arginarlo, il fuoco si era esteso per tutto il Camposanto e aveva rapidamente coinvolto le superfici affrescate del più importante ciclo di pittura medievale di Benozzo Gozzoli e Antonio Veneziano, conservato sulle pareti delle Gallerie. Mentre le fiamme cuocevano i colori degli affreschi e i loro supporti in cannuccie, sui pavimenti delle gallerie, ricchi di lastre, sarcofagi romani e monumenti funerari medievali, si stendeva uno strato di piombo liquefatto.

Numerose sono le testimonianze che descrivono i momenti principali dell'incendio e le difficoltà dei primi soccorsi da parte dei dipendenti dell'Opera della Primaziale, per limitare il danno e la perdita degli affreschi[3]. Immediato è l'eco sulla stampa locale ma anche internazionale[4], enorme è il senso di smarrimento dinanzi a tanta distruzione. Alle prime relazioni generali[5] sullo stato dei monumenti della città di Pisa, tra cui il Camposanto, seguirono resoconti sempre più dettagliati e descrittivi, che il Soprintendente inviava al Ministero, di una situazione disastrosa e difficile da



Fig. 3 – Il Camposanto dopo l'incendio del 27 luglio del 1944
(ACS, MPI, AA.BB.AA., Archivio Disegni, (1925-60), Pisa, busta n. 29)

gestire. All'indomani degli eventi bellici i danni erano incalcolabili. Il soprintendente Sanpaolesi, da pochi mesi insediato, si trovava nel giro di pochi giorni a dover stabilire le linee di intervento, secondo le priorità maggiori e le risorse economiche a disposizione, tra l'altro scarsissime. In un clima di grandi incertezze la Soprintendenza pisana potè contare sul supporto, soprattutto economico, del Comando Alleato, grazie all'interessamento del Capitano Dean Keller e del Tenente Frederich Hartt dell'Ufficio Militare Alleato per i Monumenti[6].

Il restauro del Camposanto Monumentale rimane sicuramente il caso più rappresentativo della ricostruzione postbellica pisana, *manifesto* della ripresa non solo economica del paese ma anche culturale[7]. Sanpaolesi assunse un ruolo determinante nella vicenda, soprattutto nell'avviare, nonostante la vastità dei restauri e delle ricostruzioni nelle quattro provincie toscane, un serrato programma dei lavori e nell'impegnarsi, in prima persona, nella elaborazione di

soluzioni progettuali, tra cui la ricostruzione della copertura. Le diverse fasi del generale intervento di restauro sono ampiamente documentate dai carteggi rinvenuti negli archivi della Soprintendenza di Pisa e dalle pubblicazioni del Sanpaolesi stesso sul "Bollettino d'Arte"[8]. D'altronde il Camposanto rappresentava un "monumento nazionale della cultura artistica e architettonica del Trecento italiano" ed il Soprintendente aveva il compito di aggiornare l'opinione pubblica e i tecnici sull'evolversi dei lavori, in cui venivano impiegate ingenti risorse del dicastero della Pubblica Istruzione e dei Lavori Pubblici, argomentando le scelte compiute, in alcuni casi molto dibattute.

L'intervento si muoveva nell'ambito delle direttive del ministero, sintetizzate da Guglielmo De Angelis D'Ossat, nel ruolo di Direttore Generale delle Antichità e Belle Arti, nel famoso contributo *Danni di guerra e restauro dei monumenti*[9]: un insieme di linee guida che descrivono un quadro operativo di intervento sul patrimonio storico-artistico, a seconda dell'entità dei danni. Pertanto il Camposanto Monumentale di Pisa, secondo tale divisione per *categorie*, rientrava in quella dei monumenti che avevano subito danni di maggiore entità[10], dove i tetti erano praticamente scomparsi e dove si lamentavano larghi squarci o demolizioni parziali, con sconnessione delle strutture superstiti, vittime di incendi. Se il De Angelis nel suggerire gli indirizzi metodologici dell'opera di restauro individuava due strade, di cui una, quella istintiva, mirava al sostanziale ripristino delle forme perdute, l'altra più riflessiva, tendeva a non ripetere l'aspetto primitivo quando di questo ne erano rimaste pochissime tracce. In realtà, nella maggior parte dei casi, venne percorsa la prima, dettata dal sentimento di nostalgia verso il monumento distrutto e dalla volontà di cancellare l'evento luttuoso della guerra che in un momento aveva eliminato testimonianze di secoli.

Nell'intervento di ricostruzione del tetto del Camposanto Monumentale si ravvisano, infatti, le problematiche intorno alle quali ruota tutto il dibattito della ricostruzione postbellica, e, nella sua soluzione finale, il fallimento, in parte, del restauro nel riproporre rifacimenti, intesi come ripristino delle antiche strutture demolite. Un *rifacimento* che si rivolge innanzitutto al ripristino delle forme, ma che coinvolge nella questione, l'opportunità di utilizzare tecnologie costruttive moderne, come il cemento armato. A tal proposito richiamiamo il noto caso della ricostruzione del Ponte di Santa Trinita a Firenze[11], che al tempo diede vita ad un vivace dibattito sulle modalità tecniche di esecuzione. Le posizioni in quel caso furono divergenti: contro chi sosteneva il ripristino del ponte "com'era e dov'era", Roberto Pane legittimava il ricorso alle "moderne possibilità costruttive in quanto più sicure e più comode, senza preoccuparmi delle moralistiche obiezioni relative alla *sincerità strutturale* dal momento che tale sincerità è semplicemente un equivoco estetico"[12]. Anche Sanpaolesi fu dello stesso parere: egli intravedeva nella pre-

senza di un'anima in cemento armato nel famoso ponte in pietra dell'Ammanati, il metodo più sicuro, più rapido ed economico, anche perchè era convinto che la sua ricostruzione avrebbe comunque costituito un falso antico della struttura originaria[13]. Infine il ponte fu ricostruito *come era* anche nella sua struttura originaria[14]. Stessa questione si era configurata per la ricostruzione del tetto del Camposanto di Pisa.

Qui alle prime opere di rimozione delle macerie e recupero dei materiali superstiti, sia dei resti dell'antica struttura lignea che dei frammenti degli affreschi e dei pezzi marmorei dei monumenti funerari, seguì un'opera di raccolta dei dati, fotografie e documenti d'archivio, che permisero il dimensionamento della preesistente copertura, di cui non tutti gli elementi erano quelli originari poiché la struttura era stata sottoposta a continui restauri, integrazioni e sostituzioni, documentati negli archivi dell'Opera del Duomo. La copertura del Camposanto era costituita da "mensole di quercia sagomate e da capriate di tipo palladiano con sovrapposti arcarecci a sezione romboidale e trapezoidale sostenuti sul piano di falda da gattelli sagomati, travicelli e listelli intelaiati e imbussolati in formelle quadrilatere e da un assito di tavole unite a battente. Sopra lo scempiato erano disposti regolini equilateri triangolari per le giunzioni delle lastre di piombo del manto"[15]. Il tutto andava a comporre una complessa orditura costituita da 66 capriate normali e 4 d'angolo per 5000 mc di legname e 4000 mq di piombo per il manto[16]. Le proposte progettuali della nuova struttura furono così approntate sulla base di un modellino di una capriata, costruito per incarico della Soprintendenza da Bruno Farnesi, capo delle maestranze dell'Opera del Duomo.



Fig. 4 – Modellino della capriata originaria del Camposanto riprodotta dagli operai dell'Opera del Duomo per lo studio della ricostruzione del nuovo tetto (ACS, cit. b. 29)

Il rifacimento della copertura, sostituita temporaneamente da una provvisoria, progettata ed eseguita dal Gruppo di Fanteria che lavorava con la V Armata[17], si presentava all'opinione pubblica come un intervento prioritario, anche perché l'enorme invaso architettonico, con le sue esili quadriforme, i lacerti degli affreschi e le sinopie rinvenute, non poteva rimanere a lungo senza una protezione dagli agenti atmosferici.

L'intervento atteso dalle direttive ministeriali prevedeva la ricostruzione del tetto "com'era e dov'era". Fin dall'inizio esso si indirizza verso una "ricostruzione integrale della copertura secondo il primitivo disegno delle antiche strutture"[18], per ristabilire innanzitutto i rapporti dimensionali dell'architettura del "recinto sacro", stravolti dall'enorme lacuna: altra questione per il Soprinten-

dente era poi quella dei materiali e della tecnologia costruttiva da impiegare.

Il Sanpaolesi già nell'ottobre del 1945, spinto da una "necessità urgente del ripristino del tetto per proteggere da ulteriori danni il complesso delle opere d'arte raccolte all'interno" in collaborazione con l'ingegnere Giancarlo Nuti, aveva presentato al Ministero dei Lavori Pubblici un primo *progetto esecutivo*. Una copertura di 2016 mq costituita da una capriata palladiana con travature in cemento armato, ricoperte da tavoloni in legno per un importo complessivo di lire 93.000.000. Nella relazione generale allegata ai grafici di progetto[19] si prevedeva l'esecuzione di una grossa orditura in cemento armato ed il ripristino di quella minore e dello "scempiato" in legname, secondo l'antico modello, con il reimpiego del materiale sopravvissuto all'incendio. Alla scelta del cemento armato, molto discussa e criticata, il Sanpaolesi, animato da una piena fiducia verso le *certezze* della scienza e delle tecnologie moderne era pervenuto per una maggiore sicurezza in caso di incendio e anche per le difficoltà di recuperare travi di una tale portata e sezione. Egli decide però di non lasciare a vista le membrature in cemento armato ma di rivestirle con il legno. In questo caso l'esigenza di mimetizzare la nuova tecnologia costruttiva sottolinea come il progettista non riconosce la capacità espressiva del nuovo materiale: predilige quindi una *soluzione compromissoria*, dissimulando le orditure principali con tavolame di 3 centimetri di spessore, così da poter ripristinare le sezioni originali, senza alterare le primitive proporzioni spaziali dell'invaso *monumentale*. Nella relazione, Sanpaolesi dichiara la volontà di raggiungere le medesime "caratteristiche statiche ed estetiche dell'antica copertura a falda", affidandosi ad un vero e proprio ripristino delle forme, così come ricostruite, sulla base dell'indagine documentaria, dalla prospettiva della capriata allegata ai grafici di progetto, e dal modellino presentato al Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti[20], dando un'assoluta priorità alla percezione visiva rispetto all'*autenticità* strutturale. Un intervento notevole, non solo dal punto di vista della messa in opera e dell'organizzazione del cantiere, ma anche per i carichi che sarebbero andati a gravare sia sulle masse murarie, ridotte a rudere e ricostituite con muratura in mattoni di laterizio, sia, soprattutto, sulle esili colonnine in marmo delle quadrifore che vanno a comporre il quadriportico del Camposanto pisano.

Tale sistema di copertura progettato da Sanpaolesi risente, da una parte, dei nuovi progressi della tecnica delle costruzioni; dall'altra, soprattutto nell'esito formale, si accolla il retaggio di una cultura classica, che si fonda sul rispetto dell'immagine *autentica*, "ripiegando su posizioni tradizionali e anodine"[21], così come codificato nell'art. V della Carta di Atene del 1931[22]. Il rivestimento delle travature in cemento armato con tavole di legno è un espediente utilizzato in molti altri restauri del periodo: al cemento armato impiegato nel restauro veniva assegnata una fun-

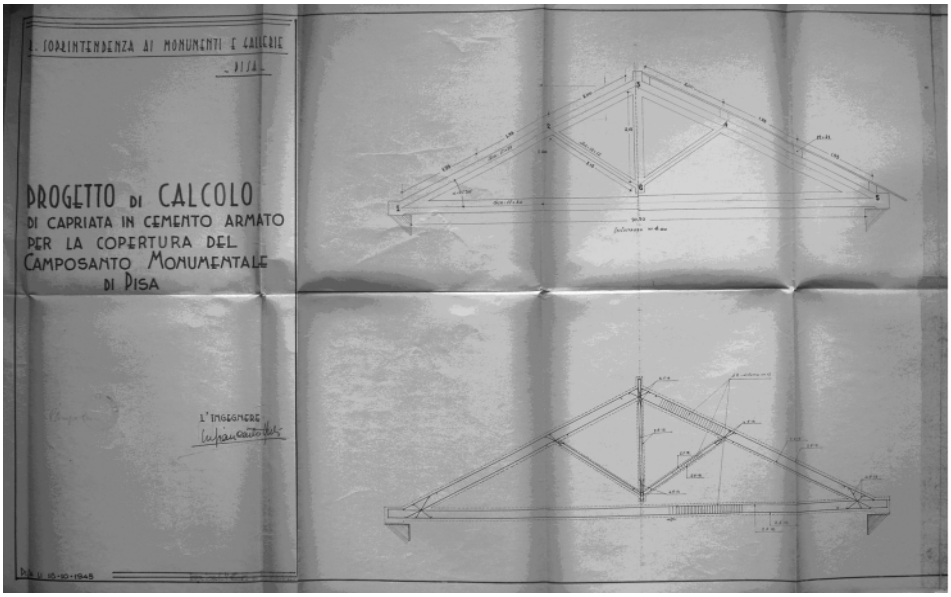


Fig. 5 – Pisa, 16 ottobre 1945. Stralcio del progetto della nuova copertura in cemento armato rivestita in legno redatto dall'ingegnere Giancarlo Nuti e dal soprintendente Piero Sanpaolesi (ACS, cit. b. 29)

zione puramente strutturale[23], senza cavalcare la dirompente carica espressiva che invece quel materiale aveva manifestato nel campo dell'architettura moderna, fin dai suoi esordi.

Una soluzione ingegneristica, dunque, quella progettata per il Camposanto pisano, che rispecchia un consueto impiego, fino a quel momento, del nuovo materiale nel restauro, tramite l'annegamento di strutture intelaiate nelle murature *guastate*, e non più capaci di assolvere alla statica per cui erano state dimensionate. In sintesi al cemento armato si demandava il compito di ossatura portante dell'edificio, senza esibirlo nelle sue valenze e potenzialità anche formali: un tale *artifizio* viene riproposto anche nel progetto di ricostruzione della copertura distrutta, sempre a seguito danni di guerra, della chiesa di Santa Chiara a Napoli[24], dove poi si ripiega per una semplice dipintura color legno delle travature in cemento armato realizzate.

Anche se non si conosce nel dettaglio il parere del Consiglio Superiore delle Antichità e Belle Arti sulla questione del nuovo tetto del Camposanto, si può con certezza asserire, a fronte dei commenti di voci autorevoli e per il successivo svolgimento dei lavori, che l'intervento non fu accolto con entusiasmo, proprio per il carattere troppo *monumentale*. Tale constatazione denunciava peraltro un certo attrito, che in più occasioni sarebbe emerso, tra le scelte dell'ente locale, la Soprintendenza pisana, e gli indirizzi di quello statale, il Ministero della Pubblica Istruzione. Per la vastità dei

danni, le difficoltà sul *come* intervenire, infatti, tutto il restauro del Camposanto fu accompagnato da dibattiti, malcontenti e dall'istituzione di commissioni di studio "a cominciare dal tetto", come afferma Cesare Brandi, "che chi lo voleva in cemento armato e chi di legno come era e dove era" a finire al tanto discusso strappo degli affreschi e ricollocamento su supporti rigidi di eternit[25]. Ricordiamo ancora come lo storico Roberto Papini in una feroce critica verso l'operato della Soprintendenza pisana muoveva l'accusa di eccedere con l'uso del cemento armato[26].

Il dibattito sulla tipologia, ma soprattutto sulla struttura della nuova copertura, aveva rallentato i lavori programmati dal Soprintendente che in più occasioni cerca di sottolineare l'urgenza e l'estraneità ad eventuali prese di posizione, affermando, in un resoconto economico del 1951, che "sarebbe possibile in tale occasione rendere note le vicende che hanno impedito una attuazione di qualche poco più sollecita, soprattutto del tetto, ragioni ignote alla maggior parte dei malcontenti, ai quali pure dovrebbe essere noto che il Camposanto di Pisa equivale ad un rispettabile museo coi suoi 250 pezzi di scultura, e più che millequattrocento metri quadrati di affresco, circa quattromila metri quadrati di tetto, e tutti gli accessori, nonché con la difficoltà e novità dei problemi affrontati, e si spera risolti, come quello della struttura del tetto e quello del restauro degli affreschi"[27]. Tali polemiche portarono, prima dell'avvio dei lavori, ad un cambio di rotta: si abbandonò l'idea dell'impiego del cemento armato per ricorrere invece ad una struttura interamente in legno, identica alla precedente sia nelle forme che nella materia. La ricostruzione della copertura seguì la strada "del ripristino integrale" delle capriate costituite da travi in legno, provenienti dall'Austria, con rivestimento in piombo[28], secondo il primitivo disegno, grazie ad un ingente impegno economico del Ministero dei Lavori Pubblici, della direzione tecnica del Genio Civile e della direzione artistica della Soprintendenza.

Se il progetto del tetto in cemento armato si presentava troppo *audace* per il Camposanto Monumentale, soluzioni simili che prevedevano l'impiego di tale tecnica verranno invece appoggiate positivamente dal Ministero: per le chiese pisane di San Michele in Borgo e di San Paolo a Ripa d'Arno[29]- fortemente danneggiate dagli eventi bellici - fu accettata la sostituzione di alcune capriate con quelle in cemento armato. Nella chiesa di San Michele in Borgo, sita nel cuore del centro storico, l'intervento coordinato dalla Soprintendenza diretta da Sanpaolesi aveva previsto il "completamento del tetto"[30], tramite il "rivestimento di n. 7 capriate in cemento armato, con tavole dello spessore di cm 3 fissate su telai di legno, onde raggiungere la sezione voluta, legate con staffature in ferro". I grafici di progetto, le relazioni tecniche e i computi autografi[31], conservati presso l'archivio della Soprintendenza a Pisa, redatti dal Sanpaolesi e dal collaboratore ingegnere Giancarlo Nuti, riprendono, nel comples-

so, l'idea per la copertura del Camposanto Monumentale, ridimensionandone la struttura. Le capriate interessate sono quelle in prossimità del coro e del presbiterio, la parte più instabile dell'edificio, investito anch'esso dai bombardamenti del '44 e restaurato secondo l'intento di conservazione delle strutture primitive che si rivelarono al di sotto degli apparati settecenteschi

In questo caso grazie alla sapiente opera di rimozione delle macerie e recupero delle parti rimaste si potè procedere alla rimessa in opera delle capriate sconnesse e lo smontaggio e successivo rimontaggio di quelle superstiti, come opera di prevenzione da nuovi crolli. Più tardi in una successiva riflessione sui restauri condotti durante il periodo postbellico, il professore Piero Sanpaolesi si soffermerà ampiamente sulle questioni relative ai consolidamenti strutturali, talvolta arditi ma necessari, come parte del generale progetto di restauro, precisando che la "struttura è la forma stessa dell'opera architettonica" e che "ogni intervento o variazione sulla struttura è quindi un intervento sulla sua forma"[32], poiché ambedue concorrono alla complessità del manufatto e alla definizione dell'architettura in generale. Alla luce delle nuove acquisizioni, il rinnovato interesse per i restauri postbellici consente non solo di approfondire le tematiche che hanno animato un periodo di particolare importanza per l'evoluzione della disciplina del restauro nel corso del Novecento, ma anche di evidenziare il grande *exploit* delle tecniche e dei materiali cosiddetti *moderni*, che in questo momento vengono adottati con una certa libertà strutturale, ed in pochi casi anche espressiva, sulla scia dei grandi restauri effettuati con l'utilizzo del cemento armato realizzati tra gli anni Venti e Quaranta del Novecento[33]. L'operato nel campo delle Belle Arti di personaggi come Piero Sanpaolesi, di formazione tecnico-ingegneristica innestata su di un impianto storico-umanistico, ha permesso, inoltre, l'affinamento nel cantiere del restauro delle questioni più

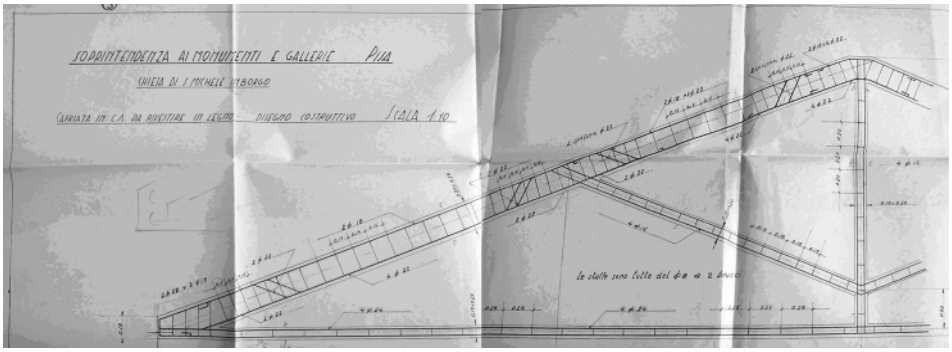


Fig. 6 - Progetto della capriata in cemento armato da rivestire in legno per la chiesa di S. Michele in Borgo, redatto dall'ingegnere Giancarlo Nuti e dal soprintendente Piero Sanpaolesi (Archivio generale della Soprintendenza per i Beni Ambientali Architettonici Artistici e Storici per le province di Pisa, Livorno, Lucca e Massa Carrara, foglio 125, m. A : Chiesa di San Michele in Borgo)

propriamente strutturali, il che ha sviluppato un orientamento che tende a conservare anziché sostituire le membrature strutturali originarie.

Studiare dopo cinquanta anni interventi come quelli esaminati, condotti da un Soprintendente, tecnico e docente "illuminato" come Piero Sanpaolesi consente, da un lato, l'avanzamento della conoscenza sulle fabbriche architettoniche restaurate e sulle loro traformazioni e, dall'altra, pongono, oggi problemi di conservazione che quegli edifici restaurati manifestano. Un consapevole intervento di conservazione deve infatti tener conto anche delle tracce dei restauri col cemento armato, in quanto documento materiale delle scelte culturali compiute, inquadrate nel proprio contesto storico, delle tecniche, dei materiali impiegati, dei capitolati, delle maestranze, insomma di tutti quegli aspetti che hanno caratterizzato il cantiere del restauro postbellico.

[1] Ricordiamo nella prima metà del Novecento la presenza nell'Amministrazione delle Belle Arti di una classe di restauratori di istruzione di tipo ingegneristica, tra tutti Gustavo Giovannoni, Adolfo Avena, Gino Chierici, Ferdinando Forlati ed altri. Cfr. C. Calderini, *Cultura e tecnica del cemento armato nel restauro dei monumenti in Italia*, in "Palladio", n. 32, luglio-dicembre 2003, p. 100, nota 3.

[2] Le ricerche si sono concentrate sull'analisi della documentazione autografa relativa ai carteggi della Soprintendenza ai Monumenti e alle Gallerie di Pisa, Livorno, Lucca e Massa Carrara dal 1940 al 1960, conservati presso l'Archivio Centrale dello Stato di Roma e quello della Soprintendenza per i Beni Ambientali Architettonici Artistici e Storici per le province di Pisa, Livorno, Lucca e Massa Carrara a Pisa.

[3] Vedi in *35° Anniversario dell'incendio del Camposanto Monumentale, Pisa, 27 luglio 1944- 27 luglio 1979*, Pisa 1979.

[4] Vedi in *Le opere d'arte de Cimitero Vecchio di Pisa gravemente danneggiate*, in "Corriere di Roma" del 7 settembre 1944; *I danni ai monumenti di Pisa*, in "Osservatorio Romano" del 29 settembre 1944; *I danni al Camposanto Vecchio di Pisa*, in "Notiziario Nazioni Unite" del 23 settembre 1944.

[5] Archivio Centrale dello Stato, *Ministero della Pubblica Istruzione, direzione generale antichità e belle arti, divisione II, (1940-45)*, busta n. 137, 6. monumenti, Pisa città. "[…] Il danno maggiore è stato subito dal Camposanto vecchio che rimase incendiato per una cannonata il 27 luglio u.s. alle ore 19 circa; il fuoco sviluppatosi nella parte nord del tetto non fu potuto arginare, anche per un susseguito cannoneggiamento degli Alleati, e distrusse tutto il soffitto con l'inevitabile danneggiamento di gran parte degli affreschi parietali, dei monumenti e dei sarcofaghi conservati nel medesimo.", in Pisa, 13 settembre 1944, *Le distruzioni della guerra a Pisa*. "Queste informazioni sono state trasmesse su mia richiesta dal prof. Luigi Russo, Rettore dell'Università di Pisa, Carlo L. Ragghianti"; "[…] E' pervenuta a questa Soprintendenza in data 22 Settembre u.s. la lettera della Direzione Generale del 14 Settembre 1944 e la circolare allegata. Già il Professore Brandi, reduce dalla sua visita a Pisa compiuta l'11 Settembre u.s., avrà fornito a viva voce alla Direzione Generale, le prima informazioni sulla grave situazione nella quale si trova la Città di Pisa, ed in particolare sui danni che hanno subito i monumenti nel periodo fra il Maggio e il Settembre 1944 durante le azioni belliche e i combattimenti che si sono svolti a cavallo dell'Arno. […] Il lavoro cui attende attualmente la Soprintendenza ha per scopo oltre che le provvisorie protezioni agli affreschi del Camposanto e l'intervento di massima urgenza per la fermatura di parti percolanti degli affreschi, anche la esecuzione di preventivi per le riparazioni

urgenti agli edifici monumentali maggiormente danneggiati.», in *Relazione sommaria della situazione delle Opere d'arte e dei Monumenti della Soprintendenza ai Monumenti e Gallerie di Pisa*, f. to il Soprintendente, Arch. Ing. Piero Sanpaolesi (s.d.).

[6]G. C. Nuti, *La Copertura del Camposanto Monumentale di Pisa*, in "Bollettino d'Arte" , IV 1953, p. 322.

[7] Vedi in *Sanpaolesi ha ricordato il restauro del Camposanto*, in "La Nazione, Pisa", 17 giugno 1979.

[8] P. Sanpaolesi, *Le sinopie del Camposanto di Pisa*, in "Bollettino d'Arte", gennaio-marzo, 1948; Id. *Il restauro del Trionfo della Morte del Camposanto di Pisa*, in "Bollettino d'Arte", annoXXXV, serie IV, 1950; Id. *Le incisioni di Carlo Lasinio per gli affreschi del Camposanto di Pisa*, Firenze 1950, [con commento e note di Piero Sanpaolesi]; Id. *Il restauro del Camposanto Monumentale*, in P. Sanpaolesi, M. Bucci, L. Bertolini, G. Ramalli, a cura di, "Camposanto Monumentale di Pisa-Affreschi e sinopie", catalogo mostra, Milano 1960.

[9] G. De Angelis D'Ossat, *Danni di guerra e restauro dei monumenti*, in atti del V Convegno di Storia dell'Architettura, Perugia 23 settembre 1948, Firenze 1957, pp. 13-28, che riprende un articolo pubblicato per la prima volta in "L'illustrazione italiana", 13, marzo 1946, pp. 212-213.

[10] Cfr. E. Lavagnino, *Cinquanta monumenti italiani danneggiati dalla guerra*, Roma 1947, pp. 78-83; E. Sorbo, a cura di, *Danni di Guerra*, in "d'Architettura", *Cambiamenti di stato*, n. 26 gennaio-aprile 2005, p. 171.

[11] R. Gizdulich, *La ricostruzione del Ponte a S. Trinita*, in "Comunità", n. 51, 1967. Sul vivace dibattito in merito alla questione della «ricostruzione» del ponte di Santa Trinita si veda anche G. De Angelis D'Ossat, *La salvaguardia dei centri urbani d'interesse artistico*, in "Le vie d'Italia", n. 2, 1946, ripubblicato in "Palladio", nn. 29-30, gennaio- dicembre 2002, pp. 231-236; R. Pane, *Il Ponte di S. Trinita*, in R. Pane, "Architettura e Arti figurative", Venezia 1948, pp. 21-24; P. Sanpaolesi, *Firenze, I quartieri del Ponte Vecchio e del Ponte S. Trinita*, in "Palladio", n.1, 1951, p. 49. Per un approfondimento del dibattito e delle vicende relative alla ricostruzione del ponte di Santa Trinita si veda A. Belluzzi, G. Belli, *Il ponte a Santa Trinita***,** Firenze 2003.

[12] R. Pane, *Il Ponte* cit., p. 21.

[13] P. Sanpaolesi, *Firenze* cit., p. 49.

[14] G. De Angeli d'Ossat, *Il ruolo del cemento nel restauro e le prospettive future*, in "Restauro e cemento in architettura", a cura di G. Carbonara, Roma 1984, II, pp. 426-428, ripubblicato in "Palladio", nn. 29-30, gennaio- dicembre 2002, p. 296.

[15] G. C. Nuti, *Esperienze di restauro. Il Camposanto Monumentale* in C. Perogalli, a cura di, *Architettura e restauro, esempi di restauro eseguiti nel dopoguerra*, Milano 1957, p. 145.

[16] *Ibidem*

[17] E. Franchi, *Arte in assetto di guerra*, Pisa 2006, p. 95.

[18] G. C. Nuti, *La Copertura* cit., p. 322.

[19] ACS, *MPI, Aa.Bb.Aa., Archivio Disegni*, (1925-60), Pisa, busta 29. «Camposanto Monumentale di Pisa- *Relazione Generale*- Preventivo di spesa generale per un importo di L. 93.000.000, f.to. l'Architetto, Giancarlo Nuti, il Soprintendente Piero Sanpaolesi». Nella cartella «Provveditorato per le Opere Pubbliche della Toscana- Soprintendenza ai Monumenti e Gallerie di Pisa- *Opere dipendenti dai danni di guerra*- Progetto esecutivo -stralcio dei lavori per la copertura parziale del

Camposanto Monumentale di Pisa, per un importo di L. 58.000.000 (soluzione piombo), tratto coperto mq. 2016 di falda». Nel fascicolo sono conservati i disegni e grafici di progetto firmati dal tecnico incaricato, l'architetto Giancarlo Nuti ed il Soprintendente Piero Sanpaolesi: Pianta del Camposanto Monumentale, scala 1:200, in cui è segnata la parte della copertura distrutta dall'incendio; Disegni della copertura, scala 1:20; Saggi alle fondazioni, scala 1:500; Progetto di calcolo di capriata in cemento armato per la copertura del Camposanto Monumentale di Pisa; Prospettiva della capriata. Nella relazione generale si legge «Le opere previste sono state distinte nelle seguenti categorie generali: I. Opere in muratura per un importo di L. 2.773.663; II. Opere in cemento armato per un importo di L. 15.133.057; III. Opere di carpenteria in legname escluso il rivestimento delle strutture in cemento armato, per un importo di L. 23.060.316,50; IV. Opere di rivestimento in legname delle strutture in cemento armato per un importo di L. 9.677.640; V. Manto di copertura per un importo di L. 33.494.153,40; totale L. 84.138.859,90; Arrotondamento L. 61.140,10; Imprevisti generali per l'esecuzione di tutte le opere L. 8.800.000; totale generale L. 93.000.000».

[20] ACS, cit. b. 29. Nel fascio sono presenti delle immagini fotografiche del modellino di una capriata della originaria copertura costruito dall'operaio Bruno Farnesi.

[21] G. De Angelis d'Ossat, *Il ruolo del cemento* cit., p. 295.

[22] Il punto V della Carta internazionale del restauro di Atene (1931) recita: «Gli esperti hanno inteso varie comunicazioni relative all'impiego di materiali moderni per il consolidamento degli antichi edifici; ed approvano l'impiego giudizioso di tutte le risorse della tecnica moderna, e più specialmente del cemento armato. Essi esprimono il parere che ordinariamente questi mezzi di rinforzo debbono essere dissimulati per non alterare l'aspetto e il carattere dell'edificio da restaurare; e ne raccomandano l'impiego specialmente nei casi in cui essi permettono di conservare gli elementi in situ evitando rischi del disfacimento e della ricostruzione.», tratto da E. ROMEO, a cura di, *Documenti, norme ed istruzioni per il restauro dei monumenti*, in S. Casiello, a cura di, "Restauro criteri metodi esperienze", Napoli, 1990, p. 238.

[23] C. Calderini, *Cultura e tecnica* cit., p. 98.

[24] Nella disposizione della ricostruzione della copertura della chiesa di Santa Chiara a Napoli, ad un primo progetto presentato dall'ingegnere Calvanese dell'Ufficio del Genio Civile di Napoli in cui si associavano a capriate lignee travature in calcestruzzo armato rivestito con tavolame, nel 1947 segue, da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, la proposta, appoggiata dal Soprintendente Giorgio Rosi, di ricorrere esclusivamente a capriate in c.a. rivestite di legno. Successivamente il soprintendente Rusconi rinunzia ai rivestimenti in legno per una tinteggiatura del cemento armato con vernice color legno. Per una ricostruzione storica degli eventi in merito alla ricostruzione del tetto della basilica di Santa Chiara si veda L. Guerriero, L. Rondinella, *Le strutture in calcestruzzo armato della copertura della basilica di S. Chiara a Napoli*, in "Il ciclo di vita delle architetture in cemento armato. L'approccio ingegneristico e le ragioni della conservazione", atti giornata di studio, Politecnico di Torino, Castello del Valentino, 16 maggio 2007, *in corso di stampa*. Vedi anche F. Delizia, B. De Nigris, *Chiesa di Santa Chiara a Napoli; restauri della Soprintendenza ai Monumenti della Campania, 1944-1959; sistemazione esterna 1963-73*, in C. Di Biase, a cura di, "Il restauro e i monumenti. Materiali per la storia del restauro", Milano 2003, pp. 337-354.

[25] C. Brandi, *Esposti a una nuova tortura gli affreschi del Camposanto di Pisa*, sul "Corriere della Sera", del 19 aprile 1961, ripubblicato in M. Cordaro, a cura di, *Cesare Brandi, il restauro. Teoria e pratica 1939-1986*, Roma 1995, p. 287.

[26] R. Papini, *Imbalsamato sotto vetro il Campo Santo di Pisa. L'effetto delle grandi lastre di cristallo poste a chiudere i finestroni appare decisamente negativo, senza contare l'inutilità della costosissima innovazione*, in "Il Corriere della sera", 11 agosto 1953.

[27] ACS, *MPI, AA.BB.AA., divisione II (1945-55)*, busta n. 68.

[28] Il cantiere della messa in opera della nuova copertura viene ampiamente documentato da Giancarlo Nuti in G. C. Nuti, *La Copertura* cit.; G. C. Nuti, *Esperienze di restauro* cit.

[29] L'intervento è citato in C. Ceschi, *Teoria e storia del restauro*, Roma 1970, pp. 188- 189; G. Carbonara, a cura di, *Restauro e cemento in architettura*, Roma 1981, p. 398.

[30] ACS, *MPI, AA.BB.AA., divisione II, (1945-55)*, busta n. 67. *Preventivo di Spesa per i lavori da eseguirsi in S. Michele in Borgo*. Comune di Pisa. Spesa prevista L. 2.500.000, Pisa 23 gennaio 1050. Redatto dall'Architetto Piero Sanpaolesi. F.to il soprintendente Piero Sanpaolesi.

[31] I grafici di progetto della nuova copertura della chiesa di San Michele in Borgo a Pisa sono conservati presso l'Archivio generale della Soprintendenza per i Beni Ambientali Architettonici Artistici e Storici per le province di Pisa, Livorno, Lucca e Massa Carrara, foglio 125, m. A *: Chiesa di San Michele in Borgo.*

[32] P. Sanpaolesi, *Discorso sulla metodologia generale del restauro dei monumenti*, Firenze 1973, p. 87, nota 41.

[33] C. Calderini, *Cultura e tecnica* cit., p. 94.

TULLIA IORI

Il boom dell'ingegneria italiana: il ruolo di Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso

Tra gli anni cinquanta e sessanta del Novecento l'ingegneria italiana conosce un periodo di particolare successo internazionale: è un intervallo breve, un'affermazione eclatante che declina velocemente nel corso degli anni settanta. Il momento di massimo favore coincide con gli anni del boom economico, durante i quali anche in molti altri settori l'identità italiana emerge e ottiene riconoscimenti, guadagnati nella competizione internazionale. Nei cataloghi delle mostre internazionali dedicate alle grandi strutture tra il 1949 e il 1979, l'Italia è celebrata e prevale rispetto agli altri paesi europei mentre nell'ultima grande esposizione parigina del 1997, "L'art de l'ingénieur", che riassume i successi dell'ingegneria civile in epoca moderna, l' ingegneria italiana è ormai scomparsa.

Molte concause sono state individuate per comprendere il fenomeno del miracolo economico e molte concause si possono riconoscere nel 'boom dell'ingegneria'[1]. Certamente il trionfo è l'esito di un lavoro continuativo avviato prima della seconda guerra mondiale da tutti gli attori del comparto, protagonisti e non: le scuole teoriche e gli accademici, che hanno saputo convergere già negli anni trenta su linee di ricerca rivelatesi poi vincenti; gli ingegneri progettisti che hanno investito la loro cultura costruttiva nella sperimentazione instancabile anche durante gli anni delle restrizioni autarchiche; le imprese, che hanno conservato una dimensione minuta, assorbendo, educando e organizzando manodopera di carattere artigianale invece che industriale; lo Stato, che, pur tra mille contraddizioni, ha garantito investimenti così rilevanti da rilanciare l'intero settore edilizio e infrastrutturale. Le cause del declino, invece, vanno ancora esplorate a fondo. Certamente la perdita di un'identità tipicamente italiana è alla base del ciclo recessivo. In altri settori creativo-produttivi questa perdita è stata interpretata come una necessaria (se pur inadeguata) contromisura per sostenere il nuovo livello della sfida: per adeguarsi agli standard tecnici raggiunti dai concorrenti, infatti, il prodotto ha dovuto acquisire qualità che lo rendessero accettabile a livello internazionale e perdere parallelamente requisiti locali. È andata così anche nel settore dell'ingegneria? In questo contributo si mira a riconoscere il ruolo, nel 'miracolo italiano' dell'ingegneria, della Scuola, e in particolare di suoi due protagonisti, Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso.

La Scuola italiana: due strategie vincenti

Negli anni del successo delle strutture italiane nel mondo, due ben distinte

linee di pensiero teoriche giustificano le sperimentazioni e danno concretezza scientifica ai brevetti e alle invenzioni formali. I due orientamenti -divergenti nella sostanza, ma identicamente stimolanti per gli adepti e per gli allievi- si sviluppano alle scuole di Gustavo Colonnetti (1886-1968) e di Arturo Danusso (1880-1968), protagonisti della vicenda italiana nel campo delle grandi strutture prima e dopo la seconda guerra mondiale.

Chi sono questi due personaggi? Le loro vite si svolgono in parallelo, anche se Colonnetti è di sei anni più giovane: entrambi laureati in ingegneria civile a Torino con Camillo Guidi (il padre del cemento armato in Italia, per averlo introdotto già dal 1900 nei corsi di studi universitari), mettono a frutto in modo diverso il periodo che precede l'avvio della carriera accademica. Danusso subito dopo la laurea lavora come progettista di strutture, in particolare presso lo studio di Giovanni Antonio Porcheddu, il concessionario Hennebique per l'Alta Italia (è qui che nel 1907 progetta il ponte di Calvene sull'Astico); quindi si mette in luce come dotatissimo teorico primeggiando nel concorso per la ricostruzione di Messina e Reggio Calabria, bandito poco dopo il terremoto del 1908, al quale presenta una memoria sulla dinamica delle strutture. Colonnetti, invece, preferisce continuare la sua formazione, prediligendo l'approccio teorico a quello pratico e si laurea quindi anche in matematica. Vinceranno, a pochi anni di distanza, il concorso alla cattedra di Meccanica applicata alle Costruzioni. Colonnetti, nel 1911, coprirà come professore straordinario il posto di Genova, poi quello di Pisa e infine tornerà a Torino, nel 1919 (dopo aver enunciato e pubblicato, nel 1912, il secondo principio di reciprocità); Danusso, invece, andrà direttamente, nel 1915, alla cattedra della sede politecnica di Milano.

Volendo sintetizzare le articolate figure dei due scienziati, si riconoscono profili praticamente inconciliabili, ma che si muovono a partire dalla stessa convinzione, maturata studiando profondamente le caratteristiche (e le anomalie) della tecnica dominante in Italia, il cemento armato. Tutti e due sono consapevoli, infatti, che la teoria elastica classica, nata per l'acciaio e frettolosamente adattata al nuovo materiale nelle fasi pionieristiche della sperimentazione, non è assolutamente sufficiente a giustificarne il comportamento. E' necessario, per poter esplorare tutte le potenzialità del materiale, studiare le deformazioni 'successive' a quelle elastiche, cioè quelle plastiche. E di considerare nel calcolo statico delle costruzioni non più solo i carichi permanenti o accidentali ma anche gli stati di tensione che si verificano nel corpo in assenza di forze esterne (come quelli determinati proprio dall'intervento di deformazioni plastiche ma anche da altre cause di diversa natura): stati per i quali, entrambi, autonomamente, coniano un neologismo. Colonnetti li chiamerà 'coazioni', termine introdotto nel 1917 insieme alle basi della relativa teoria[2]; Danusso, invece, 'autotensioni', espressione che nel 1934 titola un suo

famoso saggio[3] che chiarisce la portata pratica, applicativa e benefica del fenomeno dell'adattamento plastico.

Pur in questa confluenza di interessi, le divergenze di pensiero tra i due sono sostanziali.

Colonnetti è convinto che sia possibile formulare una nuova teoria matematica che sappia prevedere il reale comportamento delle strutture oltre la fase elastica. La teoria deve essere di carattere assoluto e ricomprendere all'interno tutti i casi particolari: non quindi un metodo di calcolo elaborato per risolvere un problema specifico (come quello, odiato, della omogeneizzazione della sezione di cemento armato) ma piuttosto la "teoria generale dell'equilibrio elasto-plastico", o meglio ancora la "teoria generale delle coazioni", che comprende elegantemente sia l'equilibrio elasto-plastico che il fluage (quindi l'equilibrio visco-plastico), la precompressione ed eventuali altre possibili coazioni naturali o artificiali.

Questo ottimismo sulle potenzialità di sintesi della teoria si abbina con la convinzione che l'ingegnere debba avere un ruolo attivo nel comportamento delle costruzioni: le strutture, secondo Colonnetti, infatti, vanno "addestrate" per rispondere alle sollecitazioni in modo ottimale. E questo si può ottenere imprimendo ai corpi coazioni artificiali, preventivamente determinate con il calcolo, capaci di correggere lo stato di equilibrio naturale delle strutture stesse. "La più brillante applicazione concreta" del concetto di coazione viene riconosciuta nell'opera di Eugene Freyssinet e più in generale nella precompressione, che Colonnetti provvederà a pubblicizzare in Italia già alla fine degli anni trenta: precomprimere non significa forse insegnare al cemento a resistere a sforzi di trazione?

Danusso, al contrario, sostiene che non sia necessario insegnare alle strutture come comportarsi ma piuttosto lasciare che, spontaneamente, si adattino ai carichi sopperendo anche ad eventuali lacune nella conoscenza del progettista. Questa fiducia nelle risorse intrinseche delle opere matura dalla consapevolezza che proprio l'intervento delle deformazioni plastiche, e delle conseguenti autotensioni, possa riuscire favorevole, "in quanto tende a scaricare parti della struttura, che in regime elastico risulterebbero eccessivamente caricate, se vi sono altre parti di essa, inizialmente meno impegnate, in cui gli sforzi possono emigrare a beneficio della stabilità dell'insieme". La capacità di adattamento plastico, congenita nelle strutture complesse e più volte iperstatiche, è però di difficilissima previsione teorica. Danusso continuamente ricorda "il cumulo di restrizioni che la teoria è costretta ad imporsi per ridurre a schema di calcolo gli ordinari problemi e il conseguente suo difetto di validità". Scettico sulla possibilità di interpretare matematicamente, a tavolino, la risposta della struttura, si affida ad una "macchina calcolatrice degli sforzi", cioè al 'modello in scala ridotta', da sottoporre a prove di carico in laboratorio, che simula, indica, mostra il comportamento dell'opera e, se correttamente stimola-

to, si comporterà proprio come sarà capace di fare il suo emulo in scala reale.

Per comprendere meglio la diversa natura del loro approccio scientifico, è utile confrontare il loro modo di porsi nei confronti del ponte Risorgimento, quell'ardito arco ribassato che dal 1911 è stato posto al centro del dibattito sulle effettive potenzialità del cemento armato.

Danusso, che si era trovato coinvolto nelle fasi progettuali dell'opera, lo richiamava spesso per dimostrare i limiti della teoria e dei teorici. Derideva in più occasioni quegli scienziati che, dopo aver rifatto i calcoli del ponte secondo la teoria classica dell'elasticità, ne invocavano la demolizione per pericolo imminente di crollo: semplicemente non si erano accorti che il problema risiedeva nell'inadeguatezza della teoria e non dell'opera, che anzi aveva superato un collaudo severissimo, e ormai anche la prova del tempo. Ricordava spesso quale fosse stato il criterio di dimensionamento di Hennebique: occorreva procedere "per tentativi alla ricerca di quella fra le curve funicolari dei carichi che meglio si conciliasse colla stabilità" e accettarla anche in deroga alla teoria, ammettendo che "a render la soluzione possibile" provvedesse la natura mediante l'adattabilità plastica[4].

Colonnetti, a sua volta, in molto scritti citava esattamente le parole di Danusso al solo scopo di dimostrare, pur riconoscendo il valore della genialità intuitiva, l'eccessiva arditezza del procedimento e l'alchimia di quel metodo empirico. Ribadiva, al contrario, la necessità di formulare una teoria razionale che consentisse di procedere "ad una vera e propria scelta dello stato effettivo di equilibrio, tra gli stati equilibrati, subordinandola all'analisi delle deformazioni plastiche"[5]. Questo per poter offrire a tutti i progettisti, anche ai meno dotati di 'intuito', gli strumenti per ben dimensionare le strutture ed addirittura per condizionarne il comportamento mediante coazioni impresse artificialmente.

Si coglie facilmente adesso come entrambe le posizioni siano state in ugual modo stimolanti per gli ingegneri italiani. Danusso, per via della sua esperienza giovanile di progettista, esplora il comportamento delle strutture oltre la "prigione" del calcolo. Per questo la sua scuola è sempre pronta a collaborare con ingegneri - come Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi, Sergio Musmeci - che per naturale inclinazione non riescono a rimanere confinati nelle soluzioni già codificate. Colonnetti, in parallelo, stimola i progettisti a non attendere passivamente gli stati di coazione che si dovrebbero innescare autonomamente nelle strutture ma ad attuare immediatamente quelle coazioni artificiali capaci di assicurare distribuzioni più favorevoli delle tensioni interne. Per questo promuove, a tutti i livelli, con infaticabile impegno, la diffusione della tecnica della precompressione, garantendo ad un folto gruppo di strutturisti italiani un ruolo di primo piano nel panorama internazionale specifico.

Danusso, che si è convinto rapidamente (proprio come Eduardo Torroja

in Spagna) che "il modello avvicina la natura meglio del calcolo", fonda già nel 1931 il laboratorio "Prove modelli e costruzioni" all'interno del Politecnico di Milano, grazie al generoso contributo delle società Italcementi e Montandon. Occorreranno due anni per istruire il personale, sistemare e attrezzare i locali. Poi nel 1933 entra in funzione la sezione fotoelastica, all'avanguardia, e nel 1935 la sezione grandi modelli (avviata per indagini sulle dighe e poi completata nel 1939 con uno speciale impianto per esperienze su condotte in pressione). Lo scopo del laboratorio è dichiaratamente quello di indagare "l'entità dei divari, nello stato di sollecitazione, tra i risultati effettivamente riscontrati e quelli desumibili dai calcoli tecnici", sottintendendo che questi divari saranno notevoli. I modelli fotoelastici sono per Danusso "traduttori sensibili e validamente espressivi del quadro delle tensioni" e si prestano alle prime sperimentazioni strutturali sofisticate (come quelle elaborate per il progetto di concorso del Palazzo del Littorio, o per la trave metallica a doppio gomito per la copertura della Stazione di Firenze). Ma hanno il difetto di essere bidimensionali e di operare esclusivamente in campo elastico: così per i ponti iperstatici (come il Duca d'Aosta a Roma) o per altre strutture particolarmente complicate (come la prima serie di aviorimesse di Nervi ad Orvieto; o l'arco dell'Impero progettato per l'E42 a Roma) vengono preparati modelli in scala (quello per le aviorimesse sarà il primo), di cemento o di celluloide. Proprio il sodalizio con Nervi porterà lustro alla scuola di modellizzazione perché l'ingegnere resterà fedele a questo tipo di verifica per tutta la sua lunga carriera progettuale.

Colonnetti, dal canto suo, dopo aver messo a punto già nel 1937 la teoria dell'equilibrio elasto-plastico, nel 1939, durante un breve giro di conferenze a Parigi (dove si è rifugiato il suo allievo Franco Levi, a seguito delle leggi razziali), è affascinato dalle ricerche di Freyssinet, e comincia a diffondere sulle riviste italiane "la nuova tecnica del cemento armato", la precompressione, che il francese ha definito "una rivoluzione nell'arte di costruire". A settembre di quell'anno elabora un sistema di calcolo per le travi ad armature preventivamente tese; a dicembre deposita un brevetto per travi precompresse (che sintetizza il meglio dei sistemi messi a punto da Freyssinet e, in Germania, da Dischinger e da Hoyer), completato nel 1941 da un originale (quanto 'casalingo') dispositivo di trazione e ancoraggio. Non ha nessun interesse a sfruttare commercialmente l'invenzione, tanto che invece di tenerla segreta la pubblica più e più volte per stimolare i progettisti ad imitarlo.

Ma non è certo il momento adatto: in pieno regime autarchico, dopo una serie di disposizioni sempre più restrittive, proprio a settembre del 1939 il cemento armato, considerato non autarchico, viene proibito nelle costruzioni sia pubbliche che private (con appena qualche eccezione per opere in corso o di speciale interesse collettivo). Colonnetti,

divenuto direttore del "Centro studi sui materiali da costruzione" fondato nel 1938 in seno al CNR, cerca di far autorizzare, in deroga alle leggi, la sperimentazione di strutture in cemento armato precompresso ma senza successo. Nel 1940 l'entrata in guerra dell'Italia sancisce definitivamente il blocco dell'attività edilizia.

Dalla ricostruzione al boom

I lunghissimi anni di guerra, e soprattutto i mesi in attesa della liberazione da parte degli alleati, saranno eccezionalmente proficui per l'ingegneria italiana. L'inattività coatta, infatti, abbinata all'esperienza e all'abilità accumulata, producono risultati insperati. Sono, infatti, gli anni in cui si avviano le sperimentazioni sul ferrocemento di Nervi, stimolate proprio da Danusso, e quelle sulla precompressione di Morandi e di Carlo Cestelli Guidi, indirizzate dalle iniziative di Colonnetti, che avranno esiti sorprendenti durante la ricostruzione.

Ma i due scienziati avranno un ruolo decisivo anche nel rilancio dell'ingegneria italiana nell'immediato dopoguerra.

Colonnetti, da sempre palesamente antifascista, è fuggito in Svizzera subito dopo l'armistizio, il 18 settembre 1943, e con lui molti altri a rischio di deportazione. Durante l'esilio non rimane certo inattivo: Colonnetti diviene Rettore del Campo di Internamento Universitario a Vevey, dove raccoglie più di 200 rifugiati (civili e militari), ex studenti di ingegneria e architettura, per i quali organizza, con la collaborazione dell'Università di Losanna, dei veri e propri corsi accademici, che provvederà a far riconoscere dalle università italiane alla fine della guerra. (Saranno suoi studente, fra i tanti, Silvano Zorzi eAldo Favini.) Nel breve periodo trascorso sul lago Lemano avvierà alla tecnica del cemento armato precompresso tutti i suoi allievi, insegnando loro i presupposti teorici, ma anche pratici, del materiale rivoluzionario.

Proprio a Colonnetti sarà affidato il compito di ricostituire la ricerca in Italia: prelevato il 7 dicembre 1944 su invito del Governo provvisorio costituito dopo la liberazione di Roma, insieme a Einaudi e ad altri (in tutto sull'aereo militare vi saranno cinque parlamentari e cinque universitari), rientra per assumere l'incarico di presidente del CNR. Subito al lavoro, ne prepara il riordino (e il regolamento è emanato già a marzo del 1945): al Consiglio viene affidato per legge il compito di curare "nel campo scientifico tecnico, lo studio, la documentazione e la sperimentazione per i problemi attinenti la ricostruzione". E la ricostruzione dei ponti e delle infrastrutture distrutti durante il conflitto diverrà il terreno di sperimentazione per più di una generazione di ingegneri.

Le prime linee di sviluppo promosse da Colonnetti in seno al CNR coinvolgono ovviamente il cemento armato precompresso. Così, con effetto già dal 1° luglio 1945, fonda, con sede a Pollone e a seguito di una convenzione con il Politecnico di Torino, il "Centro di studio sugli stati di coazione elastica", di-

retto dall'ordinario locale di scienza delle costruzioni (quindi Colonnetti stesso) mentre l'incarico di direttore facente funzioni è affidato a Levi, appena rientrato dalla Svizzera. Il centro avrà un ruolo decisivo per circa quindici anni nella ricerca, nella diffusione e nella verifica delle strutture realizzate con la nuova tecnica.

Sarà sotto i suoi auspici che, nel 1947, Levi e Giulio Pizzetti pubblicano il primo manuale italiano sul cemento armato precompresso (si contenderà il primato con un libello di Cestelli Guidi, pubblicato sempre nel 1947). Ma il ruolo più stuzzicante affidato al Centro arriverà alla fine di quello stesso anno, quando per iniziativa del CNR vengono emanate le prime norme per l'impiego del cemento armato precompresso. Sintetizzate in quattro brevi articoli, prescrivono l'obbligo di un esame preventivo del progetto, completo di calcoli e procedimenti costruttivi, da parte di un'apposita Commissione del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici, che coincide con il Centro stesso. La normativa, pur breve, è un capolavoro: Levi e i suoi hanno a disposizione un immenso laboratorio a cielo aperto costituito da tutti i cantieri attivi, con facoltà di disporre prove e verifiche a carico delle imprese. In compenso i progettisti godono di consulenti d'eccezione, prodighi di consigli e suggerimenti al punto da contribuire indiscutibilmente al successo delle prime realizzazioni con la nuova tecnica.

La sponsorizzazione del cemento armato precompresso da parte di Colonnetti non coinvolge tutti i gruppi di ricerca. E non comporta l'accantonamento di altre sperimentazioni, soprattutto quella sul cemento armato ordinario che anzi viene sviluppato oltre le ragionevoli previsioni proprio per mantenere competitività con la nuova tecnica. Tra coloro che rimarranno sempre alla larga dalla "tecnica delle coazioni impresse" (proprio per avversione dichiarata all'artificiosità del procedimento che costringe costantemente il cemento - così come l'acciaio di pretensione - sotto sforzo anche in assenza di carichi esterni) spiccano Danusso e la sua scuola.

Danusso già al primo ricostitutivo convegno di Torino del 1946 (organizzato proprio dal Centro Studi di Colonnetti) presiede la seduta dedicata alle grandi strutture, ma solo per introdurre l'intervento di Nervi e Guido Oberti: saranno loro a ricordare l'importanza della ricerca sperimentale su modelli, integrando "il loro dire con proiezioni di costruzioni recenti arditissime e piene di fascino", in particolare il Salone B al Parco del Valentino di Torino, completato nel settembre del 1948.

Ad hoc per Danusso è stato creato un altro centro studi, di ricerche teoriche e sperimentali sulla stabilità delle costruzioni, però con assai pochi fondi. Ma il professore saprà trovare i suoi finanziatori, grazie soprattutto ad uno dei progetti più ambiziosi, oltre che controversi, del secondo dopoguerra: lo sfruttamento elettrico del bacino imbrifero del Piave, dato in concessione nel marzo del 1948 alla SADE (Società Adriatica di

Elettricità) sulla base di un programma elaborato già alla fine degli anni trenta. Per questo grande piano, che avrebbe dovuto risolvere parte dei problemi energetici del Paese, occorreva realizzare una serie di sbarramenti artificiali: il primo, a Pieve di Cadore, previsto con una diga dal funzionamento statico ad arco-gravità. Il procedimento di calcolo disponibile in quel momento non era però compatibile con la variegata geometria dell'opera. Danusso, coinvolto dal progettista Carlo Semenza, propone allora di verificare il progetto con un modello, in scala 1:40, così enorme quindi da richiedere un nuovo edificio capace di contenerlo. Sarà l'Italcementi (poi fornitrice del materiale per le dighe) a donare un terreno, a Bergamo, e la ditta Torno (che aveva già vinto l'appalto di costruzione dello sbarramento) a realizzare la vasca di contenimento e le strutture del nuovo laboratorio. La SADE provvederà all'acquisto delle apparecchiature e alle spese per le prove. Si fonda così l'ISAC (Istituto sperimentale per Applicazioni in Calcestruzzo) e le prime verifiche sul modello sono effettuate già alla fine del 1948. Quando, nel 1950, Danusso deve lasciare l'Università per limiti di età (ha infatti compiuto 70 anni), può liberamente continuare ad occuparsi del suo nuovo laboratorio, ormai struttura privata autonoma: nel 1951 viene così fondato, come società per azioni, l'ISMES (Istituto sperimentale modelli e strutture), che diviene il punto di riferimento per la sperimentazione sulle dighe in tutta Europa. Danusso ne è il presidente, Oberti il direttore. Oltre alle dighe, Danusso avrà modo di fare ricerche sperimentali anche su altre strutture complesse, come quelle dei due grattacieli milanesi: il Pirelli (che progetta insieme a Nervi) e la torre Velasca, per esempio. Al convegno promosso a Venezia dall'Accademia dei Lincei per il cinquantenario della fondazione della SADE (nell'ottobre del 1955) sul tema "I modelli nella tecnica", Danusso giustificava l'ancora scarsa diffusione in Italia del modello come strumento di giudizio (se non in circoli ristretti, "dove si cammina all'avanguardia"), proprio a causa del contrasto tra "la visione sintetica dell'intuito che guarda il fenomeno nell'insieme della sua obiettività fisica; e la visione analitica della scienza che, entro i confini degli schemi ideali di cui dispone, controlla, precisa, afferma. Così avviene che alcuni, legati per tradizione a questi schemi, trovino nei calcoli il riposo della perfezione logica e vi si adagino, diffidando dell'intuito come di una buccia di limone che faccia scivolare verso l'empirismo".

Completata la fase vera e propria della ricostruzione, mirata al ripristino e all'integrazione del patrimonio distrutto dai bombardamenti, si avvia in Italia, a partire proprio dalla metà degli anni cinquanta, una campagna senza precedenti di investimenti nelle opere edilizie e infrastrutturali. L'Autostrada del Sole, gli impianti sportivi per le Olimpiadi invernali di Cortina d'Ampezzo del 1956 e per quelle estive di Roma del 1960, l'aeroporto internazionale di Roma a Fiumicino, i padiglioni per le celebrazio-

ni del Centenario dell'Unità d'Italia a Torino nel 1961 sono solo alcune delle strutture che fanno guadagnare all'Italia un ruolo di primo piano nel panorama dell'ingegneria internazionale. Tra i progettisti più famosi: Nervi e Morandi, maestri nell'intuizione di nuove forme strutturali, spesso verificabili solo mediante modello, ma anche un esercito di ingegneri (come Zorzi, Musmeci, Krall, Carè, Giannelli, Cestelli Guidi), capaci ugualmente di conferire un'identità tipicamente italiana alla vasta produzione di quegli anni. Mentre si rimanda ad altri testi per comprendere l'importanza e la dimensione del fenomeno, si ricorda che i successi di quel periodo hanno radici lontane e devono molto alla ricerca e alla sperimentazione avviata dalla scuola teorica, come dimostra il seguito della vicenda italiana.

Dalla congiuntura all'austerity

In campo economico l'anno della svolta è il 1963. Nell'Italia del boom si affaccia la congiuntura e il ritmo della società deve farsi improvvisamente più pacato. Le ragioni sociali, politiche, economiche sono articolate: gli effetti si risentono immediatamente anche nel mondo dell'ingegneria (bersaglio preferito della critica sociale che guarda con crescente malcontento alla 'cementificazione' che ha ormai trasformato le città e il territorio). Proprio in occasione dell'inaugurazione dell'Autosole, nell'ottobre 1964, Aldo Moro pronuncia un famoso discorso: praticamente un appello al popolo italiano a collaborare per affrontare una crisi che sembra solo temporanea, ma che invece non farà che aggravarsi.

Molte altre opere pubbliche erano state programmate e messe in cantiere (l'autostrada Salerno-Reggio Calabria o la metropolitana di Roma, per esempio) ma in fase realizzativa si avverte ormai un cambiamento di corso: ritardi, scandali, inefficienza, burocrazia, soffocano la qualità della progettazione.

Che ne è stato nel frattempo della ricerca teorica e sperimentale?

Colonnetti nel 1956 ha lasciato la presidenza del CNR per raggiunti limiti di età. Rimane operativo ancora a lungo – nel 1960 vince con Morandi il concorso internazionale bandito dall'Unesco per il salvataggio dei templi di Abu Simbel in Egitto. Ma molte delle iniziative del CNR che avevano sostenuto la ricerca nel settore dell'ingegneria e della costruzione perdono via via di vigore. All'inizio degli anni sessanta vengono ristrutturati i centri studi e rivisti i ruoli delle commissioni. A partire dal 1961, il Centro sugli stati di coazione elastica non è più, di fatto, il consulente unico per l'esame preventivo dei progetti in cemento armato precompresso. Finita la fase pionieristica della sperimentazione sul campo, se ne avvia un'altra, assai più punitiva, di controllo e sorveglianza. Una nuova commissione viene istituita in seno al Ministero dei Lavori Pubblici. Riferendosi al lavoro di questa commissione, Cestelli Guidi ricorda che, nel 1963, l'ANICAP istituì un gruppo di verifica per "esaminare la preoccupante situazione tecnica economica dello

sviluppo delle opere in c.a.p. che si era venuta a creare a seguito di intralci burocratici provenienti da forze sotterranee non meglio identificate".

Anche l'ISMES lentamente perde prestigio. Intanto, il 9 ottobre 1963, si sbriciola il monte Toc, e la diga del Vajont, con i suoi 265 metri di altezza da record, completata nel 1961 come uno degli ultimi tasselli del progetto Piave, diviene il simbolo della tragedia (si contano circa 2000 morti): anche se la struttura, testata da Oberti con tre modelli a diversa scala a partire dal 1958 e poi mentre si completava l'invaso, ha resistito egregiamente all'impatto della frana, certamente la sua costruzione ha alterato gli equilibri instabili del territorio. Danusso, nel frattempo, ha lasciato la presidenza per una grave malattia: il suo ruolo viene affidato a Nervi, che lungi dal considerarlo un incarico onorifico, farà del suo meglio per salvare l'istituto.

Nonostante il prestigio che l'anziano ingegnere ancora riesce a trasmettergli, il modello fisico è destinato a cedere il passo a quello matematico: lo sviluppo dell'algebra matriciale e l'introduzione degli elaboratori elettronici portano alla diffusione di metodi numerici e alla messa a punto di codici di calcolo automatici. Nel 1969 l'Istituto apre una sezione di studio proprio sul metodo agli elementi finiti per cercare di allinearsi alle sperimentazioni già evolute negli altri paesi europei, ma non è più certo all'avanguardia.

La congiuntura, intanto, lascia il posto all'austerity. Il modello di sviluppo capitalistico italiano sembra ormai arrivato al capolinea. Quelli successivi saranno anni difficili in molti settori della vita italiana, non certo solo per l'ingegneria e per le opere pubbliche, che comunque ne risentono al punto di perdere la loro identità e riconoscibilità nel panorama internazionale. E ne risente la scuola che, perduti i suoi capisaldi (Colonnetti e Danusso scompaiono a pochi mesi di distanza nel 1968), non sembra più in grado di indicare linee di ricerca e di sperimentazione progettuale capaci di ridare agli ingegneri italiani il lustro degli anni del miracolo.

[1] Per tutti gli approfondimenti su questo tema si rimanda a T. Iori, *L'ingegneria del miracolo italiano*, in T. Iori, S. Poretti (a cura di), *Ingegneria italiana*, numero monografico di «Rassegna di Architettura e Urbanistica», 121/122, 2007, pp. 33-59. Si rimanda al detto volume anche per la bibliografia dettagliata, che qui si riduce all'essenziale.

[2] G. Colonnetti, *Su certi stati di coazione elastica che non dipendono da azioni esterne*, «Rendiconti della R. Accademia dei Lincei», giugno 1917, pp. 43-47.

[3] A. Danusso, *Le autotensioni. Spunti teorici ed applicazioni pratiche*, «Rendiconti del seminario matematico e fisico di Milano», VIII, 1934, pp. 217-246.

[4] A. Danusso, *Le autotensioni…*, cit., p. 243.

[5] G. Colonnetti, *Scienza delle costruzioni*, Einaudi, Torino 1941, p. 449.

EDOARDO BENASSAI

*Strutture di accosto nei porti marittimi**

Accosti per merci alla rinfusa

Nei porti più frequentati esistono pure calate specificatamente adibite ai traffici, sia di transito e sia pure di deposito, delle *"merci di massa alla rinfusa", o "rinfuse" "bulkcargo*. Esse possono distinguersi per diversità di impianti e di merce, in:

a) *calate o terminali per rinfuse liquide* quali petrolio greggio, idrocarburi;

b) *calate, o terminali per rinfuse secche;* le rinfuse secche distinte a loro volta in rinfuse secche *da benna* e rinfuse secche *da silos;*

c) calate, o terminali, per traffico gas liquefatti, prodotti chimici liquidi, prodotti pericolosi.

È interessante ricordare come le calate, sia per *merci varie* che per *rinfuse a* seconda che siano aperte alla libera frequentazione delle navi e delle merci di operatori e destinatari più diversi, ovvero che siano legate ad un determinato circuito commerciale, a determinate compagnie marittime, od enti industriali, vengono definite pubbliche *(Multi User Terminal o Multi User Berth)* ovvero riservate; *preferenziali in autonomia funzionale.*

Si tratta di caratteristiche operative molto importanti ai fini sia della progettazione ma più in particolare dell' esercizio, perché vi corrispondono come è intuibile flussi di traffico di intensità composizione e regolarità ben diversa, con la conseguenza di fornire rendimenti, o *grado di utilizzazione* degli impianti, sensibilmente superiori per gli accosti riservati.

È interessante iniziare con un cenno alla struttura della *calate per merci varie* impiegate correntemente sino a tutto anni 50, ed in parte tuttora.

In Fig. 1 si riporta la sezione trasversale delle due calate impiantate ai lati di uno sporgente del Bacino di Sampierdarena del porto di Genova, - *disposizione tradizionale.*

Come si può notare ciascuna calata ha larghezza di m 70 (pari a metà larghezza dello sporgente).

Caratteristica la presenza delle gru con cavalletto a capra zoppa. portata al gancio < 3 t e che condizionano la produttività della calata.

Con l'impiego sistematico delle grandi unità di carico (contenitori, automezzi) le calate del tipo ora ricordate, che, ove sono ancora in uso, vengono definite di *tipo tradizionale,* vennero sostituite sia dalle già ricordate *calate o terminali* per *merci containerizzate* sia dalle più articolate *calate polivalenti, o multipurpose.*

Nell'impianto dei porti commerciali è da far cenno alle calate specializzate per la movimentazione delle merci alla rinfusa, "bulk cargo". Le rinfuse secche, o solide, dry bulk cargo, come già

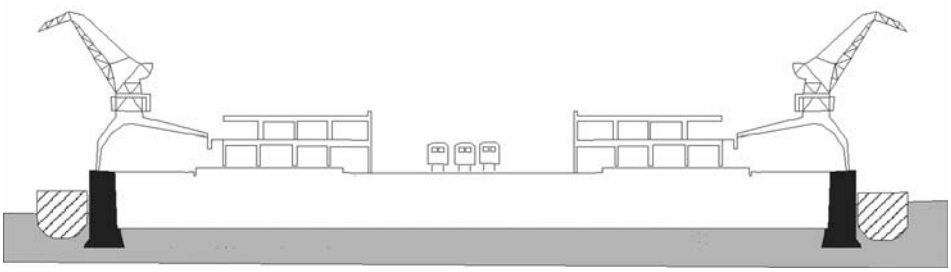


Fig. 1 – Sezione trasversale sporgente del bacino di Sampierdarena – Genova

ricordato sono spesso ripartite - con riguardo alle apparecchiature di movimentazione e deposito nelle calate - in rinfuse secche da benna, quali carboni (sale, rottami di ferro, e rinfuse secche da silos, quali cereali, semioleosi, cementi, etc. Nei principi essenziali le calate presentano tuttora le caratteristiche d'impianto delle calate realizzate prima degli anni '50, radicalmente potenziate. Ovviamente, la potenzialità degli impianti di cardiscarica e di messa a deposito, devono essere in accordo con i grandiosi aumenti dei volumi di merce trasportata dalle grandi navi specializzate e con i grandi progressi delle attuali tecnologie di movimentazione delle rinfuse.

Nella Fig 2 sono poste in evidenza le principali attrezzature di una calata per scarico rinfuse da benna (carboni, minerale e similari):

- grande gru, o ponte scaricatore a benna, corrente su binario di banchina parallelamente alla fiancata della nave.

- trasferimento della rinfusa scaricata al parco di deposito a mezzo di *convogliatori a nastro*;

- messa a parco (e ripresa poi per la spedizione) con potenti attrezzature mobili su rotaia *(stacker, stacker-reclaimer).*

Le apparecchiature di trasferimento e di messa a deposito possono raggiungere la stessa resa oraria di quelle di scarico a lato della nave, che diventa fattore di qualifica per l'operatività dell'intera calata. È evidente la semplicità e linearità dell'impianto, in pieno accordo con i criteri della moderna portualità; con impianti potenti si possono scaricare navi di portata 150.000 DWT/ 200.OOO DWT in meno di tre giorni (compresi tempi di ormeggio e disormeggio).

Negli impianti più recenti all'impiego degli scaricatori a benna, ad *azione* tipicamente discontinua, si vanno sostituendo quelli ad *azione continua*, con azione di principio, simile a quella da tempo in azione per il trattamento di merce a pezzatura minuta o in polvere (granaglie, minerale in polvere, cementi). Un ulteriore decisivo progresso sia sotto il profilo funzionale che di protezione ambientale si raggiunge con applicazione del cosidetto *"slurry system"*, per il trasporto di minerali e carbone in pezzatura minuta miscelata con acqua e cosi reso movimentabile con sistemi di pompaggio in condotte. Le esigenze primarie da osservare per strutture da adibire al traffico delle navi rinfusa sono:

- *profondità dei fondali* degli accosti, a motivo del gigantismo caratteristico delle navi porta rinfuse. I fondali dell'altezza di m 10/11 possono consentire l'accosto a navi cariche sino alle 40/45000 DWT di portata;

- *ampiezza dei piazzali* di deposito, perché in un impianto commerciale non è dato prevedere un allontanamento immediato di tutta la merce scaricata;

- *circolazione dei convogli ferroviari* della maggiore efficienza, con adeguata dotazione di binari di calata e *linee di raccordo veloci ai parchi ferroviari* di smistamento (in dipendenza dal traffico viario e cittadino).

Un più agevole e spedito servizio alla nave ed alla merce si può ottenere nei terminali specializzati per il trattamento delle *rinfuse liquide:* oli minerali: *grezzi* (petroli grezzi) e *raffinati* (nafta, olio combustibile, gasolio, benzina, oli minerali lubrificanti) effettuati per i grezzi con navi fino alle 250.000 ~ 400.000 DWT e più e per i prodotti raffinati con navi minori, portate sino alle 60 000-120.000 DWT. Per l'accosto sono sufficienti pontili di *tipo discontinuo,* la movimentazione della merce è affidata a *sistemi di pompe* che hanno resa elevata in proporzione della portata delle navi, cosicchè di norma in 18/24 h possono essere effettuate tutte le operazioni di sbarco o imbarco, qualunque sia il volume di merce trasportata dalla nave.

Di consueto, sempre mediante pompaggi in condotte (oleodotti) la merce può essere avviata anche a grande distanza nell'hinterland, e l'accosto avere disponibilità di stoccaggio contenuto

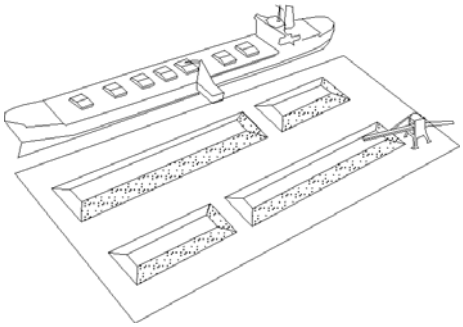


Fig. 2 – Movimentazione di merci da nave bulk cargo

(in proporzioni alla portata delle navi che lo frequentano). L'impianto di terminal per i prodotti liquidi grezzi, ed in particolare quelli raffinati, esige l'osservanza di particolari attenzioni per la *difesa antincendio* dell' impianto e per la *difesa dell'ambiente* (inquinamento delle acque marine, rischi di incendi, di esplosioni per le zone vicine, ecc.). Cautele accresciute sono richieste per terminali adibiti al traffico di navi speciali per il trasporto di gas *liquefatti sia naturali* (essenzialmente il metano) e *sia derivati del petrolio* (propano, propilene, butano, ammoniaca, cloruro di vinil, ed altri).

Accosti per contenitori

Movimentazione verticale

Gli accosti per navi portacontainer, *containership cellulari,* caratterizzate dalla movimentazione verticale dei container, assunsero ben presto la configurazione indicata nella Fig. 3.

L'accosto per nave sino alle 35.000 DWT realizzato nella grande isola artificiale, di Port Island, a Kobe è in eser-

cizio dal 1977. La calata affianca cinque terminali - eventualmente interagenti - per uno sviluppo di 500 m. Si può rilevare la pianta rettangolare di superficie complessiva m 300 x 350 = 10.5 ettari comprendente una banchina di larghezza m 40, sulla quale corrono due sole grandi gru, ampia zona di deposito all'aperto (container yard) di 7 ettari, ai margini un limitato gruppo di fabbricati tra cui: officina manutenzioni mezzi operativi e container, direzione, ingresso. Condizionanti per l'operatività del terminai sono anzitutto le due grandi gru dette portainer, e la superficie di deposito - senza confronto superiori a quanto previsto nelle già cennate calate tradizionali per merci varie, - la gran facilità e scioltezza dei collegamenti viari e ferroviari.

Le gru portainer hanno portata di 40/50t, sbraccio lato mare adeguato alla

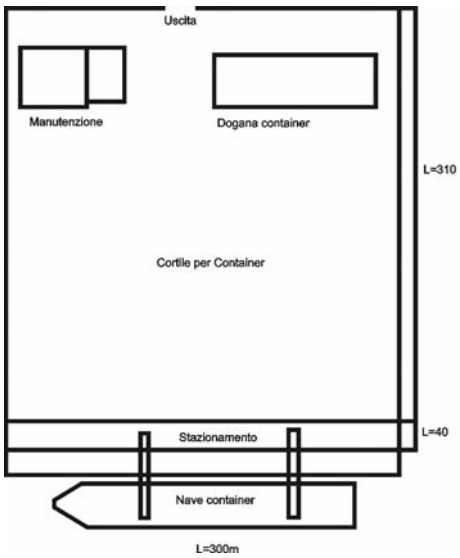


Fig. 3 – Accosto per contenitori a Port Island a Kobe

larghezza delle navi portacontainer delle varie generazioni, si arriva sino a 35/40 m e più, lato terra sbraccio 22/30 m, notevole altezza per superare l'ingombro della nave a pieno carico di contenitori vuoti, scartamento 18/27 m.

La gru è in grado di afferrare e sollevare il contenitore con un particolare telaio, *spreader*, fornito di freni elettromagnetici; l'operazione può essere svolta dal gruista (La Spezia, Fig. 4). Con orario di lavoro di 24 h di solito *applicato in tutti i terminali efficienti* si raggiunsero così le 14.000 t/giorno per *un accosto,* valori senza confronto superiori a quelli delle calate tradizionali. I contenitori possono esser collocati dalla gru sui vettori terrestri ma più frequentemente vengono messi a deposito sul grande piazzale, con ricorso a sistema diversi di movimentazione, che, in via semplificata possono esser ricondotti ai tre schemi della Fig. 5: movimentazione su *carrelli,* o *trayler*, a mezzo *gru a cavaliere* (*straddle carrier*), con apposite gru a portale (*transteiner*). ù

Ammessa una portata *media* di merce di un TEU pari a 10 t**,** si sono così ottenuti con i nuovi traffici rese dalle 200/300 t/gru/h e, con *due* gru, 400/600t/h *per nave*, rese più elevate con i tipi più recenti di gru.

Nella pratica sono usati spesso sistemi misti e nei grandi terminali il sistema più adottato è quello a transteiner. Ovviamente col ricorso all'appilamento dei container si può ridurre sensibilmente la richiesta di area di deposito, però diminuisce pure la flessibilità e la operatività dell'impianto.

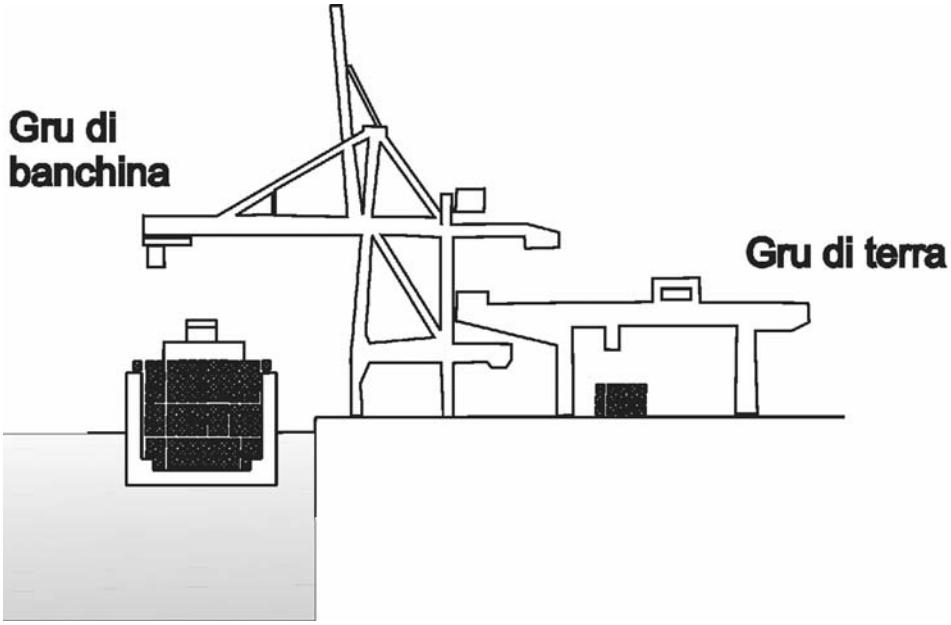


Fig. 4 – Movimentazione contenitori nel porto di La Spezia

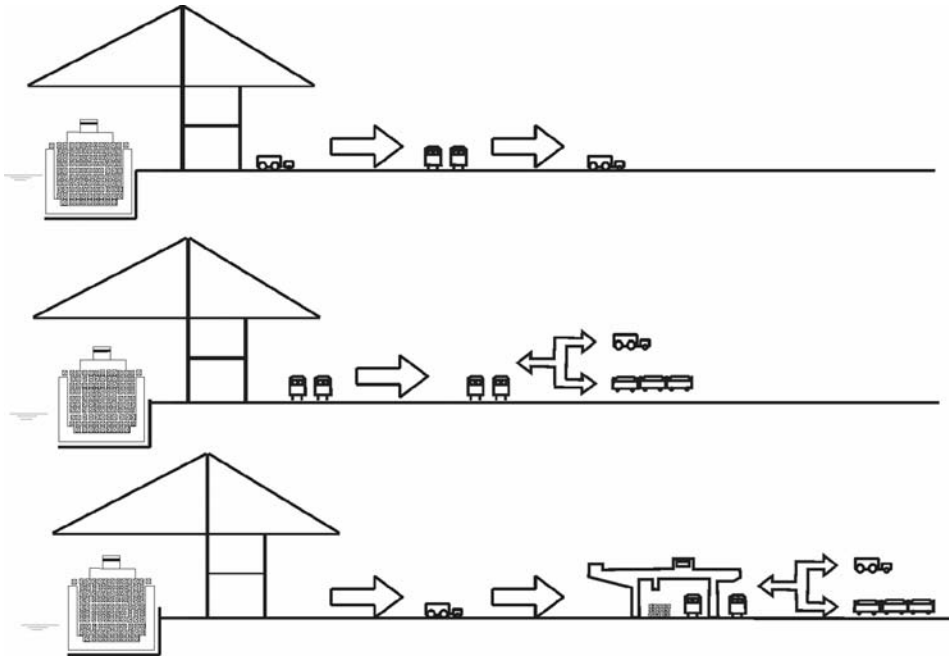


Fig. 5 – Diversi sistemi di movimentazione di contenitori

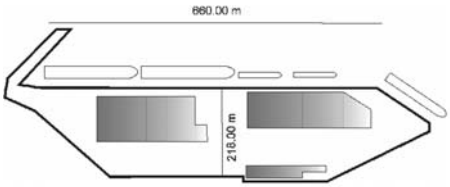


Fig. 6 – Terminali per contenitori ad Amburgo

Di norma non si superano mediamente i due container pieni sovrapposti. In ogni caso, con l'impiego di navi Lo/lo della terza ed attualmente anche quarta generazione è ben presto continuata a crescere l'ampiezza dell'area di calata, (Fig. 6).

La Fig. 7 presenta lo schema di progetto di un nuovo terminal container del porto di Amburgo.

Ad Anversa sono in esercizio due calate lunghe rispettivamente 2600 m e 2150 m e della larghezza di circa 600 m a cui si aggiungono le aree richieste dagli impianti viari e ferroviari di servizio. Di importanza basilare è il tempo di sosta media, strettamente correlato all' operatività non solamente del terminale ma pure dell'intera catena di traffico. È infatti da rilevare come il costo d'esercizio di una nave full container è di per se stesso assai più elevato di quello delle navi tradizionali, riferito al peso di merce trasportato e per vari motivi:

- elevati oneri di ammortizzo del maggior costo di costruzione;
- minore resa di carico della nave perché la quantità di merce trasportata su una full containers è minore di quella di una nave tradizionale di eguali dimensioni;
- le più elevate velocità etc.

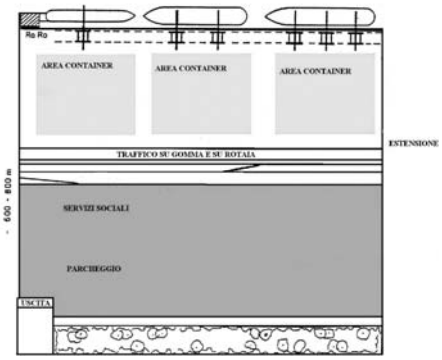


Fig. 7 – Piazzali per contenitori nel porto

Per ottimizzare il costo complessivo dei traffici occorre pertanto che molte navi scalino il porto, ma che si abbiano:

- soste brevissime delle navi (due/tre giorni) e dei contenitori nel sistema portuale;
- che le navi arrivino e ripartano con buona percentuale di containers pieni.

Movimentazione orizzontale

Decisamente più semplice l'impianto delle calate per il traffico navi a movimentazione orizzontale dei carichi: container, od in generale temporanee unità di carico, (autocarri, etc.). Con ulteriore innovazione rispetto alle navi tradizionali la merce unitizzata è mobile, o resa mobile, può essere caricata, o scaricata su rampe mobili, (Fig. 8).

Le navi Ro/ro sono assai versatili; e la movimentazione dei contenitori e dell'unità di carico può esser effettuata in vari modi: su carrelli con l'aiuto di trattori che restano sulle navi, restano sulla nave solo i carrelli, non restano nè carrelli nè trattori. Sulle navi Ro/ro si assumono a bordo pure partite di merci varie a caricamento verticale (frequente-

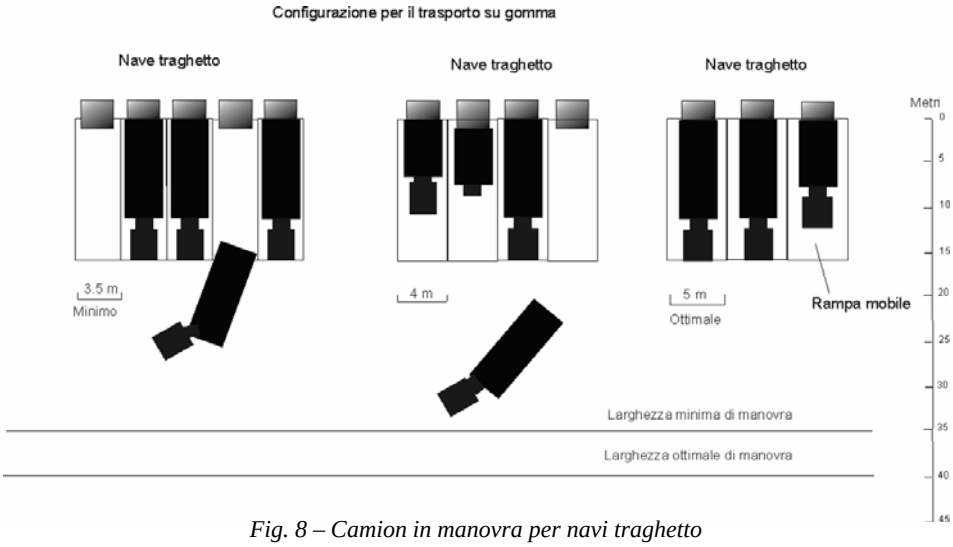


Fig. 8 – Camion in manovra per navi traghetto

mente contenitori appilati in coperta scaricati con gru di bordo, ovvero gru semoventi sulle banchine), di rinfuse solide, e le navi (pur sempre dotate di rampe per traffici orizzontali) vengono ad assolvere compiti di traffico similari alla navi multipurpose, propriamente dette. L'esercizio delle navi Ro/ro è di per se stesso, ancora più costoso di quello delle navi tipo Lo/lo, a causa del maggiore volume perduto per consentire la movimentazione dei carichi mobili, la nave trova giustificazione e convenienza commerciale nei traffici veloci di partite di non grande entità, diverse e articolate, di merce, nel richiedere soste anche molto brevi, di consentire l'accosto anche in porti non molto attrezzati, facilitare i collegamenti, i servizi di federaggio tra porti maggiori e porti minori, servizi traghetto.

L'impiego di navi del genere potrebbe intensificarsi nel quadro della cosiddetta "autostrada del mare" di cui si auspica una razionale organizzazione tra i tanti porti, anche minori, dei nostri litorali, con possibilità di evidenti vantaggi energetici (riduzione traffico autocarrato su autostrada) ed ambientali.

Accosti polivalenti

Le calate per il traffico navi multipurpose, o calate polivalenti, calate multipurpose, sono calate idonee per struttura, molteplicità di attrezzature di manipolazione e deposito della merce, a soddisfare le richieste delle navi multipurpose, apparse sullo scenario marittimo per offrire alla merce una più ampia libertà di condizionamento per rispetto non solamente alla navi fullcontainer ma pure alle navi Ro/ro, essendo in grado di movimentare la merce sia per linea verticale (con intervento di gru di bordo o di banchina) e sia per linea orizzontale (disponendo di una rampa d'accesso per rotabili). Negli esempi più completi, (Fig. 9), ritornano le gru - di diversa portata -

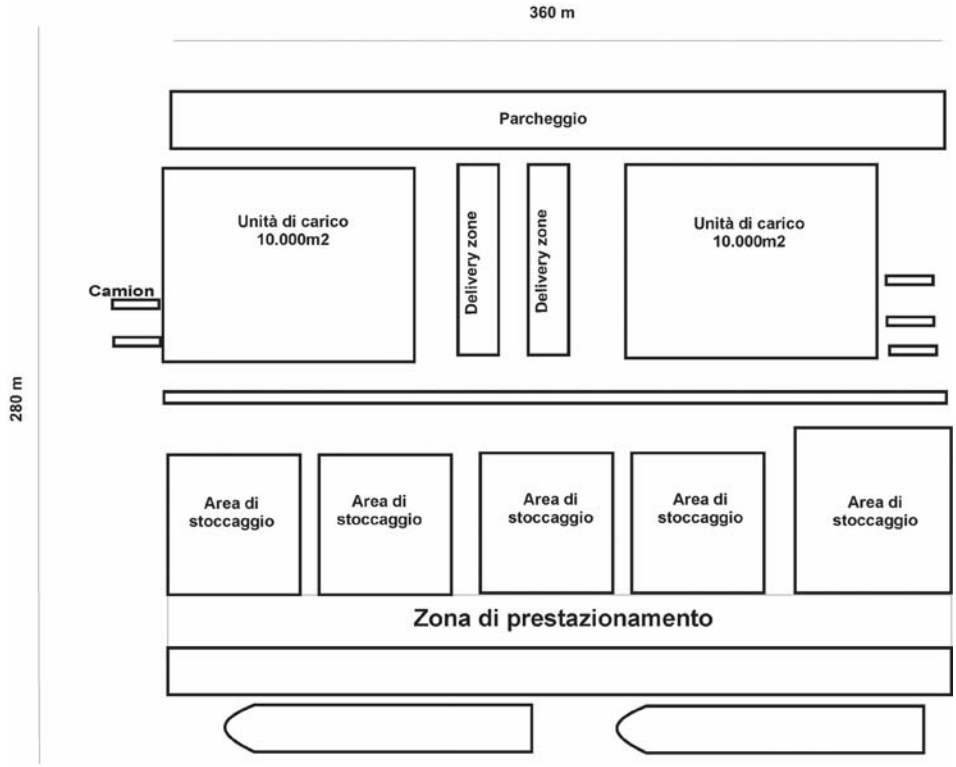


Fig. 9 –Terminale per traffico navi multiporpose



Fig. 10 – Porto di Felixstowe nel 1985

correnti al lato nave su binari di banchina, possibilità cosi di carico/scarico diretto a/da vettore "terrestre", automezzo o ferrovia, depositi scoperti e coperti per merci varie in colli e pure per partite di merci alla rinfusa, zone attrezzate per depositi container od altri carichi unitizzati. Gli schemi lineari della figura sopra citata sono riferiti a strutture di nuovo impianto della portualità estera.

Nei nostri porti, sfruttando la versatilità caratteristica dei traffici multipurpose, il loro frazionamento in partite di merce di diverso condizionamento (e pertanto avviate a distinte disposizioni di deposito) di più contenuta entità, l'impiego di navi di mole minore, o media (frequente la presenza di navi tipo Ro/ro con container appilati in coperta), sono state, di norma utilizzate calate esisten-

ti, create a suo tempo per il traffico tradizionale di merci varie. Vengono eliminati, o ridotti, gli esistenti fabbricati magazzino, per preferire zone scoperte o capannoni, sostituite le tradizionali gru, di riva portata < 3 t correnti su rotaie con gru semoventi di diversa portata, anche elevata, per la movimentazione dei carichi più vari, pezzi di impiantistica, sino a pesi anche molto rilevanti, facilitata la circolazione di automezzi, o traini, di diverso tipo, presente il raccordo ferroviario.

Nuove disposizioni planimetriche

Con l'affermarsi delle nuove forme di traffico, caratterizzate da accresciute dimensioni e tipologie delle navi, da nuovi condizionamenti della merce ed anzitutto da enorme aumento dei volumi trasportati, si sono accresciute le dimensioni delle calate e si sono modificate le loro disposizioni planimetriche Due aspetti strutturali sono diventati sempre più condizionanti: *il fronte d'accosto di grande lunghezza* (per rispetto a quella della nave), associato a fondali d'altezza adeguata *e la circolazione dei mezzi di trasporto terrestri.* Solamente con questi requisiti di impianto strutturale le calate possono avere la *flessibilità* necessaria per poter far fronte alle variazione di *volume* e pure di *condizionamento* dei traffici che potrebbero verificarsi nel futuro. Infatti lo sviluppo di un *lungo fronte continuo* d'accosto, atto all'ormeggio contemporaneo di un dato numero di navi è *di per stesso minore* della somma degli sviluppi del maggior numero di accosti richiesti per il servizio dello stesso numero di navi, però previsti gli accosti distinti e separati. Un lungo sviluppo offre *cioè importanti economie di scala* perché il volume dei traffici cresce di misura più che proporzionale al numero degli accosti; per effetto delle compensazioni che si possono stabilire in un gruppo di accosti funzionalmente collegati viene a diminuire la sosta delle navi e ad elevarsi il fattore di utilizzazione degli impianti (particolarmente traffici Ro/ro, polivalenti, etc.). Si può inoltre sempre trovare in una lunga calata, se fornita nel contempo di adeguata larghezza, sufficiente disponibilità per l'impianto

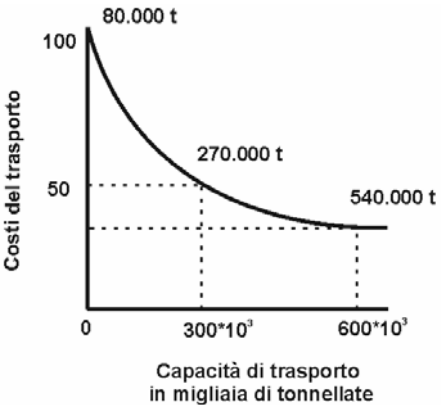


Fig. 11 – Diminuzione dei costi all'aumentare della capacità

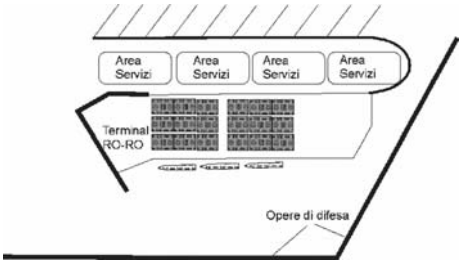


Fig. 12 – Porto di Voltri-Genova

delle zone di deposito e di quelle di circolazione e di sosta dei veicoli viari e ferroviari. Assieme alla lunghezza delle calate è andata del pari crescendo la necessità di disporre di sempre più ampie *larghezze del piatto di calata,* in particolare, dei relativi piazzali destinati al deposito della merce ed alla circolazione dei vettori terrestri, cosicché negli ultimi decenni pur senza aprioristiche esclusioni si hanno pochi esempi in nuovi impianti portuali di disposizione *delle calate su sporgenti paralleli* preferendo l'impianto di calate di grande lunghezza e larghezza secondo il cosiddetto *longitudinal quay system* Fig. 10, che meglio può consentire la formazione di calate delle grandi dimensioni ormai richieste.

Ciò in quanto, come pone in evidenza il grafico UNCTAD (con dati aggiornati al 1979) riportato alla Fig. 11, i costi unitari di trasporto per tonnellata di merce manipolata decrescono al crescere del volume movimentato.

L'evoluzione subita dagli impianti dei porti commerciali può essere messa in evidenza confrontando l'impianto portuale del Bacino di Sampierdarena del porto di Genova, con quello del Bacino di Voltri, (Fig. 12), di recente divenuto operativo nello stesso porto di Genova. Adeguare pienamente porti, o calate, alle esigenze delle forti concentrazioni di traffico comporta però elevatissimi investimenti finanziari per la costruzione di impianti e relativi apparecchiature meccaniche ad alto potenziale e pure rile-



Fig. 13 – Porto di Gioia Tauro

vanti spese per il loro esercizio. Investimenti e spese giustificate solamente se i traffici che devono usufruirne *raggiungono effettivamente tali forti concentrazioni*.

Gerarchie nel potenziamento dei porti

Grandi quantitativi di merce imbarcate/sbarcate si possono ottenere però solo in pochi porti che potremmo definire *oceanici, "ocean sea ports",* aperti alla frequentazione continua delle massime navi dei vari tipi. In questi porti non è solamente consigliabile ma necessario predisporre opere delle massima efficienza e potenzialità. Giova ricordare come le maggiori acquisizioni di traffici internazionali si siano avute nei porti che con le loro realizzazioni hanno saputo precedere la domanda dei traffici, perseguendo prospettive che altri porti non avevano ancora intuito. Con riferimento ai minori quantitativi delle merci scambiate ed alla più contenuta frequentazione di massime navi potremmo individuare una seconda fascia, o categoria di porti, o *porti di mare profondo o deep ports* nei quali i traffici sono ancora rilevanti, ma meno intensi e generali, e la presenza delle navi di grande portata possibile ma non sistematica. Segue poi il vasto gruppo di porti adibiti a traffici locali e di cabotaggio, cosiddetti *short sea ports,* serviti da navi di più ridotta portata, navi feeder e di cabotaggio nazionale. È evidente che nei porti di categoria minore che non hanno il compito di essere pienamente disponibili a tutte le più varie evoluzioni dei traffici marittimi, sia razionale predispone infrastrutture ed apparati di manipolazione delle merci di minore potenzialità, e pertanto di minor costo di costruzione e di esercizio.

Nella pianificazione dei porti commerciali (e pure delle singole calate) è pertanto necessario seguire *criteri dì chiara selezione o dì gerarchia.* Una nazione con importante ruolo marittimo deve disporre di *porti e scali specializzati aperti ai grandi traffici internazionali* ad evitare che le costose operazioni di *transhipment* dalle grandi navi alle navi medie, o minori, vengano effettuate in porto estero con vantaggio per le economie estere e svantaggio per la nazione stessa.

Un esempio italiano di scalo internazionale per contenitori è rappresentato dal porto di Gioia Tauro (Fig. 13). Giova specificare che un porto si qualifica nel contesto internazionale dei traffici commerciali per la soglia superiore dei servizi che offre e che, per logica correlazione, si qualifica per la *forza polarizzante* che esso esercita sui flussi oceanici, sui mercati che più intensamente animano il trasporto marittimo. Gli ocean sea ports diventano centri di reti di traffico marittimo di ridistribuzione della merce *(importanti traffici di transhipment)* che impiegano navi minori adatte alle caratteristiche di impianto dei porti di minore potenziale.

[*] La prima parte della nota è riportata nel Tomo primo, a pag. 595.

ELENCO DEGLI AUTORI

AMATO Flora	*Università Napoli Federico II*
AMORE Raffaele	*Università Napoli Federico II*
ALINI Luigi	*Università Napoli Federico II*
ARICI Francesca	*IUAV Università Venezia*
ARICI Marcello	*IUAV Università Venezia*
ASSANTE Dario	*Università Napoli Federico II*
ASTARITA Gianni	*Università Napoli Federico II*
AUGENTI Nicola	*Università Napoli Federico II*
AUSIELLO Gigliola	*Università Napoli Federico II*
AVETA Aldo	*Università Napoli Federico II*
AVETA Claudia	*Università Napoli Federico II*
BARELLA Silvia	*Politecnico Milano*
BARSOTTI Riccardo	*Università Roma La Sapienza*
BASIRICÒ Tiziana	*Università Palerno*
BELLI Paolo	*Università Napoli Federico II*
BENASSAI Edoardo	*Università Napoli Federico II*
BENNATI Stefano	*Università Napoli Federico II*
BOFFITO Maura	*Università Genova*
BONGIOVANNI Margherita	*Politecnico Torino*
BOSCOTRECASE Luciano	*Università Roma La Sapienza*
BOTTINI Anna	*Università Pescara*
BRANDA Francesco	*Università Napoli Federico II*
BRUNO Giuseppe	*Università Napoli Federico II*
BUCCARO Alfredo	*Università Napoli Federico II*
CACCESE Ermenegildo	*Università Napoli Federico II*
CACCIAVILLANI Carlos Alberto	*Università Pescara*
CALABRESI Giovanni	*Università Roma La Sapienza*
CALAMIA Mario	*Università Firenze*
CALDERINI Chiara	*Università Genova*
CÀNDITO Cristina	*Università Genova*
CAPECCHI Danilo	*Università Roma La Sapienza*
CAPRIOLO Giulio	*Politecnico Torino*
CARDONE Vito	*Università Salerno*
CARRAVETTA Roberto	*Università Napoli Federico II*
CASCETTA Ennio	*Università Napoli Federico II*
CASTANÒ Francesca	*Seconda Università Napoli*

CECCARELLI MARCO	*Università Cassino*
CHIRONE EMILIO	*Università Brescia*
CIGOLA MICHELA	*Università Cassino*
CIRILLO ORNELLA	*Seconda Università Napoli*
COLINI STEFANO	*Università Napoli Federico II*
COMO MARIA TERESA	*Suor Orsola Benincasa*
COMO MARIO	*Università Roma Tor Vergata*
CONFORTO MARIA LETIZIA	*Soprintendenza Roma*
COPPOLA ANTONIO	*Automobil Club Italia*
CORNA CRISTIAN	*Politecnico Milano*
COSENZA EDOARDO	*Università Napoli Federico II*
COTTONE ANTONIO	*Università Palermo*
CREMONA FRANCO	*Università Cassino*
CRISAFULLI ALESSANDRO	*Università Palermo*
D'AGOSTINO PIERPAOLO	*Università Salerno*
D'AGOSTINO SALVATORE	*Università Napoli Federico II*
D'AMBROSIO FRANCESCA ROMANA	*Università Salerno*
DATO ZAIRA	*Università Catania*
D'ELIA CIRO	*Università Cassino*
D' ERRICO GIUSEPPINA	*Seconda Università Napoli*
DE CHIARA GIUSEPPE	*MARS Napoli*
DE FALCO CAROLINA	*Seconda Università Napoli*
DE MATTIA FAUSTO	*Archivio Stato Napoli*
DE NEGRI FELICITA	*Archivio Stato Napoli*
DEMBO NANCY	*Università Caracas*
DI PIETRO STEFANIA	*Professionista Siracusa*
ESPOSITO TOMMASO	*Università Napoli Federico II*
FABRICATORE GIULIO	*Università Napoli Federico II*
FABRIS NADIA	*Politecnico Torino*
FASCIA FLAVIA	*Università Napoli Federico II*
FEDELE PASQUALE	*Vodafone Italia*
FERRARI PAOLO	*Università Pisa*
FOCE FEDERICO	*Università Genova*
FORTEZZA RAIMONDO	*MARS Napoli*
FRANCESCHETTI GIORGIO	*Università Napoli Federico II*
FRESA GIOVANNI	*Professionista Napoli*

GARCÍA RAFAEL	*Politecnico Madrid*
GHIRETTI ANDREA	*Università Parma*
GIUFFRÈ ORAZIO	*Università Palermo*
GIUFFRÈ TULLIO	*Università Palermo*
GRACIANI GARCÍA AMPARO	*Università Siviglia*
GRANÀ ANNA	*Università Palermo*
GRECO GIOVANNA	*Università Napoli Federico II*
GRECO LAURA	*Università Rende*
GUARRACINO FEDERICO	*Università Napoli Federico II*
GUERRIERI MARCO	*Università Palermo*
GUIDOBONI EMANUELA	*SGA Bologna*
GULLI RICCARDO	*Università Bologna*
IANNACE SALVATORE	*Università Napoli Federico II*
IANNIELLO CARMINE	*Università Napoli Federico II*
IMPROTA GENNARO	*Università Napoli Federico II*
IORI TULLIA	*Università Roma Tor Vergata*
IOVINO RENATO	*Università Napoli Federico II*
LA CRETA ROSALBA	*Università Napoli Federico II*
LESCHIUTTA SIGFRIDO	*Politecnico Torino*
LIPPIELLO MARIA	*Università Napoli Federico II*
LIZZA ANDREA	*Ordine Ingegneri Napoli*
LO FARO FRANCESCA M.	*Università Palermo*
MAGLIO ANDREA	*Università Napoli Federico II*
MALLOZZI LINA	*Università Napoli Federico II*
MANGANARO MARIO	*Università Messina*
MAPELLI CARLO	*Politecnico Milano*
MARABOTTO MARIA PAOLA	*Politecnico Torino*
MARAINI EMILIO	*Professionista Roma*
MARCHIS VITTORIO	*Politecnico Torino*
MARGIOTTA NINA MARIA	*Università Pescara*
MARINO BIANCA GIOIA	*Università Napoli Federico II*
MARINO ROBERTA	*Università Palermo*
MARRUCCI GIUSEPPE	*Università Napoli Federico II*
MAURO RAFFAELE	*Università Trento*
MAURO ORONZO	*ACCENTURE S.p.a.*
MAZZANTI CLAUDIO	*Università Pescara*

MAZZEO Antonino	*Università Napoli Federico II*
MEOLA Carlo	*Università Napoli Federico II*
MIGLIORE Marco Donald	*Università Cassino*
MOLARI Pier Gabriele	*Università Bologna*
MONACO Luciano Maria	*Università Napoli Federico II*
MONTI Rodolfo	*Università Napoli Federico II*
MONTUONO Giuseppe Maria	*Professionista Napoli*
MORA ALONSO-MUÑOYERRO Susana	*Università Madrid*
MORNATI Stefania	*Università Roma Tor Vergata*
MUSTO Gabriella	*Università Napoli Federico II*
NATALE Anna	*Università Napoli Federico II*
NICODEMI Walter	*Politecnico Milano*
NICOLUCCI Silvia	*Soprintendenza Roma*
NIEDDU Filippo	*Politecnico Torino*
PAGLIARA Francesca	*Università Napoli Federico II*
PAGNINI Luisa	*Università Genova*
PALAORO Stefania	*IUAV Università Venezia*
PANE Andrea	*Università Napoli Federico II*
PAPA Lia Maria	*Università Napoli Federico II*
PARISI Roberto	*Università Napoli Federico II*
PASCARIELLO Maria Ines	*Università Napoli Federico II*
PAVAN Licio	*Università Udine*
PENNISI Silvia	*Università Palermo*
PERRETTI Antonio	*Università Catania*
PERSICO Massimo	*Università Brescia*
PESENTI Serena	*Politecnico Milano*
PEZONE Maria Gabriella	*Università Napoli Federico II*
PICONE Renata	*Università Napoli Federico II*
PIZZAMIGLIO PierLuigi	*Università Brescia*
POLI Stefano	*Politecnico Torino*
PORETTI Sergio	*Università Roma Tor Vergata*
PORZIO Alberto	*CNR INFM*
PRADELLA Giorgio	*IUAV Università Venezia*
PUGLIA Antonio	*SELEX Sistemi Integrati*
RAFFA Mario	*Università Napoli Federico II*
REMINO Carlo	*Università Brescia*

RICCIARDI GIULIANA	*Archivio Stato Napoli*
RIVA SANSEVERINO RAFFAELLA	*Università Palermo*
ROSA FRANCESCO	*Politecnico Milano*
ROSSI CESARE	*Università Napoli Federico II*
ROVIDA EDOARDO	*Politecnico Milano*
RUSSO FERRUCCIO	*Università Napoli Federico II*
RUSSO FLAVIO	*Università Napoli Federico II*
RUSSO MARIA	*Seconda Università Napoli*
RUSSO VALENTINA	*Università Napoli Federico II*
RUTA GIUSEPPE	*Università Roma La Sapienza*
SALVATORI MARIDA	*Università Napoli Federico II*
SCARPELLI GIUSEPPE	*Università Politecnica Marche*
SCHETTINO FULVIO	*Università Cassino*
SERRAGLIO RICCARDO	*Seconda Università Napoli*
SERSALE RICCARDO	*Università Napoli Federico II*
SGALAMBRO ANTONINO	*Università Napoli Federico II*
SILVA CONTRERAS MÒNICA	*Università Caracas*
SILVESTRI ANDREA	*Politecnico Milano*
SINOPOLI ANNA	*Università Roma La Sapienza*
SIRAGO MARIA	*IRSAE Napoli*
SIVIERO ENZO	*IUAV Università Venezia*
SOLIMENO SALVATORE	*Università Napoli Federico II*
SPINOSA ARIANNA	*Università Napoli Federico II*
STENDARDO LUIGI	*Università Napoli Federico II*
TURCO ERMANNO	*Vodafone Italia*
VERDOLOTTI LETIZIA	*Università Napoli Federico II*
VERNIZZI CHIARA	*Università Parma*
VEROLINO LUIGI	*Università Napoli Federico II*
VIGGIANI CARLO	*Università Napoli Federico II*
VILLA ANDREA	*Università Salerno*
VILLANOVA ANNA	*IUAV Università Venezia*
VIOLA FRANCESCO	*Università Napoli Federico II*
ZAMPINI ILARIA	*IUAV Università Venezia*
ZOLLO GIUSEPPE	*Università Napoli Federico II*

Storia dell'Ingegneria

Atti del 2° Convegno Nazionale

Napoli, 7-8-9 aprile 2008

tomo primo



Storia dell'Ingegneria

Atti del 2° Convegno Nazionale

Napoli, 7-8-9 aprile 2008

tomo secondo

