Storia dell'Ingegneria

Atti del 1° Convegno Nazionale

Napoli, 8-9 marzo 2006

tomo primo



CUZZOLIN EDITORE

Storia dell'Ingegneria

Atti del 1° Convegno Nazionale

Napoli, 8-9 marzo 2006

tomo primo

a cura di

Alfredo Buccaro
Giulio Fabricatore
Lia Maria Papa

Comitato scientifico:

E. Cosenza
Università di Napoli Federico II
S. D'Agostino
Università di Napoli Federico II
F. De Negri
Archivio di Stato di Napoli
G. Galasso
Università di Napoli Federico II
V. Marchis
Politecnico di Torino
G. Marrucci
Università di Napoli Federico II
S. Polese
Consiglio Nazionale degli Ingegneri
A.G. Ricci
Archivio Centrale dello Stato
A. Silvestri
Politecnico di Milano
R. Sirica
Consiglio Nazionale degli Architetti
A. Stella
Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria
M. Torrini
Università di Napoli Federico II

Comitato organizzaore:

A. Buccaro
Università di Napoli Federico II
G. Fabricatore
Università di Napoli Federico II
L.M. Papa
Università di Napoli Federico II
V. Rinaldi
Ordine degli Ingegneri di Napoli e Provincia
L. Verolino
Università di Napoli Federico II
L. Vinci
Ordine degli Ingegneri di Napoli e Provincia

Segreteria scientifica:

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

Facoltà di Ingegneria
Piazzale V. Tecchio, 80
80125 Napoli

Segreteria organizzativa:

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
e-mail: segreteria@ordineingegnerinapoli.it
telefono: 0815514620
fax: 0815512126

via del Chiostro, 9
80134 Napoli

Progetto grafico:

Maria Ines Pascariello

Sostenitori:

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
Rohde & Schwarz
Napoletana Gas
Banca Nazionale del Lavoro
Associazione Costruttori Edili di Napoli

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

Sommario

Tomo primo

Perché la Storia dell'Ingegneria: necessità, propositi, prospettive
SALVATORE D'AGOSTINO 17

Il contributo dell'Ordine Professionale per la Storia dell'Ingegneria
LUIGI VINCI 23

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

La Storia della Scienza e il fondamento del saper fare
MAURIZIO TORRINI 27

Obiettivi di una Storia della Scienza e della Tecnologia con funzioni terapeutiche
LUCIANO DE MENNA, LUIGI VEROLINO 33

Matematica e Ingegneria: convergenze parallele
VINCENZO FERONE, GUIDO TROMBETTI 39

Per una Teoria e Storia dell'Ingegneria
VITTORIO MARCHIS 49

Ingegneria tra ricerca e innovazione
Luigi Nicolais 59

L'Ingegneria e la Scienza dell'Informazione
Giorgio Franceschetti 67

La Ricerca Operativa e l'ingegneria: passato, presente e futuro
Gennaro Improta 71

Lo sviluppo dei Metodi Integrali:
un possibile paradigma per una Storia dell'Ingegneria
Dario Assante, Luciano De Menna, Luigi Verolino 81

Metodi probabilistici in Ingegneria Civile:
da un concetto all'uso corrente
Giuliano Augusti, Alessandro Baratta, Marcello Ciampoli 89

Geotecnica e Ingegneria Civile
Giovanni Calabresi 101

Storia dell'Ingegneria Marittima in Italia
Leopoldo Franco 109

Il ruolo dell'Informatica nello sviluppo dell'ingegneria
Antonio Mazzeo 123

La Storia della Bioingegneria in Italia. Ieri, oggi, domani…
Marcello Bracale 135

Dalla"Ingegneria + Chimica" all'Ingegneria Chimica
Giuseppe Marrucci 139

Storia della luce e dell'illuminazione
Luciano Di Fraia 147

L'ingegneria e la "scomparsa delle lucciole"
Sergio Poretti 157

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Le fonti dell'Archivio Centrale dello Stato per la Storia dell'Ingegneria
ALDO G. RICCI 169

Problemi di 'ingegneria' in alcuni scritti di medicina medievale
PAOLA CAPONE 185

Il bisogno di filosofia nella formazione dell'ingegnere. Evoluzione storica e risvolti antropologici
MARIA TERESA RUSSO 195

Ingegneri e istituzioni alla fine del XVIII secolo
FAUSTO DE MATTIA, FELICITA DE NEGRI 207

Nascita e tradizione dell'Architettura per gli Ingegneri nella Scuola napoletana di Ponti e Strade
ALFREDO BUCCARO 213

La nascita delle Facoltà di Ingegneria e di Architettura in Italia
ANDREA SILVESTRI 223

La scuola romana degli ingegneri pontifici
ANGELA MARINO 235

Linguaggio e modelli grafici nell'evoluzione delle conoscenze-competenze dell'ingegnere
LIA M. PAPA 243

Architetti e Ingegneri: il restauro dei monumenti nel dibattito ottocentesco sulle riviste tecniche milanesi
SERENA PESENTI 257

L'avvio degli studi di ingegneria in America
VITO CARDONE 267

L'insegnamento dell'Architettura nella Facoltà di Ingegneria di Palermo
ANTONIO COTTONE 279

*Saint-Venant e l'*Art de l'ingénieur. *Un primo studio critico delle* Leçons de mécanique appliquée *(1837-1838)*
Danila Aita, Federico Foce 291

Pio Chicchi e l'insegnamento delle costruzioni metalliche nelle ultime decadi dell'Ottocento
Roberto Gori 303

Storia, curricula studiorum e studenti della Scuola d'applicazione per gli ingegneri e gli architetti dell'Università di Bologna (1877-1899)
Michelangelo L. Giumanini 315

Il viaggio di istruzione del professor Bonacossa nell'Isère, nella Loire e nella Saône-Loire (settembre 1883)
Filippo Nieddu 325

Gli archivi del Politecnico di Milano, fonti per la storia dell'Ingegneria fra Ottocento e Novecento
Raffaella Gobbo 337

La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino: didattica e sperimentazione fra Otto e Novecento
Annalisa Dameri 347

L'insegnamento per ingegneri nell'Università di Pavia
Luiisa Erba 359

Origini e formazione del Politecnico di Torino: dagli esordi alla sua istituzione l'8 luglio 1906
Caterina Mele 369

I primi ingegneri elettrotecnici del Regio Museo Industriale di Torino
Sigfrido Leschiutta 379

La nascita dell'ingegneria elettrica in Europa
Sigfrido Leschiutta 385

Rappresentazione ed analisi di macchine e meccanismi nella trattatistica tecnica dal XV al XVII secolo
MICHELA CIGOLA, MARCO CECCARELLI 395

Il contributo della cultura degli ingegneri alla costruzione del sapere urbanistico in Italia (1905-1946)
GEMMA BELLI 403

Formazione dei tecnici e dibattito sulla tutela della professione: echi della situazione italiana in Austria nei primi anni del '900
FRANCESCA TORELLO 413

La nascita dell'Ordine degli Ingegneri: tutela del titolo ed evoluzione del ruolo (1923-1950)
ADRIANA DI LEO 421

Da Ferraris a Giorgi: la scuola italiana di Elettrotecnica
ADRIANO PAOLO MORANDO 431

Sviluppi della Fisica Tecnica nelle Facoltà di Ingegneria italiane
ENRICO MARIA LATROFA 455

"La composizione dell'architettura": l'insegnamento di Luigi Cosenza nella Facoltà d'Ingegneria di Napoli
FRANCESCO VIOLA 471

Un'esperienza di insegnamento della storia dell'Ingegneria Meccanica
FRANCESCO ROSA, EDOARDO ROVIDA 481

Idee per un corso di 'Storia dell'Ingegneria' presso l'Università di Firenze
FRANCO ANGOTTI, MAURO COZZI, GIUSEPPE PELOSI, SERGIO REALE, GIANFRANCO MANES 487

Studi d'Ingegneria: dopo quaranta anni il cammino della riforma non è ancora completato
NICOLA ALBERTI, BRUNO DI MAIO 493

Tomo secondo

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato
Roberto Gori 523

Evoluzione del calcestruzzo di cemento
da tempi remoti al giorno d'oggi
Riccardo Sersale 533

La Tecnologia dell'Architettura: cronache e storia
Rosalba La Creta 537

I mercati in ferro nel Regno d'Italia: ingegneri a confronto
Carlos Alberto Cacciavillani, Nina Maria Margiotta,
Claudio Mazzanti, Atonia Nardella 547

Bologna e l'innovazione tecnologica tra Otto e Novecento:
note attorno al carteggio Attilio Muggia-François Hennebique
M. Beatrice Bettazzi 557

La continuità storica nell'invenzione tecnologica e teorica
del cemento armato
Antonio Perretti, Aurelio Ghersi, Stefania Di Pietro 565

L'evoluzione dell'Ingegneria Stradale nel corso del XX secolo
Paolo Ferrari 575

L'industrializzazione dell'edilizia tra storia,
sperimentazione e progetto
Gigliola Ausiello 587

La nascita e l'evoluzione dell'industria italiana
della litoceramica e i suoi riflessi nella cultura del costruire
Marika Mangosio 597

L'Ingegneria Idraulica e i modelli: excursus storico
Carlo Montuori 601

La Meccanica Applicata alle Macchine, a Napoli
Lelio Della Pietra 617

L'Ingegneria Stradale:
dalle costruzioni stradali agli approcci sistemici
Raffaele Mauro 635

Alcune considerazioni sulle opere d'arte
e le teorie per la spinta delle terre nelle costruzioni stradali
Anna Villanova 645

L'Ingegneria dei ponti in Italia nel XX secolo
Enzo Siviero, Ilaria Zampini 655

L'International Center of Earthquake Engineering: una tappa
importante dell'Ingegneria Strutturale italiana (1967-1969)
Carla M. Kovsca Colani 663

L'Ingegneria e le costruzioni storiche in Italia. Parte I.
Sicurezza e progetto degli interventi di consolidamento
Chiara Calderini, Sergio Lagomarsino 671

L'Ingegneria e le costruzioni storiche in Italia. Parte II.
Diagnosi e monitoraggio del comportamento strutturale
Chiara Calderini, Sergio Lagomarsino,
Stefano Podestà, Sonia Resemini 681

Nuove tecnologie nautiche: dal vascello alla nave a vapore
Maria Sirago 693

La figura dell'ingegnere industriale
e la sua evoluzione nel tempo
Francesco Rosa, Edoardo Rovida 703

L'Ingegneria del Vento in Italia: dai primi passi alla maturità
Giuliano Augusti, Claudio Borri, Paolo Spinelli 711

Innovare e tutelare in Piemonte nell'800: i privilegi industriali e Carlo Ignazio Giulio
LUISA DOLZA 721

Una breve rassegna sugli automi: la meccanica che ha preceduto i robot
CESARE ROSSI 737

Cenni di telegrafia senza elettricità
SANDRA MARINI, GIUSEPPE PELOSI, STEFANO SELLERI 751

La distribuzione dell'energia elettrica: nascita, affermazione e contributi italiani
MASSIMO GUARNIERI 761

Contributo della Facoltà di Ingegneria di Napoli allo sviluppo e all'utilizzazione di laser di potenza
SALVATORE SOLIMENO 771

L'evoluzione aerodinamica delle vetture di Formula Uno
PAOLO PINTO 779

Storia del rientro atmosferico da missioni spaziali
RODOLFO MONTI, GIUSEPPE DE CHIARA 789

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Un ingegnere Romano di epoca tardorepubblicana: Lucio Cocceio Aucto
CARLO VIGGIANI 807

Sulla termotecnica in epoca romana
FRANCESCA R. D'AMBROSIO, ANTONELLO CHIDICHIMO, FERDINANDO SORRENTINO 819

L'acustica degli auditorî: arte, scienza o mito?
I tempi dei teatri greci e romani
Carmine Ianniello 833

Breve excursus storico delle officine vetrarie
Francesco Branda 843

De Aquaeductu Urbis Romae *di Sesto Giulio Frontino*
Pasquale Argenziano 853

Sulla resistenza strutturale degli antichi ponti
Marcello Fulgione 861

Storie di ponti
Mario Manganaro 873

Francesco De Marchi, ingegnere-trattatista del Rinascimento
Ciro Robotti 883

Notizie sulla storia dell'ingegneria napoletana
tra Cinque e Seicento
Franco Strazzullo 893

Ingegneria idraulica in età borbonica:
l'opera di Giovanni Bompiede
Maria Gabriella Pezone 897

Storia e vicende edilizie del Teatro di San Carlo a Napoli
Nicola Augenti 909

Ingegneri e lavori pubblici in Sicilia tra Sette e Ottocento
Francesca M. Lo Faro 921

Progetto e costruzione dei grandi ponti
dai primi dell'Ottocento ad oggi
Mario Como 933

Un contributo al dibattito sulle opere pubbliche nella prima metà dell'Ottocento: l'ingegnere Antonio Maiuri
Giuseppe Foscari 949

I cannoni del Regno di Napoli
Francesco Caputo 967

Indagine storica sulla criticità del ponte San Lorenzo sul fiume Crati a Cosenza in merito al deflusso delle piene
Giancarlo Principato 981

L'ingegneria stradale prima della V.I.A.: le infrastrutture viarie storiche dal XVIII al XX secolo, monumenti nel paesaggio e per il paesaggio
Murizio Boriani, Alberta Cazzani 991

Il porto borbonico di Ischia
Francesco Rispoli 1001

Da un primato storico a un progetto di archeologia industriale. La prima ferrovia italiana Napoli-Portici, ieri e … domani
Anna Natale 1011

Eugenio Michitelli in Abruzzo e l'istituzione degli Ingegneri di Ponti e Strade
Carlos Alberto Cacciavillani 1019

Il ponte ferroviario fra Venezia e la terraferma
Laura Facchinelli 1031

Tra ingegneria e architettura: il villino "ingegneria sanitaria" a Torino e le istanze igieniste tra Ottocento e Novecento
Paolo Piantanida 1041

L'ingegneria italiana del Novecento: ricerca in corso presso lo IUAV di Venezia
Enzo Siviero, Ilaria Zampini 1051

L'architettura universitaria a Parma:
storia di un'infrastruttura del sapere
Chiara Vernizzi 1061

Trasporti su rotaie agli inizi del Novecento.
La Circumvesuviana e il progetto per la stazione di Bellavista
Carolina De Falco 1069

1910: un coraggioso approccio al cemento armato.
Il caso della Sinagoga di Trieste
Aulo Guagnini 1079

Le vie dell'Impero. Le strade coloniali italiane
e il loro rapporto con la manualistica del Ventennio
Mirko Guaralda 1087

Opere pubbliche e trasformazioni urbane
a Napoli tra le due guerre
Elena Manzo 1097

L'attività di colonizzazione dell'Opera Nazionale Combattenti
in Campania tra primo e secondo dopoguerra
Riccardo Serraglio 1109

L'ingegnere Lauletta e le prove sperimentali in campo dinamico
Mario Casirati 1119

Enzo Lauletta: la modellazione fisica e l'approccio
dello studio di grandi strutture presso l'ISMES,
Istituto Sperimentale Modelli e Strutture
Carla M. Kovsca Colani 1127

L'autostrada del Sole
Tullia Iori 1133

Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci. Il progetto della forma
strutturale prima dell'avvento del calcolo automatico
Rinaldo Capomolla 1143

Lorenzo Allievi e la cinematica dei meccanismi in Italia nel XIX secolo
MARCO CECCARELLI, TEUN KOETSIER 1153

Le imprese polari del generale Umberto Nobile
DARIO ASSANTE, LUIGI VEROLINO 1165

L'idroplano di Enrico Forlanini
SARA CALABRÒ, CESARE CARDANI 1173

ELENCO DEGLI AUTORI 1187

Salvatore D'Agostino

Perché la Storia dell'Ingegneria: necessità, propositi, prospettive

1. *Perché la Storia*

"Per dar forma al mondo di domani è necessario ripensare le nostre molteplici radici".

Questa icastica affermazione di Salvatore Settis[1], sottolinea quanto linguaggio, leggi, cultura e tradizioni siano determinati dalla storia e da essa continuamente influenzati. Ed è proprio in un mondo globalizzato e condizionato da un profluvio di notizie, quasi sempre effimere e spesso manipolate, che la storia rivendica la sua natura critica e meditativa, che si arricchisce e confronta in una continua ricerca. D'altro canto, proprio perché la storia è "la Scienza degli uomini" come magistralmente la definì Marc Bloch, ed è continuamente rivisitata dagli uomini, essa non potrà mai ammantarsi della obiettività e della incontrovertibilità.

È questo che la distingue dalle scienze esatte e la innalza a motore di civiltà. Anche l'uomo più rozzo e incivile si muove ed agisce sulla scia di una trasmissione di codici che sono di per sè il frutto di una tradizione storica. Per questo la storia vive con l'uomo e per l'uomo cui dona la luce di una coscienza critica e la consapevolezza di essere l'anello di un processo che viene dal passato e si svilupperà comunque nel futuro. Spesso non si è consapevoli del condizionamento della storia, ma tanto le comunità quanto gli individui che la ignorano sono destinati ad essere oggetti di storia e mai protagonisti coscienti del loro percorso.

La storia è quindi la categoria che caratterizza l'homo sapiens, ne assicura e ne promuove il cammino. Essa è l'humus naturale di cui si nutre il concetto stesso di cultura, ed è stato infatti ben sottolineato quanto il patrimonio culturale abbia una forte base ereditaria al pari di quello somatico.

L'approccio scientifico alla storia appartiene allo storico che con spirito critico indaga, seleziona ed interpreta documenti, testimonianze, ed ogni traccia dell'umano operare che possa illuminare anche un frammento del suo cammino nel tempo.

Tra tante fonti una particolare importanza assumono le testimonianze di quanti operano nella società e quotidianamente la sviluppano e la modificano. Testimonianze rilevanti, anche perché forniscono agli storici letture tecniche e critiche che arricchiscono il filo della ricerca.

2. *La Storia dell'Ingegneria*

La Storia dell'Ingegneria sorse nello stesso momento in cui si verificò, nella catena evolutiva, lo scatto antropologico dell'homo sapiens, dotato di ingenium, a riconoscersi e quindi a col-

legare semplici operazioni per ottenere un risultato. Pertanto ogni individuo è Ingegnere per se stesso e nel contempo l'esercizio dell'ingenium da parte dei più dotati ha consentito la nascita e lo sviluppo della civiltà. Questo processo si è sviluppato con tempi e modi profondamente diversi, nell'arco di molti millenni, a seconda delle condizioni ambientali e dell'evoluzione antropologica che ha determinato le diverse etnie. Gli ingegneri hanno inciso quindi in maniera fondamentale nella antropizzazione della natura e nella realizzazione del patrimonio culturale, ampiamente inteso. Questo lungo processo, sviluppatosi prevalentemente nella cultura del fare, necessita ancora di una specifica lettura scientifica. Non mancano certo contributi e un sistematico quadro d'insieme[2], ma non si è ancora diffusa presso i ricercatori l'esigenza di rileggere la storia scientifica e tecnologica, al fine di acquisire una più matura consapevolezza del loro operare. Questo aspetto è di particolare importanza in quanto lo sviluppo scientifico e tecnologico produce rilevanti e continui cambiamenti anche nel vivere quotidiano. Tali cambiamenti spesso inducono oggi nella società civile disorientamento e diffidenza, e ciò anche perché la cultura tecnico-scientifica è impreparata a confrontarsi con le esigenze socio politiche di un momento storico nel quale si manifestano tendenze fortemente regressive rispetto al progresso scientifico.

Proprio quindi per il mondo dell'ingegneria, detentrice dello sviluppo tecnologico e quindi dell'impatto della scienza sulla società, è necessario acquisire una maggiore consapevolezza critica che è il risultato della conoscenza storica.

In effetti, sia pure in maniera non istituzionale, le Facoltà di Ingegneria hanno avuto, nel recente passato, un'attenzione alla loro storia[3], né sono mancati studi specifici[4] e lavori monografici[5] molto spesso sviluppati da storici di professione. Così pure è stato sempre vivo il dibattito sulla formazione degli ingegneri e sull'evoluzione degli studi in rapporto all'evoluzione delle esigenze scientifiche e tecnologiche. Solo però agli inizi degli anni '80, anche sulla spinta della Società Europea per la Formazione degli Ingegneri, e stante le mutate esigenze culturali di una società sempre più complessa, andò maturando la necessità di un rapporto cogente tra ingegneria e scienze umane[6]. Parallelamente il magistrale trattato di Edoardo Benvenuto sullo sviluppo storico della scienza delle costruzioni[7] tracciava una nuova prospettiva di ricerca proprio per gli addetti ai lavori nelle discipline più cogenti dell'ingegneria. Ancora in quegli anni, in conseguenza delle ricorrenti crisi sismiche, comincia a svilupparsi una riflessione interdisciplinare su Ingegneria e Conservazione del Patrimonio Costruito che porta in prima linea la necessità della conoscenza storica. Tale necessità si è estesa via via ad altri settori quali l'ambiente, l'energia, etc., mentre lo sviluppo dell'elettronica e dell'informatica modificano a fondo i processi industriali e il ruolo stesso dell'ingegnere. Sono

nate così numerose iniziative[8] che tendono a sviluppare i tanti aspetti della Storia dell'Ingegneria, e a maturare l'esigenza di un riferimento istituzionale.

3. *L'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria*

L'Associazione, fondata nel marzo 2004, ha lo scopo di promuovere lo studio e la diffusione della Storia dell'Ingegneria dall'antichità ai nostri giorni, sia riunendo studiosi già attivi, sia promuovendo l'esigenza e la diffusione della cultura storica. Pur auspicando il contributo di storici ed archivisti, l'Associazione si rivolge innanzitutto agli ingegneri e agli architetti perché possano testimoniare criticamente il loro così complesso percorso.

Profondamente consapevole dell'impegno assunto l'Associazione ha promosso incontri come quello di Salerno e di Genova[9] ed ha partecipato alle manifestazioni di Milano e Palermo[10]. Ma per far fronte ad un compito così impegnativo Essa chiede l'aiuto di Enti ed Istituzioni, primi fra tutti le Facoltà di Ingegneria e gli Ordini professionali, affinché la cultura storica permei vuoi la formazione degli allievi, vuoi la lunga vita professionale che dovrà misurarsi con innovazioni tecnologiche oggi impensabili.

Infine l'Associazione ha promosso questo primo Convegno Nazionale. L'obiettivo era quello di stimolare gli ingegneri a riflettere sulla loro storia e nel contempo creare un forum dove potessero trovare spazio tutti gli studiosi già interessati ad essa. Si voleva in un certo senso promuovere un inventario e nello stesso tempo iniziare una costruzione. Il risultato raggiunto appare di grande rilevanza: sono state infatti presentate oltre cento memorie che investono la Storia dell'Ingegneria dall'antichità agli sviluppi più recenti ed interessano pressoché tutti gli aspetti del pianeta ingegneria. A questo ampio panorama hanno contribuito studiosi di ogni parte d'Italia; sono infatti circa trenta le Facoltà universitarie presenti. Si è dovuto constatare, invece, un limitato apporto da parte degli storici professionisti e degli archivisti, ma ciò è forse anche dovuto ad una tradizionale assenza di dialogo che ci si augura di rimuovere nel prossimo futuro.

4. *Il Convegno*

Gli Atti del Convegno testimonieranno quindi del diffuso interesse per la Storia dell'Ingegneria, costituiranno un punto di riferimento e nel contempo una presa di coscienza dell'importanza della storia, per riappropriarsi delle proprie radici ed acquisire quella consapevolezza del percorso compiuto, necessaria per meglio comprendere le numerose e difficili sfide che attendono l'ingegnere nel prossimo futuro.

Si ritengono fondamentali: la capacità di tenuta della sua formazione nel lungo periodo e l'urgente necessità di una formazione permanente, fondata su un'elevata conoscenza critica dei problemi da affrontare e non da un indottrinamento nozionistico, tipico della formazione aziendale; la necessità di creare nel Paese Centri di Eccellenza in

grado di reggere il confronto tecnico scientifico con il complesso mondo dell'innovazione tecnologica internazionale; una diffusa cultura criticamente consapevole dei numerosi problemi che tale innovazione produce nell'impatto con la società civile.

Solo al fine di non lasciare nel vago le precedenti affermazioni si indicano una serie non esaustiva di problematiche che vedono l'ingegneria protagonista e che incidono sullo sviluppo economico, sociale e culturale del Paese.

L'ingegneria civile, e più in particolare la nuova ingegneria edile-architettura, è chiamata ad elevare gli standards qualitativi dell'industria edilizia, anche limitando un incontrollato sviluppo che mette sempre più in difficoltà una corretta gestione del territorio sul quale l'ingegneria è chiamata ad intervenire con una progettualità finalizzata alla sua conservazione e non al suo irrazionale sfruttamento. Allo stesso modo è necessaria una più consapevole gestione e progettazione della viabilità e dei trasporti, settori che sempre più, nel bene e nel male, appaiono come elementi portanti della vita collettiva, e incidono pesantemente sulla natura antropizzata.

Un discorso a parte merita l'ingegneria per i beni culturali. In questo settore si è chiamati ad assumere un ruolo di protagonisti nella conservazione del patrimonio costruito, conservazione sempre più fondata su basi storico scientifiche ed alla quale l'ingegneria partecipa con molteplici competenze, da quelle geotecniche-strutturali, a quelle tecnologiche, dalla fisica ambientale all'impiantistica, dall'ingegneria chimica a quella dei materiali. È questo peraltro un settore di sfida della moderna ingegneria, chiamata ad una puntuale conoscenza della storia del costruire e ad un serrato confronto con la storia dell'architettura e con la storia materiale.

D'altro canto l'ingegneria industriale deve fare i conti con la fine dell'industria tradizionale e con i processi di robotizzazione ed informatizzazione che trasformano il tessuto industriale e i suoi addetti, provocando inoltre profonde lacerazioni nel tessuto sociale. E mentre la produzione di energia pone gravi problemi e richiede soluzioni innovative alla ricerca scientifica e tecnologica, l'ingegneria è chiamata a nuovi traguardi nella progettazione industriale, come ad esempio, nell'ingegneria dei materiali, nell'industria alimentare e in quella dei rifiuti che si riconnette ai problemi energetici. Infine l'ingegneria della informazione sta reinventando il rapporto epistemologico tra scienza e ingegneria e si proietta verso un mondo futuro dalle ignote frontiere.

Su questa complessa ed intrigante problematica aleggia il peso di una ingrata congiuntura nella quale la storia cerca di riprendere vecchi ed obsoleti percorsi, a tutto discapito del procedere della ragione che ha prodotto negli ultimi due secoli quel progresso scientifico che ha cambiato la conoscenza del mondo e le condizioni di vita dell'umanità.

Tutti questi aspetti si ritrovano negli Atti del Convegno, talora in maniera più

generale ed esplicita, altre volte invece in maniera più indiretta ed implicita, e ciò proprio a dimostrazione della forza della storia nel renderci consapevoli dei problemi e dei processi del vivere contemporaneo.

5. *Conclusioni e prospettive*

La prima significativa conclusione di quanto detto è che l'Ingegneria italiana rivendica un ruolo portante nello sviluppo del Paese ed è cosciente che il rapporto Ingegneria – Società svolge un ruolo fondativo nell'evoluzione della civiltà. Inoltre l'Ingegneria italiana è ben cosciente del difficile guado che è chiamata ad attraversare tra la vecchia struttura socio – economica della civiltà industriale e i nuovi scenari della civiltà informatizzata. È per questo che gli ingegneri devono riappropriarsi del loro glorioso passato ed essere consapevoli che solo elevando ed ampliando la loro base culturale possono sfuggire al pericolo di essere ridotti a quadro tecnico, continuando a detenere quelle elevate funzioni direttive e di indirizzo che ne hanno caratterizzato il ruolo nell'ultimo secolo.

Queste conclusioni ci si augura che guidino le azioni delle Facoltà di Ingegneria e degli Ordini professionali che, pur avendo ruoli istituzionali e compiti notevolmente diversi, sono chiamati a svolgere azioni convergenti nella direzione della strategia esposta; le Facoltà curando opportunamente la formazione di base e quella permanente, gli Ordini promuovendo un alto livello di professionalità tra i propri iscritti e la capacità culturale sia di cogliere tempestivamente le innovazioni che gli ingegneri sono chiamati a gestire, sia di partecipare da protagonisti allo sviluppo della nuova società globalizzata e multietnica.

Non si ha certo la presunzione di suggerire proposte, ma solo di indicare alcune prospettive di lavoro che potrebbero favorire la strategia culturale sottesa alla fondazione dell'Associazione e alla realizzazione del Convegno.

Si è già proposto ai Presidi delle Facoltà di Ingegneria e di Architettura di indicare un referente per la Storia dell'Ingegneria. Ci si augura così di poter creare una rete nazionale per l'informazione e la discussione dei progetti. Sarebbe molto importante l'istituzione di una consulta permanente per la Storia dell'Ingegneria presso ogni Facoltà; essa potrebbe svolgere un corso almeno per le scuole di dottorato, organizzare seminari e conferenze, seguire iniziative specifiche per la promozione della cultura dell'ingegneria.

Un altro importante progetto sarebbe la valorizzazione del patrimonio librario ed in particolare dei fondi di libri antichi. Si tratta di raccolte preziose e poco note che andrebbero catalogate e rese consultabili. Di particolare valore il fondo napoletano che siamo certi di vedere "a breve" valorizzato con l'impegno fattivo del nostro giovane ed autorevole Preside. Parallelamente al patrimonio librario sarebbe importante recuperare e valorizzare le antiche attrezzature scientifiche vuoi pubblicandole, come ha recentemente fatto il Po-

litecnico di Milano in uno dei volumi della bella collana "Scintille", vuoi realizzando un museo diffuso nei vari luoghi delle Facoltà, con un catalogo messo in rete, come da anni si auspica per la Facoltà dell'Università Federico II. Infine si potrebbe cercare di mettere in rete una rivista "on line" che realizzi un forum di confronto nazionale. Iniziative parallele ci si augura che maturino presso gli Ordini professionali che possono diventare un'attiva rete di diffusione culturale in tutto il Paese.

In conclusione, nel ringraziare tutti gli Autori e quanti hanno contribuito alla realizzazione di questo importante Convegno, auspichiamo che esso possa costituire il punto di avvio di un rinnovato impegno culturale per il vasto ed articolato pianeta dell'Ingegneria italiana.

[1] S. Settis, *Futuro del Classico*, Einaudi, Torino, 2004.

[2] Si confronti ad esempio Ch. Singer e altri, *Storia della Tecnologia*, tomi 16, Bollati Boringhieri, Torino, 1996.

[3] Si ricordano ad esempio i volumi editi dalle Scuole di Milano (1941), Torino (1959), Napoli (1811-1967).

[4] Si vedano tra gli altri: F. Strazzullo, *Architetti e ingegneri napoletani dal '500 al '700*, Ed. G. e M. Benincasa, Napoli 1969; G. Foscari, *Dall'arte alla professione. L'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, Ed. Scientifiche italiane, Napoli, 1985.

[5] Si citano ad esempio: A. Di Biasio, *Carlo Afan de Rivera e il Corpo dei Ponti e Strade*, Amm. Provinc. Latina, Minturno, 1993; V. Cardone, *Gaspard Monge Scienziato della Rivoluzione*, CUEN, Napoli; V. Cardone, *Pedro Luis Escrivà*, CUES, Salerno, 2003; A. Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Electa Napoli, Napoli, 1992; *Scienziati-Artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria*, a cura di A. Buccaro, F. De Mattia, Electa Napoli, Napoli, 2003; *Dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*, a cura di A. Buccaro, S. D'Agostino, Hevelius, Benevento, 2003.

[6] S. Bobbio, S. D'Agostino, F. Gasparini, *Vers un role nouveau pour l'ingenieur: sa formation culturelle par rapport aux sciences humaines*, Conferenza S.E.F.I., Unesco, Parigi, 1980.

[7] E. Benvenuto, *La Scienza delle Costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, Firenze, 1981. Si veda anche: E. Benvenuto, *An introduction to the history of structural mechanics*, Springer Verlag, New York, 1991.

[8] V. Marchis, *Storia delle macchine. Tre Milleni di cultura tecnologica*, Ed. Laterza, Roma-Bari, 1994; G. Pulci Doria, *Il Corso di Idraulica a partire dallo sviluppo storico-sociale della disciplina*, CUEN, Napoli, 1998; S. Bobbio, Voce *Elettrotecnica* della Enciclopedia Italiana; M. Ceccarelli (a cura di), *Intern. Symp.on History of Mechanics and Mechanisms*, Kluwer Academic Publishers, 2004.

[9] Università di Salerno, Facoltà di Ingegneria, incontro di studio: *Per un nuovo rapporto tra ingegneria e storia*, 14 dicembre 2004; Università di Genova, Facoltà di Architettura, Convegno Internazionale: *Construction History Research Perspectives in Europe*, 17-18 dicembre 2004.

[10] Museo di Storia Contemporanea, *Tecnica ed Economia in Italia: il ruolo degli ingegneri*, Milano, 15 giugno 2005; Università di Palermo, Facoltà di Ingegneria, incontro di studio: "La Storia dell'ingegneria e degli studi di ingegneria in Italia ed a Palermo", Palermo, 27 gennaio 2006.

Luigi Vinci

Il contributo dell'Ordine Professionale per la Storia dell'Ingegneria

Nella tradizione dell'Ingegneria napoletana vi è da tempo una consonanza di intenti ed un rapporto costruttivo tra l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli e la Facoltà di Ingegneria dell'Università Federico II. Membri della Facoltà hanno sempre partecipato molto attivamente allo stesso Consiglio dell'Ordine e di continuo si realizzano attualmente comuni manifestazioni che riguardano sia l'orientamento dei giovani sia la formazione permanente. Inoltre l'Ordine degli Ingegneri di Napoli è stato sempre pronto a sostenere con il proprio contributo seminari, convegni e mostre sui più diversi temi dell'Ingegneria.

In particolare piace qui ricordare la mostra Scienziati – Artisti incentrata sulla formazione e ruolo degli Ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli, svoltosi presso l'Archivio di Stato dal maggio 2002 al marzo 2003, della quale è stato edito il catalogo a cura di Alfredo Buccaro e Fausto De Mattia per i tipi di Electa Napoli; nonché il Convegno: "dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria" i cui atti sono stati pubblicati a spese dell'Ordine e a cura di Alfredo Buccaro e Salvatore D'Agostino da Hevelius Edizioni. È stata quindi immediata l'adesione mia personale e del collega Ferdinando Passerini all'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria della quale ci onoriamo di essere soci fondatori.

Il particolare momento storico caratterizzato da nuove strutture formative, da una notevole varietà di specializzazioni, dal confronto sempre più serrato con l'Europa, e dal cambiamento di ruoli vuoi nella professione, vuoi nelle strutture industriali, richiedono all'ingegnere una cultura consapevole dell'evoluzione dello sviluppo tecnologico e della sua influenza sulla Società.

Da qui l'esigenza di un rapporto cogente con la Storia ed in particolare con la Storia dell'Ingegneria.

E' pertanto motivo di orgoglio per l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli aver contribuito fattivamente, unitamente all'Ordine della Provincia di Salerno, all'organizzazione del 1° Convegno Nazionale ed alla pubblicazione degli Atti che costituiranno negli anni una importante fonte di interessi.

Sono certo che gli Ordini degli Ingegneri, i quali costituiscono una vasta rete di organismi presenti in tutto il Paese, vorrano stimolare lo sviluppo e l'incidenza del passato nella moderna cultura dell'ingegneria, impegnandosi a promuovere, insieme all'A.I.S.I., ulte-

riori iniziative su tanti temi nei quali l'ingegneria è chiamata a svolgere un ruolo essenziale che sempre più deve, anche attraverso la conoscenza della propria storia, essere caratterizzato da una consapevolezza critica del fare.

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

Maurizio Torrini

La Storia della Scienza e il fondamento del saper fare

La storia accompagna la nascita della scienza moderna. Se non proprio consanguinee, storia e scienza moderna, possono essere considerate almeno coetanee. Entrambe, infatti, emergono dalla crisi del sapere tomistico-aristotelico che aveva dominato per più di quattro secoli l'Europa colta, prendendo avvio dalla messa in discussione di quel concetto di verità che il medioevo e la scolastica consegnavano all'età moderna. Una verità già tutta scritta nei testi di Aristotele, come di Galeno e di Tolomeo, tutta dispiegata nei commenti degli scolastici che le toglievano ogni spessore temporale, che ne impedivano ogni scansione. Come nei libri sacri, così in quelli degli uomini, la verità era là, nelle pagine di Aristotele, di Tolomeo, di Galeno: si trattava solo di intenderle, al massimo di commentarle. In fondo, l'ideale dell'uomo del XIII, come XV secolo, sarebbe stato quello di avere accanto al proprio scrittoio Aristotele, Tolomeo, Galeno e lasciar loro la penna.

Storia, tutto sommato, sono i due testi fondamentali della scienza moderna. Storia è il *Discorso sul metodo* di Descartes, la storia della propria conquista della verità, attraverso il giudizio crudo e il confronto aspro con il sapere quale gli era stato tramandato. Storia è ancora il *Dialogo sui massimi sistemi* di Galileo, se storia è confronto di dottrine, se è discussione di punti di vista, se è ricerca di come si formano i giudizi e si generano i pregiudizi. Là una storia individuale del processo di avvicinamento al vero sapere, la *sagesse*, qui la storia di un incontro-scontro tra teorie e visioni del mondo alternative, la nuova e la vecchia scienza.

La sostituzione del concetto di progresso a quello secolare di verità, di una medesima verità, è il risultato più sconvolgente a cui perviene agli inizi del secolo XVII la nuova scienza, quella scienza che dalla rivoluzione dei cieli immaginata da Copernico alla metà del Cinquecento scenderà sulla terra e i suoi fenomeni, sull'uomo e le sue passioni e che, attraverso Galileo e Cartesio, Hobbes e Harvey, Leibniz e Newton, Grozio e Locke, nel corso di un secolo cambierà radicalmente l'immagine del mondo e dell'uomo. Chi fosse nato nella seconda metà del XVI secolo e fosse vissuto fino alla metà di quello successivo, ed è il caso di Galileo, avrebbe in tal modo percorso la propria vita in due mondi completamente diversi, se non proprio estranei, certo irriconoscibili l'uno per l'altro. Per la prima volta nel campo del sapere scientifico e filosofico (scienza e filosofia sono ancora, e lo saranno ancora per molto tempo, legate), si introduce la nozione del tempo, del prima e del dopo: la storia del sapere umano acquista una dimensione oriz-

zontale, scandita dalle epoche e dall'età delle nazioni.

Per quanto indubbiamente figli della cultura rinascimentale e del suo programma di rivalutazione del sapere antico contrapposto all'imbarbarimento medievale, gli uomini della rivoluzione scientifica non provavano nessuna venerazione per gli antichi e per le loro 'scoperte' (con poche e rare eccezioni quali Archimede e Platone): come poteva il mitico viaggio di Giasone alla ricerca del vello d'oro attraverso il Mar Nero reggere il paragone con i viaggi negli oceani susseguitisi da Colombo in poi? E qual'era il pregio della geografia di Tolomeo che faceva terminare il mondo alle Colonne d'Ercole, in confronto alle dimensioni del nuovo mondo? E gli animali, le piante, persino gli uomini nuovi che nel corso di appena un secolo erano rimbalzati dalle nuove terre lacerando le pagine e le teorie di Aristotele e di Teofrasto gettavano dubbi e inquietudini persino sul racconto biblico della creazione del mondo. Nel cielo non soltanto si rivoluzionano le posizioni della Terra e del Sole, ma si scoprono nuovi corpi (i satelliti di Giove), mentre quelli già noti come la Luna, Venere, Saturno cambiano aspetto; il firmamento, affollato da una quantità innumerabile di stelle, appare di un'estensione infinita, rendendo sempre meno credibile l'idea che il mondo, questo mondo immenso e così complesso, sia stato fatto per l'uomo. La stessa invenzione di strumenti, come il cannocchiale e il microscopio, se apriva grandi e piccoli mondi mai visti *prima*, faceva intendere la provvisorietà dei risultati raggiunti, faceva prevedere un *dopo* altrettanto nuovo. «Queste novità – scriverà Campanella – di verità antiche, di novi mondi, nove stelle, novi sistemi, nove nazioni etc., sono principio di secol novo».

L'uomo imparava a convivere con un mondo di certezze provvisorie, vere al momento della loro scoperta o della loro elaborazione, ma destinate domani a essere 'superate' o addirittura smentite. *Veritas filia temporis* scrive Giordano Bruno, la verità è figlia del tempo, ed è per questo che, rovesciando l'immagine medievale dei moderni visti come nani sulle spalle dei giganti, si potrà sostenere che «il Mondo non fu mai più antico di quel che è oggi ond'è che molte di quelle opinioni che insegnasi da' Filosofi, quando il Mondo era giovane, oggi che egli è cresciuto d'età rassembrano appunto quelle favole, colle quali soglionsi tenere a bada i fanciulli.»

Verità che si dispiegano nel tempo dunque, il che non voleva dire affatto verità probabili o approssimazioni, ma casomai verità provvisorie o verità possibili, come possibile era appunto il mondo descritto da Cartesio nel suo saggio omonimo del 1632. «Chi vorrà asserire – scriverà Galileo – già essersi veduto e saputo tutto quello che è al mondo di sensibile e di scibile?». È evidente che questo tipo di verità era destinato subito a scontrarsi, in modo drammatico e persino tragico, con ogni forma di sapere dogmatico, teologico o filosofico, affermando, proprio sulla scorta del divenire del sapere, la *libertas*

philosophandi, la libertà di filosofare, non riconoscendo a nessuna filosofia, a nessuna concezione, la possibilità e la capacità di comprendere da sola e sola tutti i fenomeni del mondo, della vita e dell'uomo. «Dopo che la filosofia – scriverà Antonio Genovesi negli *Elementi di fisica sperimentale* – cessò di essere sotto la tirannia di Aristotele, e che la dittatura di Cartesio venne in breve a fine, né l'autorità del Leibniz, né quella di Newton valsero a stabilire la monarchia: la repubblica de' filosofi diventò prima aristocratica e poscia democratica».

Proprio Antonio Genovesi, il grande filosofo ed economista napoletano, ripubblicando a Napoli alla metà del secolo XVIII il fortunato manuale di fisica newtoniana dell'olandese Musschenbroek, vi premetteva una *Disputatio critico-historica de rerum corporearum origine et constitutione*, vero e proprio profilo di storia della scienza, il primo in Italia, intorno a «la storia de' sentimenti de' filosofi toccanti i principi della Natura». Collocandola in testa a un manuale di fisica, Genovesi voleva sottolineare e riaffermare, di fronte al rapido fluire delle scienze e delle teorie scientifiche di ogni età e di ogni popolo, il significato della natura delle cose, per «estrarre dal confuso ammasso di tutta la materia le prime, semplici e universali idee, dalle quali è forza che cominci la sintesi, e che tutta la scienza, non altrimenti che macchina su certi perni, si avvolga». La storia, dunque, secondo Genovesi, come 'preistoria filosofica' delle scienze, esigenza unificante e fondante, come regola, come ideale operoso nel processo del tempo, del mutare del sapere scientifico e delle tecniche, giacché «ogni arte per vile che sia ha i suoi principi, e il suo meccanismo, che non può essere avvertito che dal filosofo. E quindi è che le teorie dell'arte le più vili si possono ridurre a scienza.»

Un secolo di discussioni filosofiche e di scoperte scientifiche aveva cambiato l'immagine del mondo, aveva prodotto una radicale trasformazione degli intelletti. La figura dello scienziato, del filosofo, era del pari profondamente mutata. Il solitario interprete dei segni e delle cose degli astri, lo zelante commentatore dei testi aristotelici, circondato dal carisma di un rapporto esclusivo con la verità che solo a lui si rivelava, era un'immagine anacronistica. Cartesio aveva parlato a tutti gli uomini dotati di buon senso; Galileo si era rivolto ai giovani gentiluomini delle corti e delle curie, ai «borghesi» delle città; Bacone aveva indicato nel mondo degli artigiani e dei tecnici l'esempio da seguire per una trasformazione della scienza. Non solo, ma era venuto cambiando, e profondamente, il concetto medesimo di verità. L'enciclopedia delle scienze poteva esser dominata col metodo, ma non poteva più esser la proprietà esclusiva di un uomo, di una dottrina, di una rivelazione. La necessità di compiere estese osservazioni, di raccogliere e confrontare dati, di sperimentare con mezzi sempre più raffinati e complessi le domande da porre alla natura, resero impraticabile la conquista

solitaria della scienza e imposero, al contrario, una più larga pubblicità e diffusione delle idee.

Storia dunque non come cronaca delle tappe per la conquista della verità, né come scala per ascendere alle cime inviolate del sapere, ma come terreno in cui le verità si sono dispiegate e si sono formate nel confronto e nello scontro, nei loro rapporti con il complesso delle discipline, con gli umori della società e degli uomini, come campo dove il sapere è conquista temporanea, ma non per questo meno vera. Certo, un sapere destinato ormai, più che a generare sicurezze, a suscitare inquietudini e interrogativi, come la storia appunto, ma sempre da rinnovare e da tentare «con fatica grande», come scriveva Galileo, rimanendo compito «massimo e ammirando».

La rivoluzione scientifica inaugura quella che è stata definita la *connessione dinamica* tra scienza e tecnica. Tra le «grandi cose» che Galileo proponeva nel *Sidereus nuncius* (1610), all'alba della scienza moderna, accanto all'«eccellenza della materia» (il cielo) e alle «novità non mai udite» (satelliti di Giove in primo luogo), compariva «l'instrumento col quale al senso nostro quelle manifestate si sono».

Con quell'«instrumento» Galileo vede cose mai viste, ma soprattutto vede cose non altrimenti visibili, cose che si vedono solo attraverso e dentro lo strumento. Lo strumento diviene in tal modo un terzo elemento, tra l'esperienza e la ragione, tra le cose che si vedono, si sentono, si toccano, e quelle che si pensano, che si immaginano, si deducono. Un atomo come i satelliti di Giove osservati e scoperti da Galileo, per non dire dell'elettrone o della velocità della luce, sono o erano dati strumentali, imprenscindibili dallo strumento che ce li mostra e che li misura.

Agli strumenti è legata dunque la nostra idea di scienza. Senza quelli, senza i laboratori – le serie, le collezioni di strumenti in opera cioè – gli scienziati sono condannati, osservava agli inizi del secolo XIX il giacobino napoletano Matteo Galdi, a «spaziarsi inutilmente ne' campi delle teorie immaginarie». Strumenti e i tecnici che quelli costruivano. Tutti ricordano l'avvio dei *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* di Galileo, l'ultima sua opera uscita a Leida nel 1638, con l'elogio del «famoso arsenale» de' «Signori Veneziani», dei «proti», dei capotecnici cioè, preposti a «ogni sorte di strumenti e di machine».

L'interesse con cui la nuova scienza, la rivoluzione scientifica, guardò al mondo dei tecnici e degli artigiani costituisce un vero e proprio tratto comune che legò i protagonisti di quella rivoluzione, da Francis Bacon a Descartes, al di là persino dei modi e dei contenuti di quella. Nella polemica con la cultura ufficiale, quella aristotelica dettata dagli Studi, dove imperversano quelle che Leonardo definiva le «bugiarde scienze mentali», è al mondo degli artigiani, dei 'meccanici' che guarda il nuovo sapere per mettere le gambe alla nuova scienza: per loro, per i gentiluo-

mini, gli *amateurs*, per i dilettanti che affollano le corti cardinalizie, le libere città dell'Olanda, le anticamere dei potenti dello stato assoluto e dei signori dei piccoli stati, Galileo e Cartesio scrivono le loro opere nella loro lingua. Discipline come la matematica si frantumano nell'algebra di Cardano e di Viète, nell'architettura e nella scultura di Brunelleschi e di Ghiberti, nella geografia di Paolo Toscanelli, nelle meccaniche di Commandino e Tartaglia.

Questo conduce alla creazione di nuovi luoghi di incontro e di confronto, accademie, pubbliche e private, dove la frantumazione del sapere si potesse ricomporre sotto altri segni e con altri metodi, come sarà per i Lincei e poi con la toscana Accademia del Cimento e nella partenopea Accademia degli Investiganti. Ma questo induce anche a pensare, a immaginare altri spazi, nei quali il sapere si potesse incontrare con il fare, dove la secolare divisione tra il conoscere e l'operare venisse a finire. Ed ecco allora la *Casa di Salomone* della *Nuova Atlantide* di Bacone, dove «la conoscenza delle cause e dei segreti movimenti delle cose [serve] allo scopo di allargare i confini del potere umano verso la realizzazione di ogni possibile obiettivo».

Oppure, come per Descartes, costruire nel *Collège Royal* tanti grandi ambienti per ognuno dei mestieri, dotati di laboratori, pieni di strumenti meccanici necessari a quei mestieri, nei quali non solo fare esperimenti, ma fornire risposte e suggerimenti per ogni nuova scoperta.

Si sa quanto Galileo debba la sua formazione di 'meccanico' a Tartaglia e ai meccanici del secondo Cinquecento. È lì che ritrova Archimede, il *suo* Archimede, destinato con Platone al Pantheon dei maestri ideali. Proprio il suo più fedele e antico discepolo Vincenzo Viviani, ingegnere della Parte Guelfa, preposto cioè alle opere idrauliche del Granducato, avrebbe consacrato, nella sua vita del maestro (1717), l'immagine di un Galileo tecnico e artigiano, anche per metterlo al riparo, postumo, delle persecuzioni ecclesiastiche. La pericolosa rivoluzione di cui Galileo era stato in Italia e in Europa il primo interprete veniva sostituita dalla puntigliosa elencazione dei suoi ritrovati tecnici, a cominciare dal pendolo, e poi la bilancetta, le meccaniche, i termometri, il compasso, la calamita, il cannocchiale, il microscopio, il calcolo delle longitudini, il celatone, ecc. Si può dire che questo diviene il *leit-motiv* di tutta la *Vita* del Viviani, trasmettere l'immagine di un Galileo autodidatta dalle straordinarie doti naturali: «ne' primi anni della sua fanciullezza [per] dar saggio della vivacità del suo ingegno [...] esercitavasi per lo più in fabbricarsi di propria mano varii strumenti e macchinette [...] come molini, galere, et anco d'ogn'altra machina ben volgare [...] adattando alla machina nuovi pensieri, e scherzi di moti, purché non restasse imperfetta, e che vedesse operarla.»

Al di là delle forzature ideologiche, della creazione di miti, da Leonardo «omo sanza lettere» al Galileo scopritore e artigiano di Viviani, nel corso del

secolo XVIII è l'idea medesima della scienza, e del ruolo dello scienziato, che viene cambiando. Era ora, come dirà Antonio Genovesi, di far vedere «che si poteva essere filosofo con assai gloria, senza esser peso inutile agli altri uomini» e soprattutto dar vita a un'«astronomia senza essere mentitrice astrologia», a una «geometria non oziosa, ma perfettrice delle meccaniche», a una «fisica promotrice de' nuovi comodi, senza esser magia». Nell'*Encyclopédie* alla metà del secolo XVIII le due forme del sapere, quello teorico e quello pratico, venivano finalmente riconosciute e connesse, della prima dandone l'ordine e il concatenamento, della seconda esponendone i principi generali alla base di ciascun 'mestiere' o 'arte' e i particolari che ne costituivano il corpo e la sostanza.

Trovava in tal modo sanzione, sia pure ancora in un'opera di avanguardia, il carattere peculiare della scienza moderna, la nostra scienza, che legava le conquiste del sapere alla loro applicazione pratica. Non solo, ma si istituiva un circolo virtuoso tra il sapere e la società civile, un rapporto di «scambievole benefizio», nel quale al sapere spettava di accrescere la conoscenza, alla società di piegare quella progressiva, inarrestabile conoscenza ai propri bisogni. La rinascita, dopo un plurisecolare oblio, delle funzioni e del ruolo delle università, quale si generalizzò nell'Europa del XIX secolo, dava conto di quanto lo stato e le sue istituzioni riconoscevano al sapere scientifico e all'importanza della sua diffusione, trasformando ciò che era stato il gusto del principe in una funzione dello stato.

Se ancora nell'*Encyclopédie*, così come nella precedente *Cyclopedia* di Chambers, il ruolo dell'ingegnere conservava l'origine rinascimentale che ne faceva un tecnico addetto soprattutto alle fortificazioni o alla marina, un militare insomma, proprio quella riorganizzazione del sapere, complessivamente inteso, che prese avvio nell'Europa post-napoleonica, disegnò una professione e un compito tutto nuovo. A poco più di un secolo di distanza, in un mondo rapidamente mutato, il primo e il più grande fisico teorico italiano sarà l'ingegnere Enrico Fermi, mentre a dare avvio alla seconda rivoluzione scientifica sarebbe stato Albert Einstein, addottoratosi al Politecnico di Zurigo.

Luciano De Menna, Luigi Verolino

Obiettivi di una Storia della Scienza e della Tecnologia con funzioni terapeutiche

Questo nostro terzo millennio, apparentemente nato all'insegna del trionfo della Scienza e della sua ancella, la Tecnologia, presenta invece proprio su questo fronte delle pericolose debolezze. È sempre più evidente, infatti, che l'opinione pubblica oggi vede la Scienza non più come sinonimo di progresso e di benessere, ma anzi essa evoca spesso per l'uomo comune spaventosi scenari di morte e distruzione. Di qui il fiorire di atteggiamenti non razionali che si manifestano in diversi campi. La magia, per esempio, è una componente molto apprezzata (più che mai!) nella letteratura, nel cinema e nella televisione, un magia che spesso usa il linguaggio della moderna tecnologia; fenomeni che la scienza non riesce ancora a spiegare vengono interpretati in chiave fantastica, e come tali accettati senza alcuna riflessione critica; il "miracolo" è la prima spiegazione che viene proposta e non solo in ambienti con un basso livello di istruzione, come sarebbe da aspettarsi; è nata una falsa "ecologia" che di fronte ai gravissimi problemi dell'ambiente, si accontenta e promuove spiegazioni semplicistiche, ma facili da far accettare e che spesso fanno più danni dei mali che si pretende curare; le stesse religioni tendono ad uscire dall'ambito che è loro proprio –e che è un campo in cui la Scienza per definizione non può entrare– e propagandano atteggiamenti fideistici ed irrazionali come risposta a problemi gravi e dolorosi per i singoli individui e per la collettività.

Val la pena di ricordare al riguardo le iniziali parole che, nel 2001, un gruppo di famosi scienziati ha scritto in un Manifesto per la libertà e la dignità della Scienza[1]. Parlando dei costi della non scienza, afferma testualmente: «Un fantasma si aggira da tempo nel Paese, un fantasma che sparge allarmi ed evoca catastrofi, terrorizza le persone, addita la scienza e la tecnologia astrattamente intese come nemiche dell'uomo e della natura e induce ad atteggiamenti antiscientifici facendo leva su ingiustificate paure che oscurano le vie della ragione. Questo fantasma si chiama oscurantismo. Si manifesta in varie forme, tra cui le più pericolose per contenuto regressivo ed irrazionale sono il fondamentalismo ambientalista e l'opposizione al progresso tecnico-scientifico. Ambedue influenzano l'opinione pubblica e la politica attraverso una comunicazione subdola: l'invocazione ingiustificata del *Principio di Precauzione* nell'applicare nuove conoscenze e tecnologie diviene una copertura per lanciare anatemi contro il progresso, profetizzare catastrofi, demonizzare la scienza».

Tutto questo contribuisce a creare una mentalità non scientifica e, quel che è peggio, non razionale, in un mondo che invece sempre più ha bisogno della Scienza e, naturalmente, di un corretto uso dei suoi risultati. Senza un uso corretto, e socialmente accettabile, della Tecnologia è ben difficile che il mondo possa soddisfare le richieste e le esigenze di una popolazione di più di sei miliardi di individui: e infatti oggi non lo fa e se ne vedono chiaramente le conseguenze.

Il fatto è che durante l'arco dell'ultimo secolo la quasi totale fiducia nella scienza e nel suo potere positivo, che aveva caratterizzato gran parte del secolo precedente, si è drammaticamente incrinata in qualche punto. Naturalmente il fenomeno non è nuovo e si potrebbe affermare che si ripresenta ciclicamente, in forme sempre diverse, nella storia dell'umanità, sia sul piano filosofico che nell'opinione pubblica: lo stereotipo dello "scienziato pazzo", che fa danni con le sue ricerche insensate, non è un'invenzione moderna.

Ma la situazione attuale ci sembra pericolosamente diversa a causa di alcuni radicali cambiamenti che nel secolo scorso hanno profondamente trasformato la società moderna. Ci sembrano estremamente rilevanti due di essi. In primo luogo, il mutato rapporto tra Scienza e Tecnologia, o, se si vuole, tra la Scienza e le sue applicazioni.

È la stessa struttura delle società avanzate, la loro stretta dipendenza delle economie di mercato a spingere verso una ricerca, e quindi una scienza, applicata: una ricerca, cioè, che abbia sempre una finalità concreta a breve termine, un'applicazione che sia spendibile sul mercato. Naturalmente, se è fuori luogo, e soprattutto fuori dei tempi, difendere una scienza completamente astratta e speculativa, che non si ponga anche dei fini applicativi, magari non sempre a breve termine, è anche assurdo pensare esclusivamente ad una ricerca applicata e trascurare quasi del tutto quella pura. Ma intanto è questa la situazione che si rischia di dovere fronteggiare oggi, specialmente in Italia, dove si fa sempre più fatica ad ottenere finanziamenti per la ricerca pura, mentre tutti inneggiano ad un tipo di ricerca applicata e di tecnologia di cui spesso non è chiara la reale utilità. In ogni caso la conseguenza di questa situazione è che Scienza ed applicazioni, e quindi Tecnologia, vanno sempre più a braccetto, tanto che spesso si rischia di confonderle. Questa stretta correlazione tra le due rende la Scienza più vulnerabile che in passato: una teoria sbagliata è una teoria sbagliata e basta, ma una teoria sbagliata che produce applicazioni sbagliate che fanno danni, magari anche vittime, è molto di più, naturalmente.

L'altro aspetto che ci sembra rilevante è il mutato impatto delle tecnologie, e del loro sviluppo, sulla vita quotidiana degli individui. Mentre in un passato abbastanza lontano la tecnologia coinvolgeva un numero limitato di addetti ai lavori, ed il resto della popolazione tutt'al più ne subiva gli effetti, nella società moderna la tecnologia è una componente indispensabile della

vita quotidiana. Un gran numero di persone si sente coinvolto, quindi, quando sono sul tappeto scelte di carattere tecnologico, il che è naturalmente un bene grandissimo, un portato della democrazia. Spesso però il coinvolgimento è solo apparente; l'uomo comune non ha gli strumenti per decidere con consapevolezza e finisce per essere soltanto un docile strumento nelle mani di poteri che o perseguono loro fini ed interessi o, nella migliore delle ipotesi, commettono errori di valutazione indotti da posizioni ideologiche. Ritornando a questo nuovo indebolimento del rapporto di fiducia nella scienza ed ai momenti chiave che l'hanno prodotto, bisogna dire che certamente la bomba atomica e tutte le vicende connesse al nucleare hanno avuto un ruolo importante. Ma hanno influito anche altri fattori come, per esempio, l'inquinamento chimico ed industriale, e, più recentemente, la genetica e le sue applicazioni, presenti o soltanto ipotizzabili.

Per molti aspetti, quindi, la sfiducia nella Scienza è una sfiducia mediata, che passa attraverso le sue applicazioni, e quindi attraverso la Tecnologia.

In effetti le così dette "scienze esatte", nell'immaginario collettivo, hanno tradito e quindi, con apparente deduzione logica, avendo sbagliato, non possono essere esatte. Il che poi denuncia la fondamentale incomprensione di cosa la Scienza effettivamente sia.

La Scienza si fonda sul presupposto, in fondo non dimostrabile, di poter sempre costruire un modello della realtà che si basi su di un numero ridotto di parametri, e che quindi per ciò stesso non è la realtà, che invece è determinata da un numero piuttosto elevato di parametri (infiniti!), difficilmente "conoscibile scientificamente". parametri del modello sono in relazione tra di loro e la Scienza ricerca le leggi che governano la dinamica della "parte" di realtà sotto esame (si badi bene, che le precedenti relazioni non sempre sono formalizzate come equazioni). Le relazioni in questione permettono di determinare le caratteristiche della dinamica e quindi prevedere risultati di esperimenti non fatti. Le Scienze esatte sono esatte per definizione, perché si occupano del modello. Naturalmente quanto più il modello è sovrapponibile alla realtà, tanto più esso, oltre ad essere utile e produttivo, ci aiuta a capire la realtà stessa e, quindi è un vero strumento di conoscenza: come potrebbe altrimenti predire il risultato,e quindi il "futuro", di esperimenti ancora non fatti.

La delusione profonda indotta da alcune applicazioni ha coinvolto anche il "metodo scientifico" e ha dato la stura a tutte le moderne forme di pseudo scienza, che spesso assumono, come abbiamo detto, anche connotazioni ideologiche e religiose.

In questa tragica deriva un ruolo drammatico e negativo lo hanno avuto i mezzi di comunicazione di massa, che, per altro, proprio nello stesso periodo hanno avuto un incredibile sviluppo e si trovano in quella che potremmo definire una grave crisi di crescenza. In molti, anzi in troppi casi, coloro che operano nel così detto "quarto potere"

non sono in grado di affrontare temi di carattere scientifico e tecnologico con la necessaria competenza e fanno un uso sconsiderato dell'enorme massa di informazioni che le nuove tecnologie mettono loro a disposizione. Spesso si ha l'impressione che alcuni interventi siano "sponsorizzati", con obbiettivi che non sono certo quelli di una maggiore chiarezza e comprensione.

Intanto, come si è detto, il terzo millennio non può fare a meno né della Scienza né della Tecnologia: le sue sfide ne hanno bisogno.

Queste considerazioni sono il presupposto su cui si fondano alcune proposte che ben si adattano ad un gruppo che intende lavorare nell'ambito di una Storia della Tecnologia e dell'Ingegneria. In primo luogo, quali sono stati i momenti chiave di questa incrinatura di fiducia, quali i fatti che l'hanno provocata e perché? A prima vista può sembrare un lavoro facile, ma bisogna comprendere che non basta la loro semplice individuazione: occorre indagare a fondo il momento storico, le cause, il ruolo delle varie componenti, la modalità con la quale essa si è realizzata. Quest'analisi può consentire, naturalmente, di fare tesoro degli errori passati per non ripeterli nel futuro, o almeno di ridurne gli effetti negativi; ma può anche, forse, quasi come in una cura psicoanalitica, individuando la causa e rivivendo il momento del trauma, produrre effetti curativi sulla coscienza e sull'opinione pubblica.

Tra i temi che ci sembra urgente trattare con questo approccio vogliamo elencare il caso, quasi tutto italiano, del nucleare, quello dell'inquinamento elettromagnetico, che in Italia ha portato ad una normativa che a volte è addirittura inapplicabile, quello del clima e della produzione di anidride carbonica, quello della genetica e delle sue applicazioni. Ma, naturalmente, ce ne sono molti altri.

Dalle premesse scaturisce anche che la cultura scientifica va difesa e protetta da tutti gli attacchi cui è sottoposta; c'è bisogno, si potrebbe dire, di una buona "propaganda scientifica". C'è bisogno di una sana divulgazione scientifica che non mistifichi e non illuda; che metta bene in evidenza cosa si può chiedere alla scienza e cosa, invece, è assurdo pretendere da essa. C'è bisogno di distinguere tra risultati della ricerca scientifica e tecnologica ed il loro uso, che è sempre soggetto ad altri poteri con altri condizionamenti e obiettivi. Questo naturalmente non esime gli operatori della ricerca dall'avere una coscienza ed una moralità che impedisca loro passi sconsiderati e non ponderati, anche se è assurdo affidarsi esclusivamente alla "moralità" degli operatori della ricerca scientifica e tecnologica. L'analisi storica di singoli casi, situazioni, responsabilità, fatta con competenza scientifica dei temi trattati, può produrre un effetto chiarificatore sia negli addetti ai lavori che nell'opinione pubblica.

C'è bisogno, infine, di riavvicinare in modo corretto i giovani alla scienza ed al metodo scientifico. Quest'ultimo punto pone il problema della formazio-

ne e della situazione in cui versa il sistema formativo italiano oggi. L'interpretazione che si è data in Italia del modello a due livelli di laurea, la prima triennale e la seconda con due anni aggiuntivi, ha portato ad un impoverimento eccessivo di contenuti formativi nel primo livello, dove, confondendo professionalità e specializzazione, si sono costruiti curricula che, nella migliore delle ipotesi, sono eccessivamente nozionistici e non creano le basi sulle quali dovrebbe fondarsi la successiva "laurea magistrale". I nostri attuali laureati, anche in discipline scientifiche e tecniche, hanno spesso una visone molto deformata del metodo scientifico.

Il problema andrebbe naturalmente affrontato alle radici, dalla Scuola, dove si perpetuano le più grandi nefandezze sul corpo vivo della Scienza. Di questo si è resa conto anche l'Unione Europea, sulla base di una indagine che ha dimostrato quanto la vocazione scientifica dei giovani dell'Europa sia in forte calo. Per una comunità che ha come obiettivo dichiarato di diventare entro pochi anni la più "knowledge based" del mondo, questo è un campanello d'allarme che non si può ignorare. A questo dato fa contrasto l'interesse che gli stessi giovani hanno per tutto ciò che è tecnologico, dimostrato anche dal linguaggio che usano, infarcito di termini tecnici e scientifici. Infatti, quegli stessi giovani che si allontanano da una carriera scientifica sono poi molto attratti da quella che viene definita educazione scientifica informale o non formale, cioè quella che non si realizza nell'ambito di uno schema di formazione ufficiale e scolastico. Tutto questo punta il dito sul modo in cui ci si avvicina alla scienza in ambito scolastico, sulla qualità e preparazione degli insegnati e sul tempo dedicato alla formazione scientifica. Su questa tematica l'Unione Europea ha finanziato un progetto, nell'ambito del Sesto Programma Quadro, denominato PENCIL, Permanent European Resource Centre for Informal Learning, che vede coinvolti quattordici Centri della Scienza europei e due Università: la Fedeico II di Napoli ed il Kings College di Londra. L'obiettivo è quello di studiare la possibilità di esportare verso il mondo dell'educazione formale esperienze e modalità caratteristiche dell'educazione informale. Ma, anche se si affrontasse correttamente il problema della formazione scientifica fin dai banchi della scuola, resterebbe il problema di una informazione corretta di tutti cittadini durante l'intero arco della loro esistenza.

Noi riteniamo che il riesame storico in chiave scientifica di eventi che hanno particolarmente influenzato l'opinione pubblica, o di fatti anche meno eclatanti, ma che sono sotto gli occhi di tutti, possa contribuire alla chiarificazione ed alla formazione di una coscienza pubblica. Come esempio della prima tipologia basta citare il caso Chernobyl: è stato mai fatto uno sforzo onesto per cercare di spiegare alla gente cosa realmente è successo a Chernobyl il 26 aprile del 1986? Ma ci sono anche altri episodi della nostra storia recente, molto meno drammatici, perché non hanno fatto danni alle persone, ma che hanno

tuttavia prodotto un danno economico spesso non indifferente: si pensi alla cablatura con fibre ottiche di molte città italiane, realizzata alcuni anni fa e attualmente in gran parte in disuso e totale abbandono. Fu l'inizio della crisi della vecchia Telecom e della perdita del suo monopolio. Bisogna riconoscere che troppe volte la voce degli scienziati e dei tecnici è stata debbole e divisa, anche su temi dove c'erano tutti gli elementi per essere chiari ed unitari. Questo è in qualche modo inevitabile, ma bisogna lavorare perché accada sempre meno frequentemente. Ci sembra che l'approccio storico, con metodo e competenza scientifica, sia la strada giusta per ottenerlo.

[1] Dal sito http://www.galileo2001.it .

Vincenzo Ferone, Guido Trombetti

Matematica e Ingegneria: convergenze parallele

È ben noto che lo sviluppo iniziale della matematica è legato alle esigenze di amministrazione delle prime forme di società avanzate che si svilupparono tra il quinto e il terzo secolo a.C. intorno ai grandi fiumi in Africa e in Asia. Risultava necessario, ad esempio, costruire argini e dighe, scavare canali, regolare gli approvvigionamenti di acqua, gestire le riserve di cibo. Dell'amministrazione dei lavori pubblici si occupava una burocrazia stabile. Formata da uomini che conoscevano i mutamenti delle stagioni, i moti dei corpi celesti, l'arte di tracciare i confini dei campi e che sapevano come immagazzinare le scorte di cibo e riscuotere le tasse. Tra le innumerevoli conoscenze tecniche accumulate c'era evidentemente l'arte del contare e del misurare. La matematica ebbe quindi origine come scienza pratica. Con lo scopo di facilitare il computo del calendario, l'amministrazione del raccolto, l'organizzazione dei lavori pubblici e la riscossione delle tasse. Inizialmente fu naturalmente data importanza all'aritmetica pratica e alla misurazione. In altri termini, si può dire che la matematica sia nata per risolvere problemi concreti, spesso di carattere ingegneristico.

Già nell'ambito della civiltà greca comincia ad apparire la tendenza all'astrazione. Almeno fino al XIX secolo, sono però innumerevoli gli scienziati che hanno coniugato la capacità di ottenere risultati "astratti" con quella di affrontare e risolvere questioni "pratiche". Ad esempio, Archimede, che visse a Siracusa come consigliere del re Gerone, mise la sua abilità tecnica al servizio della difesa della città dagli attacchi romani. In realtà il suo interesse per le applicazioni suona strano quando lo si confronta con il disprezzo in cui tale interesse era tenuto dalla scuola platonica dei suoi contemporanei. La questione può essere chiarita da un'osservazione che compare nella *Vita Marcelli* di Plutarco:

"*(...) benché tali invenzioni gli abbiano guadagnato la fama di una abilità sovrumana, egli non volle lasciare dietro di sé alcuna opera scritta su tali argomenti, ma, riguardando come ignobile e sordido l'attendere alla meccanica e ad ogni tipo di arte che fosse diretta all'uso e al profitto, mise tutta la sua ambizione in quelle speculazioni la cui bellezza e raffinatezza non sono deturpate da alcuna commistione con i bisogni comuni della vita*".

Archimede si occupò prevalentemente di un settore che oggi chiamiamo calcolo integrale. Ottenne risultati sulle aree delle figure piane e sui volumi dei corpi solidi. E a tali questioni è collegato il famoso "principio di Archimede" che si può trovare nel libro *Galleggianti*, un vero e proprio Trattato di

idrostatica. La lista di scienziati, che si occupavano simultaneamente di matematica, filosofia, architettura, ingegneria, musica, pittura, scultura, etc., è enorme. Ad esempio Leonardo da Vinci, per il quale è superfluo dire qualunque cosa; Leon Battista Alberti che, come testimoniano le sue opere, sviluppò la sua architettura su solide basi di geometria; Tartaglia che nella sua *Nuova scienza* discuteva la costruzione di orologi e le traiettorie dei proiettili; Simon Stevin, che si occupò sia di baricentri che di idraulica.

A partire dal XVIII secolo, sia la matematica che l'ingegneria si sono sviluppate in maniera parallela. La matematica progressivamente si è slegata dall'applicazione immediata a problemi concreti. I matematici hanno iniziato a lavorare in campi via via sempre più specialistici. Noi pensiamo a Cauchy come ad un analista, a Cayley come ad un algebrista, a Steiner come ad un geometra e tuttora cataloghiamo ogni matematico in base ai suoi interessi di ricerca. Anche l'evoluzione dell'ingegneria moderna può esser vista come una storia di successive separazioni. Nel Settecento cominciò una distinzione sempre più marcata fra ingegneri militari e ingegneri civili. Con riflessi anche sulla struttura delle scuole di ingegneria che allora cominciavano ad apparire. Nell'Ottocento gli ingegneri civili (edili, idraulici, di ponti e strade) cominciarono a separarsi dagli ingegneri industriali. Più di recente perfino l'organizzazione ufficiale italiana degli studi di ingegneria ha riconosciuto l'opportunità di articolare gli studi in tre settori. Ingegneria civile. Ingegneria industriale. Ingegneria dell'informazione.

Questa tendenza di matematici e ingegneri a perseguire specializzazioni sempre più estreme ha prodotto, talvolta, fenomeni di incomunicabilità. Una sorta di sindrome da "separati in casa". Spesso i matematici ritengono che molti problemi concreti si risolvono "applicando" opportunamente teorie generali. Si concentrano pertanto sullo sviluppo di tali teorie piuttosto che sulle difficoltà delle applicazioni. D'altra parte talvolta gli ingegneri, pur riconoscendo l'utilità e il valore delle teorie generali, le considerano più che altro un lusso intellettuale. In altri termini, ritengono che la speculazione astratta fornisca solo un quadro più elegante alla soluzione, senza contribuire in modo più efficace alla soluzione dei problemi concreti. Ovviamente qui si procede con l'accetta. Non si può sostenere che tutti i matematici e tutti gli ingegneri siano inquadrabili nelle brevi descrizioni appena esposte. È però illuminante ricordare alcune opinioni autorevoli.

Neunzert [N] riporta che nel 1832 un non meglio identificato ingegnere inglese affermava: "*La stabilità di un edificio è inversamente proporzionale al sapere matematico del suo costruttore*". Poincaré [P] nel 1909 scriveva: "*Talvolta riusciamo solo a dimostrare le possibilità di un problema. Allora l'ingegnere trova che ciò è ridicolo e con ragione. Non ha molto interesse sapere quello che sarà utile all'ingegnere del*

XXII secolo; noi, d'altra parte, pensiamo altrimenti e siamo talvolta più lieti d'aver risparmiato un giorno di lavoro i nostri pronipoti che un'ora ai nostri contemporanei".

Può apparire stupefacente che un momento cruciale nello sviluppo dell'ingegneria sia legato anche all'azione di un matematico: Gaspard Monge. Infatti, con un decreto della Convenzione (ormai termidoriana) del 1794, viene istituita l'Ecole Centrale des Travaux Public, che l'anno dopo sarebbe divenuta l'Ecole Polytechnique. Tra i fondatori di tale istituzione ci fu proprio Monge. Egli, con la collaborazione di altri illustri scienziati, ne fissò l'ordinamento degli studi. La sua idea fondamentale era che una sola teoria costituisce la base delle diverse applicazioni in cui si articola l'attività dell'ingegnere. Non era pertanto ammissibile che ogni singola Scuola di Applicazione, di carattere particolare, esaurisse in sé l'intero arco di insegnamento, includente la teoria e le sue applicazioni. Al contrario il biennio preparatorio doveva fornire per tutte le diverse scuole di applicazione le conoscenze di base. Tali conoscenze erano di due tipi: quelle che dipendono dalle matematiche, necessarie per studiare la forma ed il movimento dei corpi, e quelle che dipendono dalla fisica (intesa in senso lato), necessarie per studiare l'essenza dei corpi ed i fenomeni che in essi hanno luogo. Molto probabilmente è a queste idee che bisogna risalire per comprendere perché per due secoli, nel campo dell'ingegneria, l'approfondimento della teoria ha preceduto lo studio delle applicazioni (oggi è ancora così?). Questa priorità della teoria rispetto alle applicazioni ha certo un suo indubbio fondamento sul piano logico ed anche, probabilmente, su quello didattico. È evidente che non sempre essa si manifesta anche nell'ordine storico. Un esempio classico è quello della macchina a vapore che si è diffusa prima della formulazione teorica della termodinamica ed anzi ne ha stimolato la nascita.

Sembra opportuno a questo punto fornire qualche informazione a proposito di Gaspard Monge (1746-1818). Egli fu quasi contemporaneo di Gauss, probabilmente l'ultima figura di matematico a padroneggiare con grande versatilità la matematica pura e applicata. Gauss arrivò a collaborare con Weber nell'invenzione del telegrafo elettrico. Monge invece fu uno dei primi matematici moderni. Lo possiamo ritenere uno specialista. Un geometra. Anche il suo modo di trattare le equazioni alle derivate parziali ha chiaramente un'impronta geometrica. Monge aveva iniziato la sua carriera come docente all'accademia di Meziéres. Lì le lezioni sulle fortificazioni gli fornirono l'occasione per sviluppare la geometria descrittiva come branca della geometria. Le sue lezioni furono pubblicate nella *Géométrie descriptive*. A Meziéres incominciò anche ad applicare il calcolo infinitesimale a curve e superfici nello spazio. I suoi lavori sull'argomento furono pubblicati nella *Application de l'analyse à la gométrie* che può essere considerato il primo libro di geometria differen-

ziale. Grazie all'influenza di Monge si cominciò a coltivare la geometria all'École Polytechnique. Nella geometria descrittiva di Monge risiedeva il nocciolo della geometria proiettiva. La sua completa padronanza nell'applicare metodi algebrici e analitici a curve e superfici contribuì in grande misura allo sviluppo della geometria analitica e differenziale. Sebbene Monge fosse un uomo di saldi principi democratici, si mantenne fedele a Napoleone e, nel 1815, quando ritornarono al potere i Borbone, Monge perse la sua posizione. Poco dopo morì. Tuttavia l'École Polytechnique continuò a fiorire secondo l'impronta originaria di Monge. Tra gli altri, furono docenti o studenti presso l'École, Joseph Louis Lagrange, Victor Poncelet, Augustin Fresnel, André Marie Ampère, Charles Dupin, Siméon Poisson, Joseph Fourier, Augustin Cauchy. Probabilmente la figura di Cauchy è quella che meglio mette in evidenza il ruolo importante che ha avuto (ed ancora oggi ha) l'École Polytechnique per lo sviluppo della matematica. Egli frequentò l'École conseguendo il grado di ingegnere nel 1809 e ottenendo l'anno successivo un posto presso il porto di Cherbourg. Si fece apprezzare per le sue qualità tecniche, ma il suo interesse più vivo era rivolto alla scienza pura. Proprio le solide basi acquisite presso l'École gli consentirono di mettere in evidenza le sue straordinarie doti di matematico. Dopo la restaurazione, nel 1816, Cauchy fu nominato membro della sezione di meccanica dell'Accademie des Sciences, in uno dei due posti resi vacanti in seguito alla rimozione di Carnot e Monge. Nello stesso periodo fu chiamato ad insegnare anche presso l'École Polytechnique.

Come già accennato, il nome di Monge è legato a varie questioni di interesse matematico originate da problemi legati all'ingegneria. Qui ci concentreremo sui suoi contributi alla geometria descrittiva e ai problemi di trasporto ottimo. Monge è considerato l'iniziatore della geometria pura moderna. Il suo insegnamento presso l'École Politechnique non solo formò generazioni di ingegneri, ma stimolò anche la rinascita della geometria sintetica che poi si sviluppò in maniera straordinaria nell'Ottocento. A tale proposito risulta molto interessante mettere in evidenza l'approccio "geometrico" di Monge alla risoluzione di problemi apparentemente complicati. Richiamiamo, ad esempio, la dimostrazione che egli propone del seguente teorema:

Tre cerchi qualunque del piano, considerati a due a due, hanno le tangenti comuni che si incontrano in tre punti allineati.

Facendo riferimento alla figura 1, il teorema stabilisce che i punti *A, B, C* sono allineati, qualunque sia la posizione dei tre cerchi. La dimostrazione di questa proprietà risulta particolarmente semplice se si considera il problema nello spazio, cioè se, invece dei cerchi, si considerano delle sfere e, invece delle intersezioni delle tangenti comuni a due cerchi, si considerano i vertici dei coni tangenti a due sfere. In altre parole, basta provare che:

Tre sfere qualunque dello spazio, considerate a due a due, hanno i vertici dei coni tangenti allineati.

Questa proprietà risulta assolutamente evidente non appena si osserva che i vertici dei coni tangenti giacciono sull'intersezione (che è una retta) dei due piani costruiti in maniera che siano tangenti alle tre sfere e che ciascuno lasci le sfere in uno stesso semispazio.

Ma, probabilmente, i contributi di Monge più importanti sono legati al problema della rappresentazione degli oggetti tridimensionali per mezzo di disegni bidimensionali. Tra il 1768 il 1818 egli si dedicò a tale questione e il suo metodo della doppia proiezione con ribaltamento rimase a lungo segreto militare poiché era utilizzato nella progettazione di fortificazioni. Nell'opera *Géométrie descriptive* egli fonda la geometria descrittiva e pone le basi per gli sviluppi ulteriori della geometria proiettiva legati anche alla figura di un suo allievo diretto: Jean Victor Poncelet.

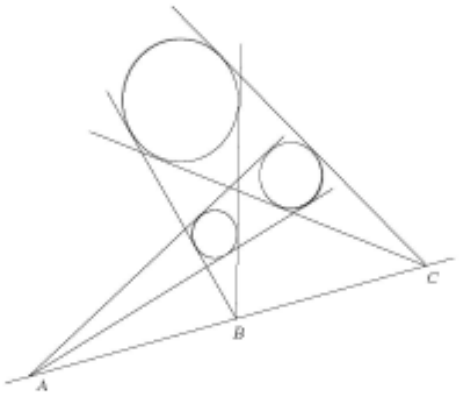


Fig. 1

La questione che non era stata ancora completamente chiarita riguardava la possibilità di descrivere in maniera completa ed esaustiva un oggetto reale facendo uso delle proiezioni. La dimostrazione del fatto che si può stabilire una corrispondenza biunivoca tra l'oggetto e il disegno è stata, nella sostanza, la svolta che ha aperto orizzonti inesplorati nel campo della geometria descrittiva. La geometria descrittiva può essere vista come un caso particolare della geometria proiettiva, che studia le proprietà delle figure che rimangono invariate sotto l'operazione di proiezione. Ad esempio, una proiezione centrale conserva l'allineamento dei punti, cioè se tre punti sono allineati, allora anche le loro proiezioni lo sono (vedi Fig. 2). La proiezione parallela, in più, conserva anche il parallelismo delle rette (vedi Fig. 3).

Gaspard Monge usò proprio quest'ultimo tipo di proiezione poichè è un caso in cui le proprietà invarianti sono tali da assicurare che la proiezione descrive compiutamente l'oggetto rappresentato e le relazioni tra le sue parti. Il metodo della doppia proiezione con ribaltamento può essere descritto brevemente come segue (vedi Fig. 4):

a) si scelgono due piani ortogonali che dividono lo spazio in quattro diedri e si intersecano lungo una retta *r* detta linea di terra;

b) posto l'oggetto da rappresentare in un diedro, se ne effettuano due proiezioni ortogonali, una su ciascun piano;

c) si ribalta il semipiano verticale in modo che diventi parallelo a quello oriz-

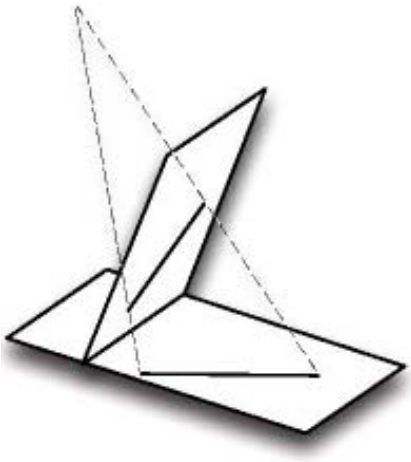


Fig. 2

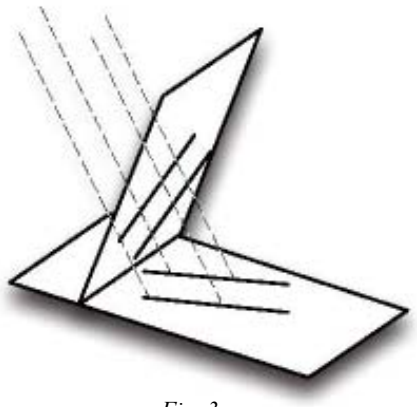


Fig. 3

zontale, ottenendo due proiezioni separate dalla linea di terra.

Il disegno così ottenuto ha la proprietà che ogni punto P dell'oggetto nello spazio ha le coordinate uguali alla distanza dalla retta *r* di opportuni punti P' e P'' presi sulle proiezioni, che si trovano sulla stessa perpendicolare a *r*. In questo modo possibile risalire dalla proiezione, cioè dal disegno, all'oggetto rappresentato.

Come già detto, Gaspard Monge, nella sua *Mémoire sur la théorie des Déblais et des remblais* apparsa nel 1781, diede anche origine ad una problematica, nota come trasporto di massa ottimale. Essa è diventata nel tempo un argomento classico in teoria della probabilità, in economia e in ottimizzazione. Per capire la portata del problema introdotto da Monge è interessante osservare due cose: in primo luogo, solo negli ultimi venti anni è stato possibile dare una risposta soddisfacente dal punto di vista matematico al problema posto da Monge in un ambito abbastanza generale; in secondo luogo, una forma semplificata del problema originale fu studiata da L.V. Kantorovich negli anni '40 e, per risultati ottenuti in economia e collegati a detto problema, il matematico russo ottenne il Premio Nobel nel 1975.

Una breve descrizione del problema può essere data come segue. Supponiamo di avere un certa quantità di sabbia ed una buca che vogliamo riempire completamente con la sabbia. Ovviamente la sabbia e la buca devono avere lo stesso volume, che, per semplicità, si può porre uguale a uno. Se si denota con *x* il generico punto in cui si trova la sabbia e con *y* il generico punto in cui si trova la buca, si introduce una funzione costo *c(x,y)* che quantifica il costo necessario per trasportare un'unità di massa da *x* a *y*. La questione da risolvere è la seguente: come si realizza il trasporto al costo più basso? Chiaramente questo stesso problema può essere posto in varie ma-

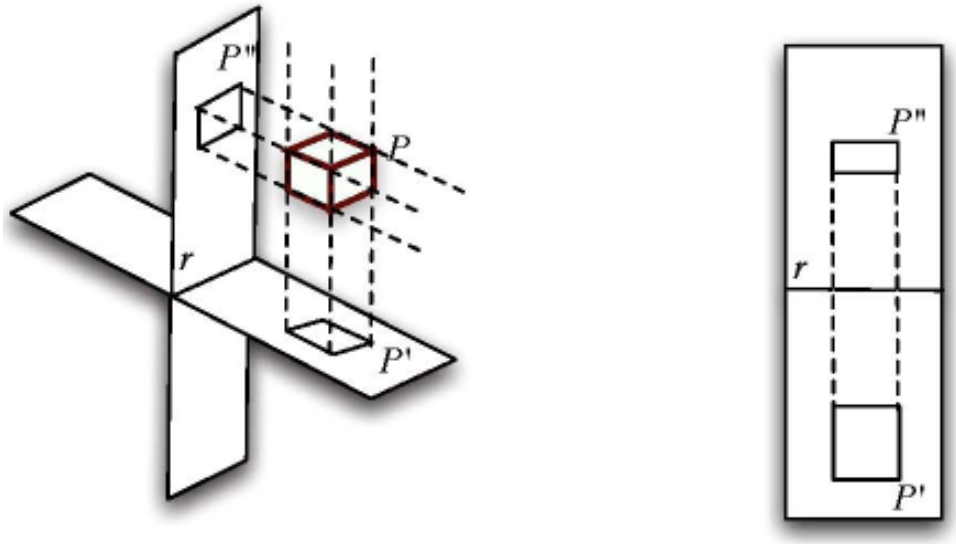


Fig. 4

niere. Ad esempio, si può pensare di avere una certa distribuzione di miniere ed una distribuzione di industrie che devono essere rifornite di ferro. La funzione costo sarà quindi quella relativa al trasporto di ferro dalla miniera *x* alla fabbrica *y*. Svariate altre formulazioni del problema possono essere proposte e va sottolineato che hanno avuto un enorme sviluppo quelle proposte in ambito probabilistico.

Se si torna alla formulazione iniziale che riguarda il trasporto di massa, il caso probabilmente più semplice ed intuitivamente chiaro è quello relativo alla situazione in cui la massa da trasportare è concentrata in un certo numero di punti, diciamo *k*, in ciascuno dei quali è concentrata una massa *1/k*; chiamiamo questi punti $\{x_1,...,x_k\}$ Si vuole trasportare tale massa in k punti $\{y_1,...,y_k\}$ in ciascuno dei quali si vuole concentrare una massa pari a *1/k*. In questo caso bisogna minimizzare la quantità

$$(1) \qquad \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} c(x_i, y_{\sigma(i)}),$$

al variare di *ó(i)* dove *ó(i)* è la generica permutazione dei primi *k* interi. In altri termini si minimizza la somma dei costi di trasporto dalla generica posizione x_i alla generica posizione y_j sotto il vincolo di considerare (una ed una sola volta) tutti i punti di partenza e tutti i punti di arrivo. Il problema diventa un problema di minimizzazione lineare e sono da tempo ben noti risultati che assicurano l'esistenza della trasformazione che realizza il trasporto ottimo, cioè della funzione *y = T(x)* che fornisce le coppie $(xi,y_{ó(i)}) = (xi,T(xi))$ in maniera che la somma (1) sia minima.

Quando la massa da trasportare non è necessariamente concentrata in un numero discreto di punti, ma è disloca-

ta secondo una certa distribuzione di massa f(x) definita su un insieme X, si tratta di minimizzare una quantità del tipo:

$$(2)\ J[T] = \int_X c(x, T(x))\, f(x)\, dx,$$

al variare di tutte le trasformazioni $y = T(x)$ che "trasportano" la massa dalla posizione iniziale in una certa distribuzione finale che può essere descritta da una distribuzione di massa $g(x)$ definita su un altro insieme Y (vedi Fig. 5).

La condizione di invarianza della massa diventa:

$$(3)\ \int_X f(x)\, dx = \int_Y g(y)\, dy = 1,$$

ma il vincolo da porre sulla funzione $T(x)$ diventa molto difficile da trattare, in quanto risulta essere fortemente non lineare. Per questa ragione, solo nel 1979 V. Sudakov [Su] fornì una dimostrazione dell'esistenza del minimo per il funzionale (2) in una situazione abbastanza generale. Tra parentesi va sottolineato che la dimostrazione di Sudakov conteneva qualche imprecisione e che la prima dimostrazione corretta appare nel 1999 ad opera di Evans e Gangbo [EG].

Quando si parla di minimo per il funzionale (2) si intende dire che esiste una funzione $y = T(x)$ in corrispondenza della quale J[T] assume il suo valore più piccolo. Va osservato che, in situazioni più generali di quelle in cui ci siamo messi, si possono fare esempi nei quali il funzionale analogo a quello in (2) non ammette minimo, ma solo estremo inferiore. Infine, una breve osservazione sul vincolo che deve essere soddisfatto dalla funzione $T(x)$ in (2). Esso è collegato all'invarianza della massa data dalla condizione (3) e, quando $T(x)$ è una funzione regolare, si può scrivere nella forma:

$$f(x) = g(T(x))|\det \nabla T(x)|.$$

Non dovrebbe essere difficile riconoscere che l'uguaglianza precedente proviene dalla formula di cambio di variabili negli integrali multipli.

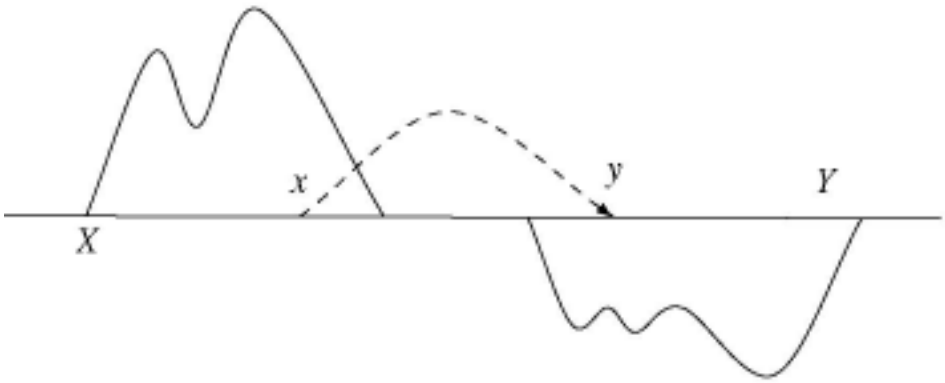


Fig. 5

Bibliografia

[EG] L.C. Evans W. Gangbo, "*Differential equations methods for the MongeKantorovich mass transfer problem*", Mem. Amer. Math. Soc. 137 (1999), n. 653.

[N] H. Neunzert (ed.), *Proceedings of the conference "Mathematics in industry"*, B.G. Teubner, Stuttgart, 1984.

[P] H. Poincaré, *Atti del IV Congresso Internazionale di Matematica*, Accademia dei Lincei, Roma, 1909.

[RM] P. Renno, A. Maio (a cura di), *Atti del Convegno "Insegnamento e ricerca matematica nelle facoltà di ingegneria*", Notiziario dell U.M.I., Supplemento al n.1 (1986).

[St] D.J. Struik, *Matematica: un profilo storico*, Universale Paperbacks il Mulino, Bologna, 1981.

[Su] V.N. Sudakov, "*Geometric problems in the theory of infinitedimensional probability distributions*", Proc. Steklov Inst. Math. 141 (1979), 1–178.

[Vi] C. Villani, T*opics in optimal transportation, Graduate Studies in Mathematics*, 58, American Mathematical Society, Providence, RI, 2003.

Vittorio Marchis

Per una Teoria e Storia dell'Ingegneria

È quasi superfluo ricordare come la società contemporanea trovi i suoi fondamenti culturali in una dimensione in cui l'industria e la produzione di beni materiali, soggiacciono al paradigma, ben stigmatizzato da Walter Benjamin, della "riproducibilità tecnica". Oggi, all'alba del XXI secolo, sembra quasi che questo paradigma passi in secondo piano di fronte alle nuove trasformazioni – anch'esse di natura prettamente tecnologica – che coinvolgono il mondo dell'informazione. Lo stesso concetto di macchina sfuma verso dimensioni sempre meno materiali e sembrerebbe che le *Lezioni americane* di Italo Calvino ancora una volta dimostrino la loro natura profetica: *leggerezza, rapidità, esattezza, visibilità e molteplicità*, a cui si sarebbe dovuta aggiungere, a completamento del sestetto, la *consistenza*.

In questo contesto, l'ingegneria, intesa come categoria culturale piuttosto che come disciplina, o attività professionale, continua subire profonde trasformazioni non solo sul fronte del proprio "oggetto", ma soprattutto nei suoi fondamenti epistemologici.

L'ingegneria è –soprattutto se la si intende come quell'insieme di conoscenze e di prassi che si apprende nelle "scuole" e si sviluppa nelle "strutture" organizzate per la produzione di beni e di servizi– è un concetto moderno che nella contemporaneità si è affermato in quell'ambito che, se pure con le debite e necessarie precisazioni, può essere individuato con l'attributo "politecnico". Ma proprio questo termine, nelle sue varianti: francese (*polytechnique*), anglosassone (*polytechnic*), tedesca (*polytechnisch*), se usato senza una opportuna attenzione agli scenari e ai contesti, rischia di ingenerare più confusione che chiarezza. Se in Francia l'*école politechnique* ancora mantiene uno statuto assai prossimo all'istituzione centrale dello Stato, anche se ha perduto gran parte del suo carattere "militare", se in Inghilterra *polytechnic* è concetto che recentemente è stato rimosso dall'istruzione superiore, perché ritenuto riduttivo e troppo specialistico, nella stessa cultura tedesca il *polytechnisch* spesso cede il passo al più semplice *technisch* e le università ormai adottano su questo fronte con più simpatia la connotazione di *technische Hochschule*. Oltre oceano, anche negli Stati Uniti si preferisce parlare di *technology*, tout court. Per questo motivo, anche se in Italia la tradizione dei Politecnici si lega profondamente alla istituzionalizzazione dell'ingegneria moderna, poiché la disciplina occupa spazi importanti anche al di fuori delle città di Torino e Milano, e successivamente di Bari, importanti "facoltà di ingegneria", si preferisce non utilizzare questo termine. Nelle pagine che seguono si preferisce

invece focalizzare l'attenzione sull'ingegneria: come insieme di saperi.

Il motivo di questo intervento – è bene dichiararlo – non è soltanto di natura culturale, e ancora di meno erudita e la sua connotazione "storica" vuole guardare al passato con lo spirito che pone nel riconoscere nei processi evolutivi la condizione essenziale per una migliore consapevolezza dello stato presente indispensabile per ogni responsabile progetto nel futuro. Per queste ragioni parlare di storia diventa indispensabile quando si voglia prendere coscienza degli statuti di una disciplina, indispensabile per organizzarne i fondamenti e per renderli compatibili con gli inevitabili processi di sviluppo.

Come è accaduto nel passato per altri ambiti culturali (si pensi solo a titolo di esempio alla medicina e all'economia) soltanto con la nascita di una storiografia ha potuto originarsi una dimensione teoretica capace di rapportarsi sia con il proprio passato più prossimo sia con quanto accade alle proprie frontiere. E in questo senso la storia, con il suo paradigma narrativo, diventa l'unica strada percorribile per aprire una via di comunicazione con chi, al di fuori dell'ingegneria medesima, non traffica la disciplina e non ne possiede il linguaggio specialistico.

Oggi, all'interno dell'ingegneria, la mancanza di uno spazio istituzionale per una "teoria e storia" dei saperi che le competono comporta forti rischi soprattutto perché senza una coscienza storica, senza il riconoscimento del valore della memoria, l'ingegneria medesima, soggetta alle inevitabili trasformazioni sociali e che essa stessa ha contribuito e contribuisce a sviluppare, rischia di annullarsi nella sua dimensione culturale più profonda. La sua natura "tacita", che ha mantenuto come elemento caratterizzante di un insieme di saperi soprattutto regolati di una tensione essenziale rivolta al progetto e agli sviluppi in un futuro (ancorché sostenibile) ha contribuito e continua a perpetuare questo suo *habitus* ad affermare una sua superficiale disattenzione a ciò che, spesso definito come "obsoleto", non si ritiene strategicamente importante.

L'illusione di applicare all'ingegneria i protocolli della scienza, dove ogni nuova teoria sussume e contiene al proprio interno implicitamente ogni teoria passata che (se non è stata falsificata) è per questo motivo individuabile come un "caso particolare" delle più aggiornate rappresentazioni, comporta gravi rischi perché la conoscenza scientifica (e qui si vuole parlare di scienza in senso classico) è altro dalla conoscenza dell'ingegneria dove il progetto e il prodotto sono componenti essenziali. È quindi necessario che anche e soprattutto chi lavora per costruire i saperi dell'ingegneria sappia che è necessario –e oserei dire ormai indispensabile– far nascere un ambito culturale che, come recita il titolo di questo breve saggio, dovrebbe chiamarsi "teoria e storia dell'ingegneria".

Teoria perché non esiste disciplina se non se ne conoscono i fondamenti epistemologici, se non si affrontano anche e soprattutto sul piano filosofico, le

motivazioni che stanno alla base delle conoscenze, che identificano questo ambito culturale nell'insieme dei saperi, che ne stabiliscono i confini e le frontiere, che ne valutano le "tensioni essenziali", che ne organizzano un'etica.

Storia, lo si è già anticipato, perché l'*homo sapiens* è un animale storico, perché la memoria è componente essenziale di quella *sapientia*, che abbiamo già chiamato consapevolezza. E poi la storia aiuta a comunicare a chi solo la narrazione può trasferire un sapere che ha le caratteristiche dell'altro e dell'altrove.

A questo punto, se da un lato sono già stati definiti i capisaldi della questione, si ritiene indispensabile che la classe degli ingegneri, e non solo, prenda atto di come questa frontiera debba essere battuta tanto quanto è necessario sviluppare nuove teorie e metodiche, quanto è indispensabile adeguare alle nuove esigenze dei contesti, i prodotti che proprio la società industriale (e postindustriale) richiede e condiziona. Ma questa è un'attività che deve nascere all'interno dello spazio culturale dell'ingegneria medesima, perché è necessario conoscerla nella sua più intima essenza, e deve al contempo essere un'attività capace di liberarsi da ogni autoreferenzialità, perché se rimanesse interna e non sapesse parlare agli altri, avrebbe perso ogni valore.

In questo senso è indispensabile avere ben presenti i pericoli a cui si va incontro in un'operazione culturale come questa.

La storia, spesso è ritenuta come un accessorio aggiuntivo e per molti aspetti di contorno e sembra priva di quelle profonde e spesse radici scientifiche (uso ancora una volta questo aggettivo guardando alla "scienza dura", appoggiata a solide rappresentazioni algo-ritmiche) che sono aliene in ogni narrazione. Per questo motivo spesso le "storie" sono lasciate a chi, per i motivi più vari, non ha le capacità operative di operare in quelle prospettive pro-gettuali che sembrano essere la sola essenza dell'ingegneria. Che la storia sia fatta soltanto da chi ormai è uscito (e non solo per limiti di età) dal campo operativo dell'ingegneria è un pericolo che incombe e per tale motivo altri ambiti culturali hanno legato alla "storia" la "teoria" perché questo binomio permette, sempre con le debite precisazioni e attenzioni, soltanto una piena conoscenza delle mappe concettuali e può così sostenere la narrazione storica evitando che essa scada nella semplice aneddotica. Ma d'altra parte anche lo storico ha bisogno di propri statuti epistemologici e se chi fa la storia dell'ingegneria, pur conoscendone i saperi non deve dimenticare quale ruolo abbiano le scritture e i documenti, perché allora anche in questo caso si perderebbe l'essenza della storia e il suo valore scientifico (e in questo caso invece uso l'aggettivo facendo riferimento al rigore disciplinare che le compete).

È necessario che anche per gli ingegneri avvenga ciò che nella prima metà del XX secolo fu avviato da Lucine Febvre e Marc Bloch nel campo dell'economia con la rivista "Annales":

l'*Apologia della storia* deve rinascere ancora di più oggi, proprio perché quando le trasformazioni sono più rapide è necessario tenerle sotto lo sguardo attento di chi è anche capace di aprire gli orizzonti al di là dell'*hic et nunc*.

Se poi intorno a questa che deve essere una nuova frontiera di conoscenza, strategica e operativa, nell'intera ingegneria nasce un contesto più ampio, più variegato, maggiormente diversificato, allora vorrà dire che la "disciplina" (e qui ora specificamente parlo di Teorie e Storia dell'Ingegneria) avrà la possibilità di rafforzare e consolidare i propri fondamenti. Se invece l'intera operazione sarà stata soltanto una sequenza di interventi con lo scopo di celebrare gli "antenati illustri", o peggio ancora di istituire riti di una cultura feticistica, dimenticando che esistono i contesti in cui il confronto è necessariamente interdisciplinare, allora non si può che scorgere una serie di eventi che mettono ancor più in pericolo l'ingegneria stessa portandola inevitabilmente su un terreno di asservimento ad altri saperi.

Poiché a questo punto le basi argomentative per la fondazione di una "Teoria e Storia dell'Ingegneria" e in un certo senso i prodromi per una apologia della storia in un contesto politecnico (e uso a questo punto questo aggettivo in maniera provocatoria perché esso avrebbe bisogno di maggiori spazi per un approfondimento epistemologico, che sinora è mancato almeno nella cultura italiana), ritengo che possa essere utile, come punto di partenza per futuri approfondimenti in un dibattito che dovrà essere vivo e si spera ricco di spunti critici, ripercorrere alcune tappe salienti intorno all'essenza dell'ingegneria, senza avere peraltro le pretese di completezza.

La storia è fatta anche di parole che evolvono nel tempo e a seconda dei contesti in cui si sviluppano.

Un taccuino di appunti e disegni relativi all'arte della *maçonnerie*, risalente al XIII secolo e conservato a lungo tempo presso la biblioteca dell'abbazia "Sancti Germani a Pratis", si apre con un esordio del tutto inusuale:

«Wilars de Honecort vous salve, et si proie a tos ceus qui de ces engiens ouverront con trovera en cest livre, qu'il proient por s'arme et qu'il lor soviengne de lui, car en cest livre peut on trover grant consel de le grant force de maconerie et des engiens de carpenterie. et si troveres le force de le portraiture, les trais insi come li ars de iometrie le command et ensaigne».

In questo breve passo, che funge da prologo all'opera di un costruttore di cattedrali, si celano già i paradigmi di ciò che sarà l'ingegneria moderna: gli *engiens*, ossia gli *ingenia*, che presto diventeranno *engines*, ma anche la *portraiture* (il disegno) e la *ars de iometrie* (la matematica, perché ancora sino a tutto il Seicento sarà la geometria il linguaggio con cui si svilupperanno i modelli e le rappresentazioni del continuum e dei fenomeni naturali).

E non solo nelle grandi fabbriche (architettoniche) ma anche negli arsenali si organizzano saperi tecnici che sempre più necessitano di un linguag-

gio comune perché non più opera il singolo artigiano ma un tecnico, la cui funzione è essenzialmente quella di "coordinare chi sa fare".

Nella *Encyclopédie* di Diderot e d'Alembert, alla voce *INGÉNIEUR*, si potrà leggere:

«Nous avons trois sortes d'ingénieurs; les uns pour la guerre ; ils doivent savoir tout ce qui concerne la construction, l'attaque & la défense des places. Les seconds pour la marine, qui sont versés dans ce qui a rapport à la guerre & au service de mer ; & les troisiemes pour les ponts & chaussées, qui sont perpétuellement occupés de la perfection des grandes routes, de la construction des ponts, de l'embellissement des rues, de la conduite & réparation des canaux, &c. Toutes ces sortes d'hommes sont élevés dans des écoles, d'où ils passent à leur service, commençant par les postes les plus bas, & s'élevant avec le tems & le mérite aux places les plus distinguées».

E sono proprio le scuole a segnare il passaggio dalla cultura del "saper fare" a quella del "saper far fare". In esse si insegnano le discipline necessarie perché un linguaggio comune non provochi ambiguità.

«Les sciences fondamentales de cet état sont l'Arithmétique, la Géométrie, la Méchanique & l'Hydraulique. Un ingénieur doit avoir quelqu'usage du dessein. La physique lui est nécessaire pour juger de la nature des matériaux qu'on emploie dans les bâtimens, de celle des eaux, & des différentes qualités de l'air des lieux qu'on veut fortifier».

La bottega dove si "apprende" l'arte deve cedere il posto alla scuola, e in Francia l'organizzazione centrale impone un controllo rigoroso anche nei processi di formazione e di istruzione.

«Le Roi a établi à Mézieres, depuis quelques années, une école particuliere pour le Génie. Quoique tous les Ingénieurs doivent être également versés dans le service des places & dans celui de campagne ; cependant comme il est difficile d'exceller en même tems dans chacun de ces deux services, peut-être seroit-il à propos de les diviser en ingénieurs de place & en ingénieurs de campagne. [...] Aux deux divisions précédentes d'ingénieur de place & d'ingénieur de campagne, peut-être seroit-il encore à propos de faire une troisieme classe pour la fortification des villes maritimes, qui demande une étude particuliere, & dans laquelle il est difficile d'exceller sans beaucoup de travail & d'application».

E anche gli aspetti istituzionali e di carriera diventano componente essenziale nella definizione di un ruolo professionale che ancora non ha riconoscimenti della medesima natura nel settore civile.

«Les ingénieurs obtiennent les mêmes grades militaires & les mêmes récompenses que les autres officiers des troupes. Ainsi ils parviennent à celui de brigadier, de maréchal de camp, de lieutenant général & même de maréchal de France. Le nombre des ingénieurs en France est de trois cent. Ils sont partagés dans les différentes places de guerre du royaume. En tems de guerre, on en forme des détachemens à la suite des armées».

Sarebbe lungo a questo punto inseguire le vicende dell'ingegneria a partire dalle figure (più o meno istituzionali) di *ingegnarii* e di *mechanici* che solo raramente trovano il pieno riconoscimento sociale della loro funzione culturale in una società che si sta rapidamente evolvendo, come accade nel riconoscimento da parte di Guidobaldo del Monte (il maestro di Galileo Galilei) che "mechanico è vocabolo honoratissimo".

E' proprio il linguaggio materiale delle "cose" a fornire al pensiero tecnico un'unità culturale, da cui presto nasceranno l'unificazione degli elementi delle macchine (si pensi anche solo al calibro delle bocche da fuoco), la nomenclatura e la normativa tecnica, il controllo della qualità, la resistenza dei materiali, sino ai modelli predittivi e funzionali.

E la stessa "rivoluzione scientifica" non avrebbe potuto avere luogo se da una produzione artigianale di cose *taylor made* non si fosse lentamente passati al concetto di *standard*.

Ma poiché si vuole mantenere il carattere introduttivo di questo lavoro, si ritiene più opportuno continuare sul registro che vede alla base di ogni ricerca storica un approccio linguistico. Prima della storia degli eventi e delle istituzioni c'è la storia delle parole.

The *Shorter Oxford English Dictionary on Historical Principles* (1959) diretto da C.T. Onions alla voce "ingegneria" così scrive:

«**Engineering**. 1720. 1. The work done by, or the profession of, an engineer. Often specialized as civil, mechanical, military; agricultural, electric, gas, hydraulic, railway, sanitary, telegraph. See. *Engineer*»

E allora è d'obbligo completare il quadro perché l'ingegneria è fatta dagli ingegneri.

«**Engineer** [M(iddle) E(nglish). *engyneour*, a. O(ld) F(french). *engigneor* (mod(ern) French. *ingénieur*) :- Late L(atin) ingeniatorem, ingeniarius. **1**. One who contrives, designs, or invents; an inventor, a plotter –1702. **2**. One who designs and constructs military engines or works. **3**. One who designs and constructs works of public utility (From 18th c. also Civil E., dist. orig. from 2. but now from 4.) Often specialized, as electric, gas, mining, railway, telegraph e. 1606. **4**. A contriver or maker of engines; now spec. mechanical e. 1575. **5**. One who manages an engine; now in England only a marine engine; in U.S. often applied to the driver of a locomotive 1839».

Sul *Vocabolario Universale Italiano*, compilato a cura della Società Tipografica Tramater e C. (Napoli, 1834) quando ancora in Italia non esistevano studi universitari di ingegneria, si poteva leggere:

«**Ingegnere**. Ingegnoso trovator d'ingegni e di macchine, [e più spesso Chi fa professione di trovare ingegni e macchine; e nelle milizie chi professa la scienza di fortificare, attaccare e difendere le piazze, e quella della castramentazione degli eserciti, o chi ha la scienza e l'arte di descrivere i luoghi particolari o de' paesi o de' regni. [...]

Lat. machinator, architectus.

Ingegneria. L'arte dell'ingegnere [...] 2. Manifattura o invenzione d'ingegnere».

Potrà allora essere utile confrontare ora questa definizione con quanto riportato sul *Grande Dizionario della Lingua Italiana*, diretto da Salvatore Battaglia (vol. VII, Torino, UTET, 1972):

«**Ingegnère**: Chi, anticamente, inventava e costruiva ogni sorta di congegni, strumenti, macchine (in particolare da guerra o idrauliche) o chi si dedicava alla progettazione e alla costruzione di edifici o di opere di muratura in genere; architetto. Nei tempi moderni, circa la metà del secolo diciottesimo: chi avendo frequentato una scuola di ingegneria o, in seguito, una facoltà universitaria di ingegneria o un politecnico (che conferiscono la laurea e l'abilitazione all'esercizio della professione) progetta, organizza, dirige la costruzione, l'installazione, la riparazione, la manutenzione di strutture, equipaggiamenti, macchinari, oppure anche l'estrazione dalla loro sede naturale di sostanze solide, liquide o gassose come combustibili, minerali metalliferi, pietre da costruzione, etc. (e a seconda delle varie specializzazioni, sempre più numerose e accentuate nell'evoluzione tecnologica, si distinguono ingegneri aeronautici, chimici, civili, elettronici, idraulici, meccanici, minerari navali, nucleari, ecc.)».

E passando dall'ingegnere all'ingegneria, si arriva spesso a definizioni in cui è piuttosto il "metodo" più che i contenuti a caratterizzare gli statuti della disciplina:

«l'insieme di nozioni e di tecniche superiori, desunte e fondate sulle scienze matematiche, fisiche, chimiche, che opportunamente coordinate vengono applicate nel campo delle costruzioni e dell'industria, per il compimento di opere che devono soddisfare le necessità concrete dell'uomo; gli studi, l'arte, la scienza dell'ingegnere».

E per completare la rassegna intorno alle definizioni intorno alle parole "ingegneria" e "ingegnere", per quanto concerne la lingua francese, più che a un dizionario etimologico si preferisce ricorrere a quanto si può leggere alla voce «Ingénieur (definition de l')» nel ricco volume diretto da Antoine Picon intorno all'*Art de l'ingénieur*.

« Ingénieur: du latin *ingenium*. Si cette étymologie fait l'unanimité des dictionnaires, son interprétation a suscité bien des débats. C'est que l'*ingenium* latin (anc. fr. : *engin*) a deux sens : « disposition naturelle de l'esprit, génie » ; et « invention ». A ces deux sens, le latin médiéval en ajoute un troisième : « chose inventée ». Ainsi, au Moyen Age, l'ingénieur (*engignour, enghinart*) est celui qui dispose d'*engin* : d'intelligence inventive ; celui qui exerce son *engin* : son invention pratique ; celui qui produit des engins : machines et instruments de guerre. Le soupçon que font naître ces ruses inventives et leurs effets déconcertants – Enghinart est l'un des noms du diable – trouve une parade dans l'affirmation qu'il ne s'agit en l'occurrence que des « ruses de la géométrie ». Sur un plan plus théorique, l'on voit

apparaître dans les classifications des sciences médiévales les sciences mathématiques de l'*ingenium* : celles de l'invention technique. Elles sont déjà associées aux pouvoirs particuliers de l'algèbre. L'étymologie revendiquée à la Renais-sance : « ingénieur », du latin *ingenium*, au sens de « pouvoir d'invention », est coup de force pour faire entrer l'art de l'ingénieur parmi ceux qui, selon la tradition humaniste, impliquent l'*ingenium*, soit l'art oratoire, la poésie, puis l'architecture. C'est le biais de l'architecture militaire que les ingénieurs, devenus inventeurs de la fortification nouvelle, revendiquent leur place. Dans la même période se multiplient les commentaires sur les rapports entre art et mathématiques. La quête de la divine proportion atteint les fortificateurs. »

Conclude Antoine Picon che alla fine del XVI secolo, quando si accresce il prestigio degli ingegneri, si apre il grande dibattito intorno all'opera d'arte come espressione dell'*ingenium* dell'artista:

«les progrès de l'algèbre et de la géométrie renouvellent la tradition médiévale d'une science de l'invention mathématique étendue aux arts de l'ingénieur *Les Regulae ad directionem ingenii* di René Descartes sont une tentative –inaboutie– pour la fonder».

E se oggi le tecnologie dell'informazione riaprono il dibattito per nuove riflessioni intorno alla complessa storia della parola *ingénium* bisognerà invece rimandare l'approfondimento a un prossimo intervento. Per contro potrà essere utile ricordare (non senza un pizzico di riferimento autobiografico) come ancora nel 1989 nell'ambito del Comitato Nazionale di Scienza e Tecnologia (CNST) del Ministero dell'Uni-versità e della Ricerca esistesse una ripartizione delle varie discipline in dieci raggruppamenti, ciascuno di essi connotati dalla dicitura di "Scienze di…" eccezion fatta del decimo che era indicato dal solo titolo di "Ingegneria e Architettura", quasi che queste discipline appartenessero alla categoria delle tecniche (delle pratiche applicative) piuttosto che delle "scienze". In seno al Comitato per l'Ingegneria e l'Architettura del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), presieduto allora da Giuseppe Biorci, sorse allora l'esigenza di raffrontare gli statuti epistemologici dell'ingegneria con quello delle altre "scienze" e chi scrive, allora membro del Comitato, fu incaricato di organizzare un Convegno proprio incentrato su questo dibattito. Il Convegno intitolato "Lo spazio dell'ingegneria nella scienza moderna" fu organizzato congiuntamente dal CNR e dall'Accademia Nazionale dei Lincei ed ebbe luogo il 27 giugno 1989 con la presenza di Giovanni Giovannini e di Carmen La Sorella come coordinatori e presentatori delle due mezze giornate, al fine di conferire all'evento una valenza comunicativa più che accademica. Al Convegno furono invitati come relatori illustri esponenti delle varie "scienze" perché riferissero come in tali ambiti culturali si "guardasse all'ingegneria" e come l'ingegneria ne avesse modificato gli statuti epistemologici: intervennero il ministro

Antonio Ruberti, Giuseppe Biorci per il CNR, Gianni Vattimo per la filosofia, Umberto Colombo per le politiche dell'energia, Vincenzo Tagliasco per i contesti internazionali, Nicola Cabibbo per la fisica, Luigi Donato per la medicina, Ugo Montanari per l'informatica, Gian Maria Gros Pietro per l'economia, e George Bugliarello per illustrare gli scenari degli Stati Uniti d'America, e Vittorio Marchis per l'evoluzione storica del concetto di "ingegneria".

La partecipazione del pubblico fu assai vivace e gli Atti furono pubblicati in un numero speciale della Rivista "Nuova Civiltà delle Macchine" allora sotto la direzione scientifica di Francesco Barone. Il ministro Antonio Ruberti, che aveva partecipato attivamente alla Giornata fece in modo di mutare il nome del decimo raggruppamento del CNST in "Scienze dell'Ingegneria e dell'Architettura".

Un riconoscimento formale che anche i saperi dell'ingegneria avevano guadagnato sulla scena della cultura scientifica e tecnologica del Paese.

Da queste esperienze chi scrive diede il via, presso il Politecnico di Torino, a una serie di iniziative che nel corso degli ultimi due decenni portarono alla attivazione e alla istituzionalizzazione di corsi e discipline di "scienze dell'uomo e della società tecnologica".

Bibliografia essenziale

· Andrea Barghini, *Architectus, mechanicus, ingegnarius. L'unità culturale del pensiero tecnico alle soglie del mondo moderno*, in *La cultura delle macchine*, a cura di P.L. Bassignana, Torino, Umberto Allemandi, 1989.

· Alessandro Biral e Paolo Morachiello, *Immagini dell'ingegnere tra Quattro e Settecento*, Milano, Franco Angeli, 1985.

· Benito Brunelli e Giuliana Gemelli (a cura di), All'origine dell'ingegneria gestionale italiana, Bologna: Università degli studi, 1998.

· Gian Carlo Calcagno (a cura di), *Ingegneri e modernizzazioni. Università e professione nell'Italia del Novecento*, Bologna, Esculapio, 1996.

· Enrico Decleva, Carlo G. Lacaita e Angelo Ventura (a cura di), *Innovazione e modernizzazione in Italia fra Otto e Novecento*, Milano, Franco Angeli, 1995.

· Vincenzo Di Gioia, *Dalla Scuola d'Ingegneria alla Facoltà d'Ingegneria di Roma*, Roma , Edizioni dell'Ateneo, 1985.

· Alessandra Fiocca (a cura di), *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento*, Firenze, Olschki, 1998.

· Paolo Galluzzi, Gli ingegneri del Rinascimento. Da Brunelleschi a Leonardo, Roma-Firenze , Finmeccanica – Istituto e Museo di Storia della Scienza.

· *Ingegneria e politica nell'Italia dell'Ottocento: Pietro Paleocapa*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, 1990.

· Vittorio Marchis (a cura di), *Lo spazio dell'ingegneria nella scienza moderna*, Atti della Giornata di studio, Roma, 27 giugno 1989, "Nuova Civiltà delle Macchine", Anno VII, n.4 (28), Roma, Nuova Eri, 1989.

· Vittorio Marchis, *Storia delle macchine.*

Tre millenni di cultura tecnologica, Roma-Bari, laterza, 2005.

· Vittorio Marchis e Filippo Nieddu, *Materiali per una storia delle tecniche. Scritture e documenti*, Torino, Celid, 2004.

· Antoine Picon, *Architectes et ingénieurs au siècle des lumières*, Paris, Parenthèses, 1988.

· Antoine Picon, *L'art de l'ingénieur: constructeur, entrepreneur, inventeur*, Paris, Centre Georges Pompidou, 1997.

· Girolamo Ramunni, *Les sciences pour l'ingénieur. Histoire du rendez-vous des sciences et de la societé*, Paris, CNRS Editions, 1995.

· Alfredo Salsano, *Ingegneri e politici*, Torino, Einaudi, 1987.

· M. Elisabetta Tonizzi, *Il "Politecnico del mare" alle origini della Facoltà di Ingegneria. La Regia Scuola Superiore Navale*, Genova, 1997.

· Guido Zucconi, *La città contesa. Dagli ingegneri sanitari agli urbanisti (1885-1942)*, Milano, Jaca Book, 1989.

Luigi Nicolais

Ingegneria tra ricerca e innovazione

Le nuove tecnologie e le correlate discipline scientifiche, in genere, sono caratterizzate da una crescita che inizialmente procede a velocità crescente, e poi rallenta e si appiana col sopraggiungere della maturazione della tecnologia del processo/prodotto o la saturazione del mercato. Le varie discipline di ingegneria, in quanto discipline scientifiche transazionali, sono contraddistinte da questa evoluzione. Per evitare che si appiattiscano perdendo vitalità e risonanza è necessario riconoscere il sopraggiungere della fase di appiattimento e promuovere qualcosa che riporti in vita la disciplina, con un cambiamento effettivo e sostanziale o un cambio di enfasi, direzione e approccio. In questo intervento si è scelto di descrivere l'ingegneria chimica, quale esempio emblematico di disciplina contraddistinta da questo tipo di evoluzione e da innovazioni che l'hanno vivacizzata.

L'ingegneria chimica accademica italiana, nata ed affermatasi largamente verso la metà del secolo scorso, attraversa oggi una fase di intensa analisi critica. In ambito universitario gli ingegneri chimici hanno indirizzato i loro sforzi alla ricerca scientifica di base, dedicandosi soprattutto a formulazioni di teorie non lineari ed equazioni costitutive della termodinamica e della meccanica, trascurando spesso la rilevanza di questi studi sul sistema produttivo. Questo ha portato ad un allontanamento della ricerca accademica dalla realtà industriale. L'ingegnere chimico, grazie alla capacità speculativa nella ricerca di base e alla profonda comprensione fenomenologica delle fasi costitutive di un processo produttivo, ha di fatto un'elevata potenzialità di impatto sulla realtà industriale.

Lo sviluppo delle nuove tecnologie e delle correlate discipline scientifiche ha, in genere, un andamento sigmoidale: dopo una incubazione lenta, dovuta all'insorgere e concorrere di particolari eventi e spunti, procede, poi, ad una velocità crescente e, infine, rallenta e si appiana col sopraggiungere della maturazione della tecnologia del processo/prodotto o la saturazione del mercato. L'ingegneria chimica e biomedica, le biotecnologie e le nanotecnologie stanno dando un esempio di come la saturazione o esaurimento di una disciplina sia accaduta, accade o potrebbe accadere se non viene posta un'adeguata attenzione. L'ingegnere chimico dovrebbe, quindi, adeguarsi alla realtà evolutiva dell'innovazione tecnologica e da un lato contribuire alla risoluzione dei problemi complessi, soprattutto in quei settori in rapida evoluzione, estendendo le sue competenze ad altre discipline, come la biologia e la fisica, e collaborando con altri scienziati (biologi, medici, fisici, ingegneri meccanici ed

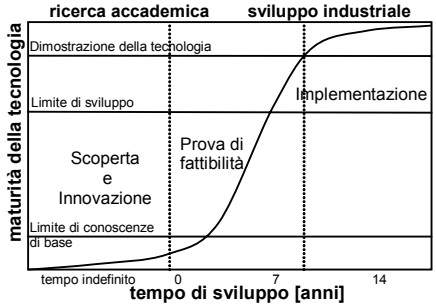


Fig. 1 – Evoluzione di una nuova tecnologia.

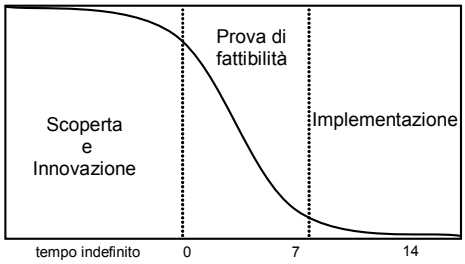


Fig. 2 – Andamento dell'incidenza della ricerca accademica alla nascita e allo sviluppo di una nuova tecnologia

elettrici), al fine di raggiungere e offrire una sempre nuova peculiare competenza tecnica pluridisciplinare, dall'altro individuare quali nuove tecnologie e progressi tecnologici possono scaturire dall'avanzamento della ricerca di base implementando in altre discipline il *know-how* raggiunto in tematiche classiche quali termodinamica, reologia e meccanica statistica e fenomeni di trasporto.

Se si osserva la crescita di una qualsiasi nuova tecnologia si delinea, quindi, una curva a S del tipo in Fig.1, rispetto alla quale il contributo della ricerca accademica è caratterizzato da un andamento opposto del tipo in Fig.2.

Le tecnologie, affinché continuino ad avere nuovi spunti dalle correlate aree marginali e non si appiattiscano o addirittura scompaiano, hanno bisogno dell'introduzione di una nuova conoscenza da altre discipline; i nuovi campi, infatti, sono il risultato del formale concorrere di molte discipline nel focalizzarsi su un comune problema, traguardo od opportunità.

Questo fenomeno accade lentamente all'inizio, in quanto solo pochi si rendono conto dell'opportunità, poi sempre più velocemente quando sono in molti ad inserirsi, ma una volta che la disciplina è matura, confidando solo sulle competenze classiche della disciplina per sostenere la crescita, questa rallenta, eventualmente fino a scomparire.

Il contributo maggiore che la ricerca accademica, in particolare di ingegneria chimica, può dare è proprio quello di favorire e ravvisare la nascita di una nuova tecnologia o disciplina tecnologica, facendo perno sulle proprie peculiari competenze di base e il continuo approfondimento teorico che la caratterizza.

La preoccupazione odierna è che la vita di una tecnologia o disciplina tecnica sembra diventare sempre più breve con l'avanzare, sempre più veloce, della tecnologia; l'ingegneria chimica, le biotecnologie e ingegneria biomedica, e le nanotecnologie sono esempi eclatanti della questione e preoccupazione descritta.

La trasformazione dell'ingegneria chimica

L'ingegneria chimica è divenuta una disciplina indipendente dalle altre all'inizio del secolo scorso, precisamente comparve nel periodo 1905-1910 ed emerse chiaramente soltanto negli anni '20, quando numerosi importanti problemi connessi con l'ingegneria dei processi chimici risultavano ancora quasi completamente irrisolti. La società di allora era in continuo sviluppo e diveniva sempre più esigente, occorreva pertanto mettere a punto numerosi processi tra cui quelli che avrebbero consentito la produzione industriale di bevande ed alimenti preconfezionati, di fertilizzanti ed altre sostanze chimiche per l'agricoltura, di carburanti per autoveicoli, treni ed aeroplani, di medicinali, di materiali sintetici e di molte altre tipologie di prodotti. Questi prodotti chimici richiedevano schemi di processo basati su reazioni chimiche, ma da effettuarsi su una scala completamente nuova e i chimici, pur conoscendo approfonditamente i vari aspetti relativi alle reazioni chimiche coinvolte, non avevano le competenze per la realizzazione di impianti capaci di condurre e controllare le reazioni *on large scale*. La necessità di realizzare questi impianti ha richiesto la collaborazione di diverse culture nell'ambito delle ingegnerie: ingegneri civili furono coinvolti nella progettazione di reattori e impianti chimici che fossero sicuri ed adeguati; agli ingegneri meccanici il compito di progettare pompe, valvole, tubi, scambiatori di calore, ecc.; gli ingegneri dei materiali, che in verità a quel tempo si identificavano semplicemente con i metallurgisti, realizzarono, invece, speciali acciai e altri tipi di leghe metalliche che resistessero bene alla corrosione e alle sostanze aggressive; agli ingegneri elettronici fu affidato il compito di realizzare tutti i sistemi per il monitoraggio ed il controllo dei processi; infine, ai chimici venne richiesto di ottimizzare per la nuova scala ora coinvolta tutte le reazioni chimiche necessarie. Dopo pochi anni nacque un nuova figura professionale, l'ingegnere chimico, rappresentata da persone che avevano appreso come combinare insieme le conoscenze indispensabili per condurre su ampia scala i processi chimici, persone che avevano nozioni di chimica di base, di cinetica chimica, di trasporto di massa e di calore, di reattoristica e di sistemi per il controllo dei processi. In poco tempo, spronata dalle vicissitudini belliche del periodo e sostenuta dalla voglia di nuovi prodotti grazie alla prosperità del dopoguerra, questa disciplina andò notevolmente accrescendosi, durante gli anni '50, '60, '70, ed anche il primo periodo degli anni dell'80; poi, per le pressioni economiche che seguirono e l'assestamento che inevitabilmente si osserva per qualunque disciplina al sopraggiungere di quella fase detta di maturità, combinata pure ad una crescita molto più lenta dell'economia, l'ingegneria chimica andò gradualmente verso il declino. Neppure le nuove raffinerie di petrolio, le più severe regolamentazioni sui farmaci, e la necessità di maggiori controlli sui pro-

dotti importati, pur favorendo ulteriori sviluppi del settore, in quanto comportavano nuovi stimoli ed argomenti di studio per gli ingeneri chimici, riuscirono ad arrestare questo graduale declino. L'incidenza della ricerca accademica nell'ottimizzazione di un processo produttivo è, difatti, sempre minore con il consolidarsi della metodologia applicata, per cui si riduce fino a scomparire il contributo che ad essa può fornire.

Oggi, l'ingegneria chimica è arrivata al punto di dover fare una scelta fondamentale: deve in pratica decidere se accettare il proprio status di disciplina ormai assestata, rassegnandosi per il futuro ad essere una scienza praticamente acquisita che non necessita che di pochi, limitati sviluppi ed approfondimenti, o deve modificarsi sostanzialmente, intraprendendo nuove strade tra cui ad esempio quella di fondersi con le biotecnologie in modo da trarre da questo connubio un profondo rinnovato vigore. La biochimica, la biocatalisi, le tecniche di bioseparazione, ecc. possono rappresentare la strada per il rinnovamento ed il risorgere dell'ingegneria chimica, ciò però non deve corrispondere alla semplice parziale infusione di alcuni temi delle biotecnologie nell'ingegneria chimica, ma deve consistere in un radicale cambiamento, basato sul continuo sostegno da parte di queste nuove tecnologie, appartenenti ad un settore disciplinare profondamente diverso. Questo radicale cambiamento ed arricchimento dell'ingegneria chimica e la continua individuazione delle discipline affini. nelle quali il contributo dell'ingegneria chimica ha un incidenza tale da portare alla nascita e lo sviluppo di una nuova tecnologia o disciplina, sono alla base di una efficace strategia per rilanciarne il suo ruolo; l'intima fusione con le biotecnologie potrà offrire a questo ormai assestato settore della ricerca quell'abbondante apporto di linfa vitale di cui ha bisogno.

La tendenza dell'ingegneria biomedica

I primi diplomi di laurea completamente dedicati all'ingegneria ed alle tecnologie biomediche sono comparsi negli Stati Uniti agli inizi degli anni '60, quando la corsa allo conquista dello spazio aveva risvegliato in America l'interesse per tutte le discipline scientifiche, le quali vivevano così un momento di profondo rinnovamento. In questo contesto una piccola comunità di scienziati si accorse della necessità di fondere insieme biologia, medicina ed ingegneria al fine di poter lavorare alla soluzione di complessi problemi riguardanti la diagnostica medica, gli impianti chirurgici, la medicina protesica ed anche taluni aspetti dell'ergometria. A quel tempo c'erano solo biologi e medici con vari problemi ed ingegneri con possibili soluzioni; ad esempio ingegneri elettrici, con *know-how* nel campo della sensoristica e dei metodi di analisi ed elaborazione dei segnali (es. immagini), ingegneri meccanici, che ben conoscevano molti dei segreti della meccanica e della robotica, ed ingegneri dei materiali, che sapevano esattamente da cosa dipendeva la biocompatibilità di un materiale. Per più di un ventennio que-

sti professionisti condivisero il nobile compito di risolvere problemi altamente multidisciplinari, utilizzando competenze ed attitudini sviluppate indipendentemente nei loro vari settori di ricerca ed, in verità, le cose vanno ancora oggi così, visto che tutt'ora pochissimi sono i dipartimenti universitari impegnati nell'ingegneria biomedica ad aver attivato lauree specifiche. La maggior parte degli scienziati che lavorano in campo biomedico continuano ad avere formazioni di base differenti, vale a dire di ingegneria elettronica, di ingegneria meccanica, di ingegneria dei materiali, di biologia, di medicina, ecc., ma riescono a fondere insieme in una perfetta simbiosi i loro interessi fino a concretizzarli col raggiungimento di obbiettivi comuni.

Impressionanti sono i progressi che ci sono stati nell'ingegneria e nella tecnologia biomedica negli anni '90 e potrebbero risultare ancor più strabilianti quelli che ci riserva il prossimo futuro. Questo però è stato possibile ed è ancora molto promettente perché la ricerca accademica si è rivolta a sempre nuove problematiche, abbandonando via via quelle ormai sature; è, infatti, oramai conclusa l'era dei *pacemaker*, mentre la ricostruzione *in vitro* o *ex vivo* di un tessuto è ancora lontana dall'essere frutto di un processo industriale. Quindi per osservare l'atteso sviluppo dell'ingegneria tessutale e dell'ingegneria genetica, oltre ovviamente agli ulteriori significativi progressi nei settori della diagnostica clinica non invasiva e della medicina protesica, l'ingegneria e la tecnologia biomedica dovranno riuscire a drenare al loro interno idee, scoperte e nuovi sviluppi compiuti da discipline limitrofe, attualmente ancora esterne a questo settore, ma palesemente affini. In altre parole, tutto dipenderà da come si riuscirà a vincere l'arroganza di chi crede di poter affrontare le difficoltà della ricerca in questo importante settore esclusivamente sulla base delle professionalità sviluppate nei propri dipartimenti e nelle proprie industrie. Se non si riuscirà in questo, l'arresto della crescita del settore biomedico, alla stregua di quanto già accaduto per l'ingegneria chimica, sarà inevitabile e l'unica differenza consisterà nell'aver impiegato solo 50 anni, contro i 100 dell'ingegneria chimica, per il raggiungimento di un tale risultato.

Un ulteriore importante esempio: le nanotecnologie

Le nanotecnologie, vale a dire lo studio e l'applicazione della scienza dei materiali su scala prossima a quella atomica/molecolare, hanno affascinato e conquistato non poche classi professionali, dai rettori delle università agli imprenditori, dagli azionisti, a finanche gli scrittori di romanzi, ma, benché l'interesse per il controllo della struttura submicroscopica dei materiali tradizionali (principalmente metalli e ceramici) abbia per molto tempo attratto l'attenzione e gli sforzi degli ingegneri dei materiali (si pensi ad esempio agli studi piuttosto datati compiuti sui policristalli ceramici con grani di dimensione ultrafine per ottenere caratteristiche di super-

plasticità o di elevato incrudimento del materiale), questi argomenti iniziano ad attrarre l'attenzione di una nuova generazione di scienziati soltanto agli inizi degli anni '90. Questa nuova disciplina, oltre a destare l'ovvia attenzione degli ingegneri dei materiali, ha anche attirato a se l'interesse, l'ingegno ed il coinvolgimento di studiosi di molte altre discipline, tra cui chimici, fisici teorici e sperimentali, ingegneri elettrici ed elettronici, ingegneri meccanici, ecc., tuttavia, si è da subito verificato in questo settore della ricerca, che gli studiosi di nanotecnologie hanno considerato la loro formazione e i loro interessi completamente estranei a quelli degli altri scienziati ed ingegneri dei materiali, e, di conseguenza, questa comunità scientifica si è subito separata da quella dedicata allo studio dei materiali tradizionali (Conferenze, Workshop e tavole rotonde sono state organizzate fin dall'inizio su temi molto specifici e specifiche sono pure le riviste scientifiche preferite). In un solo decennio di attività, tali studiosi si sono convinti di poter fare tutto da soli e subito, prescindendo completamente dai risultati e le conoscenze che giornalmente vengono raggiunti in importanti settori affini ed è facilmente prevedibile che continuando così anche le nanotecnologie siano destinate ad una rapida saturazione ed al conseguente fallimento. Questa scienza, infatti, si è accresciuta molto velocemente ed è quindi priva di quelle solide basi teoriche che ne permettono l'indipendenza, inoltre il suo rapido sviluppo è stato principalmente dovuto all'opportunità che ha avuto un parte della comunità scientifica di sottrarre buona parte dei finanziamenti governativi e privati messi a disposizione per studi in questo nuovo campo. Pertanto, benché non ci sia ancora alcun sentore, una tale posizione rischia di portare in breve tempo (anche meno di un ventennio) questa disciplina alla sua completa saturazione e per evitare un triste epilogo, gli studiosi delle nanotecnologie dovrebbero riconoscere i propri limiti ed evitare di chiudere fuori dal proprio mondo tutte le nuove prospettive, intuizioni, energie e idee provenienti da altre discipline, compiendo il grosso sforzo di integrarsi con tutti gli altri settori affini della ricerca.

Va infine evidenziato come in questo campo ci sono buone probabilità che ci si scopra presto incapaci di portare realmente a compimento le tante aspettative tecnologiche che troppo prematuramente e forse anche sconsideratamente sono state sbandierate senza riserve da molti rappresentati del settore, in quanto è possibile che molte delle potenzialità preannunciate in questo campo siano solo sogni ad occhi aperti delle tante persone che oggi parlano di nanotecnologia senza tuttavia conoscerla a sufficienza.

Conclusioni

L'ingegneria chimica è stata considerata per quasi un centennio come una delle discipline emergenti di maggiore rilievo, tuttavia col passare del tempo il suo andamento di crescita si è rivelato di tipo sigmoidale, ed oggi questa di-

sciplina per ritornare ad essere vitale come in passato, specialmente in ambito accademico, deve potersi rinvigorire seguendo quegli stessi criteri che un tempo l'avevano condotta al successo, vale a dire incorporare sviluppi provenienti da discipline differenti, ma affini, ed individuare e fornire a discipline attinenti i contributi essenziali alla nascita e allo sviluppo di nuove tecnologie e discipline.

Per quanto riguarda l'ingegneria biomedica, il suo sviluppo potrebbe conservare un buon andamento per i prossimi 40-50 anni, ma poi, anche in questo caso, si osserverà una saturazione della crescita. Questa disciplina è al momento ancora lontana dalla saturazione, ma già sta pervenendo ad una soglia critica e creare la figura dell'ingegnere biomedico potrebbe significare svigorire l'importante potenziale innovativo fin'ora ricevuto dalla sua natura multidisciplinare. In altre parole, per poter continuare a crescere l'ingegneria biomedica deve aumentare e non diminuire la capacità di trarre vantaggio dalle innovazioni che continuamente si verificano nelle singole discipline che le appartengono e soltanto questo riflesso del loro continuo sviluppo potrà mantenere vivo il settore biomedico.

Le nanotecnologie hanno soltanto dieci anni di vita, ma già soffrono un vizio di fondo, la tendenza all'isolamento; di conseguenza sono già a rischio di raggiungere la saturazione in accordo con la ben nota curva di crescita sigmoidale, stabilizzandosi ben al disotto delle loro reali potenzialità, spesso anche sopravvalutate. Anche in questo caso, per potersi opportunamente sviluppare in futuro, le nanotecnologie devono prendere atto dei loro limiti e opportunamente valorizzare tutti i possibili contributi provenienti da discipline affini.

In conclusione, la spiegazione di un andamento sigmoidale osservato per la curva di crescita di ciascun settore disciplinare nel corso della sua evoluzione, sviluppo e maturazione è semplicemente legato alla limitazione delle risorse, vale a dire *al divenire troppo disciplinare (settorializzarsi) della disciplina*. Lo sviluppo di una tecnologia o di una disciplina tecnica può compiersi soltanto come è avvenuta la sua nascita, vale a dire attraverso il confluire di nuove idee, conoscenze e sviluppi provenienti da altre tecnologie e discipline affini, e l'immissione dei propri approcci e competenze in altri ambiti differenti ma attinenti. In altre parole, per il progredire dello sviluppo occorre non porre mai limiti nell'accogliere come nel fornire contributi specifici di discipline diverse, valorizzando le potenzialità che sinergie tra ricercatori di diversa estrazione possono generare.

GIORGIO FRANCESCHETTI

L'Ingegneria e la Scienza della Informazione

È certamente vero, e universalmente accettato, che i grandi rivolgimenti industriali, accaduti negli ultimi cinquecento anni nel mondo occidentale, sono stati resi possibili dalla nascita delle *Scienze Fisiche* (nel senso piu` ampio della parola), che hanno fornito modelli sempre più accurati del mondo in cui viviamo, come anche della sua intima struttura microscopica. Le leggi trovate (sarebbe forse piu` opportuno dire: *create*) dai Fisici hanno permesso non solo di comprendere il divenire degli accadimenti, ma anche di prevedere le conseguenze delle azioni. Questa seconda possibilità, totalmente nuova, ha contribuito nei secoli scorsi alla nascita di un nuovo segmento nella struttura sociale del mondo occidentale, la borghesia imprenditoriale, che ha utilizzato i risultati della fisica per la creazione di beni e la fornitura di servizi. E si è andata così progressivamente delineando una nuova figura operativa, quella dell'Ingegnere, elemento di raccordo tra i Fisici -creatori delle leggi- e gli imprenditori -utilizzatori commerciali delle applicazioni delle stesse-.

È stato ampiamente affermato che la rivoluzione industriale in Europa è stata innescata (tessitura meccanizzata, opifici,…) dalla nascita della Meccanica come Scienza (Galileo, Newton,…); le macchine di sollevamento e trasporto sono state rese possibili dalla creazione della Termodinamica; la sintesi di nuovi materiali partono dalle leggi della chimica; l'elettronica e la successiva fotonica hanno le loro fondamenta sui risultati della fisica quantistica; e le meravigliose equazioni di Maxwell, sintesi di una serie di risultati (Volta, Amperé, Faraday, Hertz,…) apparentemente dissociati, hanno reso possibile il tumultuoso sviluppo delle comunicazioni (a partire da Marconi sino alle trasmissioni via satellite e in fibra ottica transoceanica sottomarina) e, negli ultimi trent'anni, dell'infomobilità. Quanto sopra risponde a un paradigma ben preciso: le scoperte dei Fisici sono utilizzate dagli Ingegneri in una serie di applicazioni. Fisici e Ingegneri hanno in comune lo strumento matematico, che utilizzano per due scopi diversi: i primi per costruire (di nuovo, forse: inventare) eleganti e appropriati modelli del mondo; i secondi, per utilizzare i modelli al disegno di apparati e sistemi innovativi. Non si vuole stabilire una priorità di importanza: si vuole solo mettere in evidenza una divisione di ruoli.

Si torni ora allo sviluppo delle comunicazioni, il tutto essenzialmente avvenuto (e ancora in essere) nell'arco di tempo (ultimi cento anni) indicato sul tema della riunione. Il motivo risulterà chiaro a valle delle considerazioni che seguono.

Le equazioni di Maxwell hanno fornito un modello elegante, rigoroso e at-

tendibile che unifica e domina i fenomeni elettrici e magnetici: nasce il *campo elettromagnetico* che si propaga nello spazio libero con la velocità della luce e, in presenza di ostacoli, interagisce con questi. La costruzione del modello è di per sé un capolavoro esaltante: in occasione di una commemorazione in ambito della Royal Society a Londra, Plank ebbe a dire che Maxwell era una gloria non solo per la Scozia (dove era nato), né solo per l'Inghilterra (dove si era formato), ma per il mondo intero. Ma gli Ingegneri individuano un valore aggiunto nelle affascinanti equazioni: la possibilità di utilizzare le onde elettromagnetiche per comunicare a distanza; primo fa questi Marconi (non Ingegnere formalmente, ma certamente uomo d'ingegno) con le sue celebri esperienze di trasmissione oltreoceano. E, in perfetto accordo col paradigma sopra enunciato, una nuova classe di Ingegneri, quelli delle Telecomunicazioni, parte dalle equazioni citate per disegnare apparati atti a radiare e ricevere le onde elettromagnetiche: le antenne; per costruire strutture che le confinino e guidino: linee, guide d'onda e fibre; per progettare componenti indirizzati a filtrarne le frequenze: cavità elettromagnetiche; per individuare e dominare i fenomeni di propagazione in ambienti complessi: propagazione e diffrazione delle onde. Ma le onde sono solo uno strumento: esse trasportano i messaggi che vengono trasferiti dal punto di origine verso quello di destinazione. E nasce necessariamente una nuova disciplina: la *Scienza della Informazione*. Il paradigma della divisione di ruoli tra Fisici e una classe degli Ingegneri, quelli della Informazione, subisce una modificazione genetica: sono adesso gli Ingegneri (in realtà la classe citata di questi) che sviluppano il modello, generano le equazioni e enunciano le proprietà della nuova Scienza.

La nascita di questa nuova Scienza si rende necessaria per dominare la quantità di informazione contenuta nei vari tipi di messaggi che possono, o debbono essere trasmessi: segnali vocali, musicali, visuali (immagini), tabellari (dati), e così via. Ma tanto presuppone per prima cosa una definizione rigorosa e quantitativa per questo nuovo oggetto: l'*Informazione*. Bisogna poi fissarne l'unità di misura, le tecniche di rilevamento, le mutue interazioni: risulta evidente la necessità di creare un modello operativo (Shannon, Wiener, Kotelni'kov), che appare come un nuovo capitolo della Scienza. E si assiste a un parallelo con quanto nei secoli è accaduto in ambito della Fisica: in quest'ultima i modelli sono stati innescati e pilotati dagli esperimenti; nel caso dell'Ingegneria della Informazione dalle richieste delle applicazioni, che si configurano a loro volta in termini di esperimenti.

La strada percorsa è interessante, e vale la pena il tratteggiarla rapidamente. Inizialmente i segnali da trasmettere sono *analogici*, variano cioè in maniera continua col trascorrere del tempo. Una prima possibile misura della associata informazione è l'ampiezza del contenuto di frequenze del segnale, la *ban-*

da: si noti l'uso dello strumento matematico (Trasformata di Fourier), in perfetto parallelo con le procedure sistematicamente seguite dai Fisici. Ma i segnali analogici mostrano una serie di limitazioni: la più rilevante è la loro differenziazione per i vari tipi di segnali (vocali, immagini, dati, etc.). Il passo successivo è la strutturazione non più analogica, ma *numerica* (o anche *digitale*) dei vari segnali, la cui rappresentazione risulta così unificata: essi vengono strutturati in una successione di *bit*, e cioè da una successione di numeri (Pitagora ne sarebbe stato entusiasta: tutto è numero) in codice binario. Viene cosi` individuato il *quanto* di informazione: il bit, che è l'unità di misura e, di conseguenza, può essere valutato il contenuto informativo associato a un qualsiasi tipo di segnale.

Non è però sufficiente definire in modo sistematico e rigoroso l'informazione e la sua unità elementare di valutazione: bisogna esaminare le procedure di misura e l'associato errore (l'analogo dell'esperimento pensabile, *versuk gedanken*, dei Fisici). Il limite alla misura e ricostruzione del segnale alla sua ricezione viene individuato nel *rumore*, termico e di quantizzazione numerica, con una stretta interazione, quantitativamente formulata (Hartley-Shannon), tra potenza trasmessa, velocità di trasmissione e capacità del canale: si noti di nuovo il parallelo dell'analisi, ancorché in un differente ambito culturale, col principio di indeterminazione di Heisemberg.

Solo molto piu` recentemente i Fisici hanno riscoperto, indipendentemente, in larga misura il materiale scientifico sviluppato dagli Ingegneri, con formulazioni in ambito della meccanica quantistica: nasce il *qubit* (Wheeler: *it from bit*, tutto nasce dal bit). E nei più affascinanti e trasgressivi modelli, l'Universo tutto è rappresentato come un gigantesco Computer che elabora se stesso, dove anche i buchi neri sono computers compressi alla minima dimensione, che non solo inghiottono materia e radiazione (informazione), ma la riemettono (radiazione di Hawking) in forma coerentemente rielaborata (ultimo strillo, si riteneva che detta radiazione fosse del tutto incoerente). Non c'è dubbio che tutto questo sia di enorme valore. Ma l'ignorare quanto creato da tempo nell'ambito delle formulazioni degli Ingegneri dell'Informazione porta talvolta a delle ingenuità, come nel caso della applicazione dell'*entanglement* (correlazione spazio-temporale delle particelle) a queste recenti teorie: gli Ingegneri ne sono a conoscenza da tempo, e la teoria sviluppata ha portato alle antenne MIMO (Multiple Input Multiple Output).

Quanto sopra esposto ha tratteggiato, molto sinteticamente, quanto è accaduto negli anni: ma è certamente interessante, in ambito delle conclusioni, tentare di esaminare le prospettive future. È questo qualcosa di molto piu` difficile, perché le prospettive consistono in larga misura in uno sguardo nella sfera di cristallo. Se c'è ampio rischio di sbagliare, conviene presentare gli scenari piu` attraenti e intriganti, che meglio possano colpire la nostra imma-

ginazione. A tal fine, conviene partire dal citato modello dei Fisici di un Universo come Computer che elabora se stesso.

Lo sviluppo delle comunicazioni procede tumultuosamente, senza accennare a fermarsi, nella direzione di costruire quello che viene chiamato il *Villaggio Globale*. Il villaggio (o forse il modello del villaggio) è quello di un computer autoelaborantesi, in cui l'informazione e` distribuita e si propaga su una rete, reale e virtuale, che connette sensori, computers, strumenti di controllo e di attuazione. Siamo quindi in presenza di una struttura che evolve autogestendosi, secondo regole che essa stessa elabora, e quindi di un sistema essenzialmente biologico: ci si aspetta la nascita di una nuova Scienza, che completi e unifichi i vari aspetti del settore della informazione: la *Biologia della Informazione*.

Milton Freeman afferma che i grandi Fisici si categorizzano in due tipi: i grandi ordinatori e i grandi disordinatori. Un grande ordinatore è stato Maxwell: ha unificato una serie di fenomeni in un unico modello che li racchiude, connette e spiega. Un grande disordinatore e` stato Plank, che ha scombussolato la verità assoluta della meccanica classica, dando così vita a quella quantistica. Siamo in attesa di un altro grande ordinatore (un Fisico? un Ingegnere? un Fisico-Ingegnere?) che metta ordine in questo mondo della Informazione, che scriva le equazioni della Biologia della Informazione.

Nelle raffinata corte dell'Inghilterra del '600, era uso che, alla fine delle riunioni conviviali, un nobile di turno improvvisasse (si fa per dire) un *limerick*, e cioè un breve mottetto a commento della serata, o indirizzato a un personaggio particolare. A termine di questa relazione in ambito di questo primo importante Convegno, può essere opportuno concludere con un limerik, che viene offerto qui di seguito.

Sono i Fisici da un lato
Che il saper han conquistato;
D'altro canto gli Ingegneri
Non son più di l'altro ieri:
Il futuro è cominciato!

Gennaro Improta

La Ricerca Operativa e l'ingegneria: passato, presente e futuro

1. *La nascita della Ricerca Operativa*

La denominazione *Ricerca Operativa* (*Operational* o *Operations Research*) fu utilizzata, per la prima volta, per caratterizzare e connotare delle attività di ricerca, immediatamente applicate alla soluzione di problemi militari, sviluppate in connessione agli avvenimenti determinati dalla *Seconda Guerra Mondiale*.

Immediatamente prima e durante il conflitto, erano sorti, dapprima nel *Regno Unito* e, successivamente, negli *USA* ed in altri *Paesi Alleati*, gruppi di ricerca orientati alla soluzione di importanti problemi di ordine strategico e tattico collegati alla difesa nazionale.

Nel *1935*, per prepararsi a rispondere ad un attacco, ritenuto sempre più probabile, della Germania nazista, fu avviato, nel *Regno Unito*, un programma di esperimenti volto a mettere a punto un'apparecchiatura in grado di localizzare aerei in volo, utilizzando la riflessione, da essi prodotta, di onde radio emesse da stazioni a terra. Si trattava, ovviamente, del *radar* (acrostico di *radio detection and ranging*)[1] .

Tra il *1935* ed il *1937*, nella *Bawd sey Research Station*, sulla costa orientale dell'Inghilterra presso *Felixstowe*, si lavorò intensamente per provare le effettive potenzialità tecniche di questo tipo di apparecchiatura (si passò da un solo radar installato nel *1937* a cinque stazioni operanti nel *1938* lungo la costa orientale dell'Inghilterra), la quale mostrò di essere eccezionalmente rispondente agli scopi prefigurati, anche se, non risultò semplice, con l'aumentare del numero delle apparecchiature operanti, rendere coerenti tra loro le informazioni che esse producevano.

Si ritenne, poi, di grande importanza, nel meccanismo della difesa antiaerea, che ad una fase efficiente di *localizzazione* dei velivoli nemici ne seguissero altre due, altrettanto efficienti, di *intercettazione* e di *rientro a terra* dei velivoli inglesi. I problemi da affrontare erano, dunque, tre: 1) correlare e coordinare le informazioni prodotte dalle apparecchiature radar; 2) ottimizzare la distribuzione delle stesse apparecchiature sul territorio (per migliorarne la copertura difensiva rispetto agli attacchi nemici); 3) distribuire gli aerei inglesi (e, dunque, gli aeroporti militari) sul territorio in maniera opportuna per rendere efficienti anche la fase di intercettazione e quella, successiva, di rientro.

Con gruppi di lavoro ed organizzazioni, per motivi di sicurezza, separate fu avviato, su proposta di *Henry T. Tizard*[2] , con quei tre obiettivi, a partire dagli ultimi mesi del *1936* e fino ai primi mesi del *1937*, il cosiddetto *Biggin Hill Experiment* (dal nome di un aeroporto militare localizzato immediata-

mente a Sud di *Londra*). Nel corso del *1937* i gruppi di lavoro vennero unificati dando luogo ad una tanto stretta quanto inconsueta collaborazione tra scienziati, ufficiali, tecnici e personale della *Royal Air Force*.

A.P. Rowe[3], Soprintendente della *Bawdsey Research Station*, nel descrivere, nel *1938*, il tipo di attività sviluppate nel corso del progetto, nel tentativo di caratterizzarne i due aspetti impliciti, di *ricerca* (per la evidente novità dei contenuti sviluppati rispetto allo stato dell'arte corrente) e di *applicazione pratica immediata* dei risultati ottenuti, utilizzò, in un rapporto diretto alla *Stato Maggiore*, l'espressione *Operational Research* [*Research* into (military) *Operations*]; disse, in altre parole, che si era fatta della *Ricerca Operativa* e propose, con *Robert Watson-Watt*, di denominare *Operational Research Section* il gruppo di lavoro, che era stato coinvolto nell'esperimento.

Nel *1939*, *Patrick M. S. Blackett*[4], fisico, professore presso l'*Università di Manchester*, venne chiamato a costituire un gruppo di ricerca, composto da scienziati e da esperti militari, che fu impegnato nella lotta contro i sommergibili tedeschi. Il primo compito assegnato al gruppo di *Blackett* fu la *regolazione ottima* delle spolette a tempo delle bombe antisommergibile[5]. Stime dell'epoca affermano che l'implementazione dei risultati scientifici prodotti consentì di raddoppiare la percentuale di sommergibili nemici colpiti.

Il successo ottenuto da questo gruppo, passato alla storia, proprio per l'eterogeneità dei suoi componenti, come il *Blackett Circus*, produsse il risultato pratico di moltiplicare, nel *Regno Unito* e negli altri *Paesi Alleati*, gruppi di ricerca simili. Nell'ambito delle forze armate, principalmente inglesi ed americane (negli *USA* l'approccio fu introdotto a partire dal *1943*, la denominazione che gli fu attribuita fu quella di *Operations Research*[6]), si svilupparono settori per la ricerca relativa alla guerra antisommergibile, al dimensionamento dei convogli navali, alla scelta dei bersagli nelle incursioni aeree, oltre, ovviamente, alle tecniche, di cui si è detto, di avvistamento ed intercettazione degli aerei.

Questi gruppi avevano, di norma, *componenti con formazioni culturali ed esperienze di lavoro molto eterogenee*. L'efficienza che essi dimostravano appariva fortemente legata proprio al fatto che le diverse competenze coinvolte garantivano la possibilità di esaminare in modo *interdisciplinare* ed *integrato*, e, dunque, compiutamente i diversi aspetti dei problemi affrontati.

Si stima che, nel corso della seconda guerra mondiale, furono complessivamente coinvolti in attività di Ricerca Operativa, nel Regno Unito, in Canada ed in USA, almeno *700 scientists*. *C. H. Waddington* sintetizza i principali obiettivi della Ricerca Operativa nel corso della Seconda Guerra Mondiale nella *previsione degli effetti di nuove armi e di nuove tattiche*[7].

Il termine del conflitto determinò una *riconversione* dell'approccio utilizzato per affrontare problemi bellici, orientan-

dolo alla soluzione di problemi di tipo civile. Si giunse, infatti, rapidamente, alla conclusione che molti dei problemi affrontati e risolti in ambito bellico avevano dei *problemi omologhi* nel mondo civile, in applicazioni di tipo industriale e territoriale.

La *localizzazione* dei radar e degli aeroporti in grado di ottimizzare la *copertura* del territorio nei confronti di attacchi aerei nemici è un problema che somiglia molto, ad esempio, a quello della localizzazione dei depositi di prodotti finiti di un'industria allo scopo di rendere efficiente il meccanismo della distribuzione, ma anche a quello della localizzazione sul territorio di servizi di pubblica utilità (caserme dei pompieri, ospedali, uffici postali, …) allo scopo di ottimizzare le prestazioni del servizio offerto alla popolazione.

L'individuazione del *mixing* di bombe con cui effettuare il caricamento di un bombardiere (o di uno stormo di bombardieri), allo scopo di ottimizzare un *raid* aereo volto a colpire obiettivi sparsi sul territorio nemico, è un problema che ha delle analogie, ad esempio, con quello di un autotrasportatore che deve caricare un autocarro (o una flotta di autocarri) con un insieme di colli da distribuire, nel corso del viaggio, tra diversi clienti sparsi sul territorio. Ed è abbastanza intuitivo che molti altri esempi di questo genere potrebbero essere indicati.

Nel *1948* fu fondata, negli *USA*, la *RAND* (*Research and Development*), un istituto di ricerca creato dalla *U.S. Air Force* e successivamente sovvenzionato dalla *Ford Foundation*. I settori in cui la *RAND* sviluppò, principalmente, la propria ricerca furono: le attività e le gestioni delle aree portuali (particolare attenzione fu dedicata ai problemi di *layout* portuale), la programmazione dei rifornimenti e delle operazioni di manutenzione degli impianti, la modellizzazione di aspetti economici relativi ad altri Paesi e, ancora, in coerenza con le esperienze passate, i problemi bellici (legati, questa volta, alla *guerra in Corea* [8]).

Nei settori più propriamente civili, la Ricerca Operativa riprese tecniche in uso nel settore industriale, migliorandole ed arricchendole con l'uso di strumenti matematici e di conoscenze organizzative: si occupò di standardizzazione della produzione, di problemi connessi con la pianificazione e la programmazione industriale. Proprio per questo la Ricerca Operativa ha assunto una connotazione tale da giustificare sempre più l'altra sua denominazione, oggi corrente, di *Management Science*.

Nel *Regno Unito* la riconversione avvenne prevalentemente nel settore pubblico, con studi relativi ai trasporti ferroviari, stradali ed urbani, dando origine, a partire dagli *anni '50*, ad uno sviluppo di conoscenze e modelli di tipo territoriale ed urbanistico, divenute, col tempo, tipiche, appunto, della ricerca inglese[9].

In Italia le tecniche di Ricerca Operativa giunsero con una diecina di anni di ritardo, fatto, peraltro, naturale tenendo conto dell'estraneità del nostro Paese all'ambiente in cui l'approccio della

Ricerca Operativa era sorto ed aveva iniziato a svilupparsi. Il *20 aprile* del *1961*[10], un gruppo di ricercatori, tecnici e dirigenti d'azienda fondò l'*AIRO*[11] (*Associazione Italiana di Ricerca Operativa*), avente lo scopo di *promuovere studi teorici ed applicazioni pratiche della disciplina*.

2. *Le radici e le pietre miliari nello sviluppo della Ricerca Operativa*

Taluni risultati della matematica classica, conseguiti in epoche anche veramente lontane, sono stati ripresi e valorizzati, assumendo importanza, a volte considerevole, nello sviluppo di uno degli strumenti fondamentali della Ricerca Operativa: la *programmazione matematica*.

Tra i risultati della matematica da includere tra i *preludi* della *matematica applicata* vanno, certamente citati: le *equazioni diofantine*[12] (Diofante, III secolo a.C.); l'*Algoritmo Euclideo per la ricerca del Massimo Comune Diviso-re* (*Euclide*, 325-265 a.C. circa); la *Congettura di Pierre de Fermat*[13] (1601-1665); il *problema del punto* di *Evangelista Torricelli*[14] (1608-1647); l'*algoritmo di eliminazione* di *Johann Carl Friedrich Gauss*[15] (1770). Senza soffermarsi su di essi vale evidenziare due lavori *storici* il cui interesse scientifico e pratico appare quanto mai attuale: il problema dei *Ponti di Konigsberg*[16] (*Eulero*, 1736); i cammini ed i cicli di *Hamilton* (1859).

I lavori di *Leonhard Euler* (italianizzato in *Eulero*) e di *William Rowan Hamilton*[17] costituiscono, infatti, la fase seminale di un settore della *ricerca applicata*, oggi di grandissima rilevanza, cui viene attribuita la denominazione generale di *routing*, che affronta gli aspetti metodologici e quelli applicativi della *distribuzione*, uno dei temi centrali della *logistica aziendale*. Giungendo alla Ricerca Operativa *moderna*, non v'è alcun dubbio che alcuni lavori di grandissimo livello, prodotti tra la metà degli anni *'30* e la metà degli anni *'40*, costituiscano i capostipiti legittimi, e, per molti versi, le *pietre miliari* della Ricerca Operativa. Essi sono:

- i *Modelli Input-Output* di *Wassily Leontief*[18] (1936);
- i *modelli matematici per la pianificazione della produzione* di *Leonid Vital'evich Kantorovich*[19] (1939);
- i contributi di *F. L. Hitchcock* e *Tjalling C. Koopmans*[20] al problema del *Trasporto* (1941);
- la *Teoria dei Giochi* di *John von Neumann* e *Oskar Morgenstern* (1941);
- la *formulazione matematica dei problemi di programmazione lineare* e l'*algoritmo del simplesso* di *George Bernard Dantzig* (1947)[21].

L'addensamento temporale di questi risultati scientifici testimonia del verificarsi di un momento storico particolarmente favorevole e del realizzarsi di un sistema di sinergie culturali che furono in grado di moltiplicare la qualità oltre che la quantità dei risultati scientifici ottenuti, determinando, nei fatti, la nascita della Ricerca Operativa come disciplina scientifica.

3. *La Ricerca Operativa e l'Università*

Nell'immediato dopoguerra, la Ricerca Operativa divenne un settore di ricerca accademico.

Nel *1949* fu tenuto a Chicago quello che, storicamente, viene considerato il primo convegno (*Activity Analysis of Production and Allocation*) [22] su temi, già da allora, di interesse della Ricerca Operativa.

Nelle Università degli Stati Uniti, a partire dagli anni '*50* iniziarono corsi regolari di Ricerca Operativa.

In Italia l'ingresso della disciplina nell'Università avvenne alla fine degli anni *'60* e solo nella prima metà degli anni *'70* si ebbero i primi *professori ordinari* di Ricerca Operativa. Nella *Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II*, la Ricerca Operativa si insegna dall'*Anno Accademico 1975-76*.

La Commissione Didattica del *CIRO* (*Centro Interuniversitario di Ricerca Operativa*) ha condotto, nell'*anno accademico 2003-2004*, una indagine[23] tesa ad individuare la consistenza e le principali caratteristiche degli insegnamenti, tenuti nelle Università Italiane, rientranti nell'area culturale della Ricerca Operativa, tenuti sia da docenti afferenti al *Settore Scientifico Disciplinare MAT/09 RICERCA OPERATIVA* (83% del totale) che ad altri *SSD* affini. Ne è risultato un numero complessivo di corsi pari a *400* con una distribuzione geografica percentuale che va dal *1%* della Sardegna (*4* corsi) al *12%* circa del *Lazio* e della *Lombardia* (*48* e *46* corsi, rispettivamente).

Area	*Corsi*	*%*	*Studenti (%)*
Nord	180	45	38
Centro	113	28	27
Sud	87	22	23
Isole	20	5	12
Totale	*400*	*100*	*100*

Tab. 1 – Distribuzione per Aree Geografiche degli insegnamenti di R.O.

In *Campania*, in particolare, risultavano attivi, nell'anno accademico dell' indagine, *24* corsi del Settore Ricerca Operativa (pari al *6%* del totale); il *50%* di essi era tenuto presso la Facoltà di Ingegneria di *Napoli*. Una analisi per aree geografiche aggregate (si veda la *Tabella 1*) evidenzia una netta prevalenza del Nord rispetto alle altre aree geografiche.

Esaminando la ripartizione dei corsi tenuti tra le diverse Facoltà ci si rende conto che la materia trova la sua più forte radicazione e diffusione nelle Facoltà di Ingegneria che ospitano il 55% dei corsi tenuti. A *Facoltà di Scienze MFN* afferisce il *24.5%* dei corsi, mentre in *Facoltà di Economia* si tiene il *15%* del totale. Il residuo *4,5%* è disperso tra Facoltà di *Scienze Statistiche* (*3.5%*), *Sociologia* (*0.5%*), *Architettura* (*0.3%*) e *Medicina* (*0.3%*). Un residuo *0.5%* afferisce ad altre Facoltà.

4. *Ma cosa è la Ricerca Operativa?*

Le radici culturali della Ricerca Operativa affondano, principalmente, nella

ingegneria, nella *economia* e nella *matematica*. Va, comunque, posto l'accen to sul fatto che, dopo taluni momenti di crisi verificatisi tra la fine degli anni *'60* e l'inizio degli anni *'70*, la vera affermazione della disciplina come strumento per la soluzione di problemi di dimensione reale è stata determinata dallo sviluppo della *computer science* che ha consentito di passare dalla soluzione di problemi di piccola dimensione a quella dei problemi di media e grande dimensione, che, tipicamente, costituiscono la realtà. In altri termini, certamente la Ricerca Operativa non sarebbe quella che è oggi senza lo sviluppo dell' informatica.

I punti di vista sulla funzione e sulle caratteristiche della Ricerca Operativa coprono un ampio spettro di opinioni che si muove tra due posizioni in qualche modo antitetiche, la prima delle quali vede la disciplina *legata alla decisione scientifica su come progettare e far funzionare in modo ottimo sistemi complessi costituiti da uomini e macchine in condizioni di risorse limitate*; la seconda che la vede come *una parte delle matematiche applicate.*

È possibile mediare tra questi due punti di vista estremi dicendo che *la Ricerca Operativa costituisce un approccio scientifico alla risoluzione di problemi relativi a sistemi complessi*[24]. *Essa ha delle caratteristiche intrinsecamente interdisciplinari ed utilizza un insieme diversificato di strumenti, in prevalenza matematici, per la modellizzazione, la ottimizzazione ed il controllo di sistemi strutturati.*

In sintesi, la Ricerca Operativa può essere definita come *la disciplina che studia, su base quantitativa, i modelli concettuali dei processi decisionali connessi al funzionamento dei sistemi organizzati* [25]. Proprio per questa sua caratteristica essa ha molteplici campi di impiego che coprono il settore industriale, la pianificazione territoriale e quella dei trasporti, la progettazione strutturale, la produzione e la gestione dell'energia, la tutela dell'ambiente, l'organizzazione e la gestione dei sistemi sanitari, l'organizzazione della difesa, la finanza e gli investimenti, la progettazione e la gestione delle reti di telecomunicazioni e molti altri ancora.

5. *I settori applicativi della Ricerca Operativa*

Una descrizione completa delle applicazioni attuali e di prospettiva della Ricerca Operativa è veramente difficile da realizzarsi. L'approccio metodologico di questa disciplina si è, infatti, tanto diffuso da penetrare in moltissimi settori applicativi, andando a costituire, per alcuni di essi, il substrato metodologico al quale ricercatori e managers fanno continuo riferimento.

Senza alcuna pretesa di esaurire l'argomento vengono, di seguito, indicati alcuni dei principali settori e dei temi applicativi che in essi ricadono, caratteristici delle diverse branche dell'Ingegneria civile ed industriale, che sono da considerarsi di interesse della Ricerca Operativa.

Pianificazione industriale. Problemi di pianificazione di lungo e di me-

dio periodo (localizzazione e dimensionamento degli impianti, scelta dei prodotti…). Problemi di programmazione della produzione (individuazione dei livelli di produzione). Gestione delle scorte (determinazione, nel tempo, del livello di scorte a magazzino; politiche di approvvigionamento). Marketing (proget-tazione di campagne pubblicitarie).

Logistica aziendale. Localizzazione di depositi. Determinazione di flotte e circuiti di raccolta e distribuzione di merci e semilavorati. Definizione dei movimenti interni.

Organizzazione del lavoro. Strategie di assunzione del personale. Determinazione dei turni del personale. Assegnazione della forza lavoro alle diverse attività, assegnazione di lavoro alle macchine.

Territorio. Realizzazione di piani territoriali. Problemi di distrettualizzazione. Distribuzione di *usi del suolo* sul territorio.

Ambiente. Controllo dei livelli di emissione e di concentrazione degli inquinanti atmosferici. Controllo dei livelli di inquinamento fluviali. Utilizzazione di risorse naturali.

Sanità. Valutazione della qualità dei servizi sanitari. Accettazione ed indirizzamento dei degenti all'interno di strutture ospedaliere o verso strutture ospedaliere. Ottimizzazione della diagnostica. Costruzione di diete alimentari personalizzate

Logistica territoriale. Localizzazione di servizi di emergenza e di infrastrutture collettive (scuole, ospe-dali, uffici postali, vigili del fuoco, …). Localizzazione di centri di smaltimento dei rifiuti solidi urbani. Determinazione delle flotte e dei circuiti di prelievo dei rifiuti.

Trasporti terrestri[26]. Determinazione del tracciato e delle fermate di ferrovie urbane. Piani dei trasporti e piani del traffico. Piani di circolazione. Progetto di reti di trasporto. Localizzazione dei depositi degli autobus per il trasporto urbano ed extraurbano. Progettazione di reti di trasporto collettivo su gomma e formazione degli orari del servizio. Regolazione semaforica di reti stradali urbane.

Trasporti aerei e marittimi. Gestione dei terminals aeroportuali. Gestione dei flussi di traffico aereo. Controllo del traffico aereo. Gestione di porti. Movimentazione di containers. Stivaggio di navi *portacontainer*.

Realizzazione di progetti complessi, civili ed industriali, Project planning. Gestione delle attività (determinazione dei tempi di inizio delle diverse attività sulla base delle loro durate, dei vincoli di precedenza che esistono tra esse e delle risorse utilizzate)

Allocazione di componenti elettronici. Individuazione del layout di piastre elettroniche.

Settore militare e difesa. Affidabilità dei veicoli spaziali. Controllo di satelliti artificiali in orbita. Difesa aerea e missilistica. Ricerca e salvataggio di dispersi.

Telecomunicazioni. Progetto di reti di telecomunicazioni (individuazione dei collegamenti da realizzare e delle

relative capacità). Assegnazione di frequenze di trasmissione a reti di trasmettitori radio-televisivi. La utilizzazione della Ricerca Operativa nella progettazione di reti di telecomunicazione tradizionali e *wireless* costituisce uno dei settori, specie in questo secondo caso, più attuali e di prospettiva della disciplina[27] .

7. *Conclusioni*

La Ricerca Operativa è una disciplina che ha poco più di mezzo secolo di vita ma di passi ne ha fatti molti e, nel futuro, anche prossimo, ne farà molti altri. Se la diffusione nell'Università può essere considerato un metro dello spazio che essa si è conquistato, è forse interessante ricordare che nell'anno accademico 1975-1976 (anno della sua introduzione), al primo corso di Ricerca Operativa tenuto presso la Facoltà di Ingegneria di Napoli partecipò una quindicina di studenti del Corso di Laurea in Ingegneria dei Trasporti. A distanza di trenta anni i corsi sono diventati una dozzina

La Ricerca Operativa ha, peraltro, visto progressivamente crescere nel tempo la domanda di insegnamento, domanda che si è andata sviluppando in altri Corsi di Laurea della Facoltà, sino a coprire, trasversalmente, i settori dell'Informazione, della Ingegneria Gestionale e dell' Ingegneria Civile, con un numero di allievi annui complessivo dell'ordine di millecinquecento.

Oggi, dunque, un gran numero di ingegneri porta con sé, nel mondo del lavoro, gli strumenti e l'approccio alla soluzione dei problemi tipico della Ricerca Operativa e, sempre più spesso ci si imbatte in specialisti dei diversi settori applicativi che, nella pratica del loro lavoro, pur senza dichiararlo, fanno della Ricerca Operativa. E, forse, questo è il più lusinghiero segno del successo di questa disciplina.

[1] In realtà già dal *1934* erano state avviate, nel *Regno Unito*, attività di verifica e potenziamento della difesa antiaerea nazionale. Il primo obiettivo posto dall'*Air Ministry* era centrato sull'idea di realizzare il cosiddetto *raggio della morte*, un'arma che fosse in grado di neutralizzare i piloti e, di conseguenza, i loro aerei. Il Ministero interpellò, a tal proposito, il fisico scozzese *Robert Watson-Watt* (*1892–1973*), responsabile di un laboratorio di ricerca nazionale sulle onde radio (e discendente di *James Watt*), inventore della prima macchina a vapore con usi pratici). *Watson-Watt* bocciò l'idea di impegnare risorse nel tentativo di mettere a punto il *raggio della morte* e suggerì di indirizzare, invece, gli sforzi verso la progettazione di un sistema che, appunto, consentisse l'individuazione degli aerei nemici utilizzando il principio della riflessione di onde radio. Il *26 febbraio del 1935 Robert Watson-Watt* e *Arnold Wilkins* sperimentarono il loro sistema utilizzando un trasmettitore della *BBC* per localizzare un bombardiere inglese che fu utilizzato come aereo test. Nel *maggio del 1935*, *Watson-Watt*, *Wilkins* ed un piccolo gruppo di scienziati iniziarono a *Bawdsey* gli esperimenti che condussero alla realizzazione del primo *radar* operativo.

[2] *Henry Thomas Tizard* (*1885–1959*) fu chiamato, nel *1933*, a presiedere il *Committee for the Scientific Survey of Air Defense* e rimase in quella posizione nel corso d quasi tutta la Seconda Guerra Mondiale. Non v'è dubbio che il suo merito principale fu quello di aver compreso che non bastava, per organizzare una difesa

efficiente, disporre di apparecchiature scientifiche di alto livello ma che era indispensabile che le risorse venissero impiegate in modo razionale e che il personale fosse perfettamente addestrato al loro uso. L'applicazione di questi princìpi nell'uso del radar si rivelò decisivo nel corso della *Battaglia d'Inghilterra* e ciò è testimoniato dal fatto che *640* aerei della *RAF* riuscirono a fronteggiarne oltre *2600* della *Luftwaffe*.

[3] *A. P. Rowe* fu Segretario, dal *1935* al *1940*, del Comitato presieduto da Tizard.

[4] *Patrick M. S. Blackett* (1897-1974) fu insignito del *premio Nobel per la Fisica* nel *1948*.

[5] Il comando della Royal Air Force aveva deciso, per tener conto del possibile inabissamento del sommergibile una volta avvistato l'aereo, che le spolette a tempo fossero regolate per esplodere a 30 metri di profondità. Il gruppo di Blackett, dopo un notevole numero di *simulazioni* di azioni di combattimento, giunse alla conclusione che questa scelta era sbagliata e che le probabilità di colpire il bersaglio sarebbero aumentate di molto se la spoletta fosse stata regolata in modo che la bomba esplodesse appena sotto la superficie dell'acqua, in quanto solo quando il sommergibile non era completamente immerso la mira nel lancio poteva essere relativamente precisa.

[6] Le due lievemente differenti denominazioni di *Operational Research* e *Operations Research* sono ancora oggi in uso. In particolare gli americani utilizzano la prima mentre gli europei tendono ad utilizzare la seconda.

[7] *Waddington C.H.* (1973). *O.R. in World War 2 – Operational Research against the U-Boat*, History of Science Series, C.W. Kilmist Ed., Elek Science, London.

[8] La guerra in Corea si sviluppò tra il *1950* ed il *1953* e fu combattuta, a cavallo del *38° parallelo*, dagli *Stati Uniti*, dalla *Corea del Sud* e da una coalizione di stati del blocco occidentale contro la *Corea del Nord* che aveva l'appoggio militare dell'*Unione Sovietica* e della *Cina*.

[9] Particolare rilevanza assume l'applicazione, nata nel Regno Unito, della Ricerca Operativa al settore della mobilità che, senza dubbio, ha determinato l'impostazione di base dell'*Ingegneria dei Trasporti* moderna.

[10] Proprio a testimonianza di questo gap temporale, vale ricordare che la *ORA* (O*perational Research Association)* inglese fu fondata nel *1948* e che la *ORSA* (*Operational Research Society of America*), oggi *INFORMS* (*Institute For Operations Research and Management Science*), fu fondata nel *1952*.

[11] Del gruppo che costituì l'AIRO facevano parte, tra gli altri, il Presidente dell'ENI, Enrico Mattei, ed il Presidente della FIAT Vittorio Valletta. Per informazioni sull'Associazione Italiana di Ricerca Operativa è possibile consultare il sito *http//www.airo.org*. L'AIRO è strutturata in *Sezioni Territoriali*. La *Sezione Territoriale Campana* è ospitata presso la Cattedra di Ricerca Operativa della facoltà di Ingegneria di Napoli.

[12] *Cercare le soluzioni intere di una equazione polinomiale a coefficienti interi.*

[13] *L'equazione* $x^n + y^n = z^n$ *(n>2) non ammette soluzioni intere con x, y, z non nulli* [è chiaro che (1,0,1) è una soluzione]. La congettura di Fermat è stata dimostrata da Wiles e Taylor i cui lavori sono pubblicati nel volume 141 (1995) degli *Annals of Mathematics*.

[14] *Dato un triangolo ABC i cui angoli siano ciascuno minore di 120°, trovare un punto P tale che la somma PA + PB + PC sia minima*.

[15] L'*algoritmo di eliminazione di Gauss*, per la soluzione di sistemi di equazioni lineari si basa sulla trasformazione di un sistema di equazioni lineari non singolare in uno triangolare ad esso equivalente.

[16] *Konigsberg*, nel *1946,* dopo l'annessione della *Prussica Orientale* all'*URSS* fu denominata *Kaliningrad*, in memoria di *Kalinin*, un fidato collaboratore di *Stalin*, che era da poco scomparso.

[17] La ricerca di *circuiti euleriani* e *circuiti hamiltoniani* viene connotata in letteratura attraverso le denominazioni gergali di *chinese postman problem* e *travelling salesman problem*.

[18] Wassily Leontief (1906-1999) è stato insignito del *premio Nobel per l?Economia* nel *1973*.

[19] Leonid V. Kantorovich (1912-1986) è stato insignito, con Koopmans, del *premio Nobel per l?Economia* nel *1975.*

[20] Tjalling C. Koopmans (1910-1985), come si è già detto, è stato insignito del *premio Nobel per l'Economia*, nel *1975*.

[21] Si veda: Gennaro Improta (2004) *Programmazione Lineare* - 2° edizione – Edizioni Scientifiche Italiane.

[22] Questo convegno, indicato da *George B. Dantzig* (*1914-2005*) come *Symposium Zero*, fu organizzato da *Tjalling Koopmans* e tutti i giovani ricercatori che presentarono, in quell'occasione, lavori, *T. Koopmans* (Nobel nel *1975*), *Kenneth Arrow* (Nobel nel 1972), *Herbert A. Simmons* (Nobel nel 1978) e *Paul Samuelson* (Nobel nel 1970), vinsero, successivamente il premio Nobel per l'Economia.

[23] Informazioni di maggior dettaglio su tale indagine sono disponibili nella pagina del Prof. *Silvano Martello*, dell'Università di Bologna, Coordinatore della Commissione Didattica del CIRO:*http//www.or.deis.unibo.it/staff/martello/indagine2004/home.htm*

[24] Senza voler affrontare, in questa sede, il concetto di *complessità* è forse il caso di sottolineare che la complessità di un sistema è certamente correlata al numero di *variabili* in gioco e di *relazioni* che legano tra loro i diversi sottosistemi. Tanto più elevato è il numero delle variabili e tanto più numerose sono le relazioni tra i sottosistemi (e, dunque, più difficili a descriversi le interazioni mutue), tanto più complesso è il sistema.

[25] Si veda: Lucio Bianco e Mario Lucertini *Operativa Ricerca*, voce della 5ª Appendice *Enciclopedia Treccani* Vol. III.

[26] Il volume *Scienze delle Decisioni per i Trasporti* di *Stefano Pallottino* ed *Anna Sciomachen* – Franco Angeli Editore 1999 – fornisce una vasta panoramica delle applicazioni della Ricerca Operativa al settore dei trasporti nelle sue diverse accezioni.

[27] Si veda: *La Ricerca Operativa di fronte alla sfida della complessità dei sistemi – Lucio Bianco* – Workshop in ricordo di *Paolo Carraresi* – Università di Pisa 3 marzo 2004.

Dario Assante, Luciano De Menna, Luigi Verolino

Lo sviluppo dei Metodi Integrali: un possibile paradigma per una Storia dell'Ingegneria

I Metodi Integrali hanno avuto probabilmente origine con il lavoro di Eudosso di Cnido (409-356 a.C.), nel IV secolo avanti Cristo, il quale, inscrivendo e circoscrivendo poligoni, ottenne una stima del valore della circonferenza e dell'area del cerchio, tenendo a battesimo un metodo passato poi alla storia come *esaustione*. Poco più di cento anni più tardi Archimede (circa 287-212 a.C.) sviluppò questo metodo e lo applicò al calcolo di aree, volumi e centri di gravità, persino all'astronomia: questa opera gli ha giustamente assegnato un posto tra i tre più grandi matematici di ogni tempo.

Facendo un salto di più di duemila anni, si arriva al XVII secolo, il secolo dell'esplosione della conoscenza, delle leggi del moto e della legge di gravitazione universale, il secolo di Galilei, Newton e Leibniz, il secolo che segna l'inizio della sistematica utilizzazione dei Metodi Integrali ed apre le porte alle future applicazioni scientifiche e tecnologiche, oggigiorno indispensabili per la nostra esistenza.

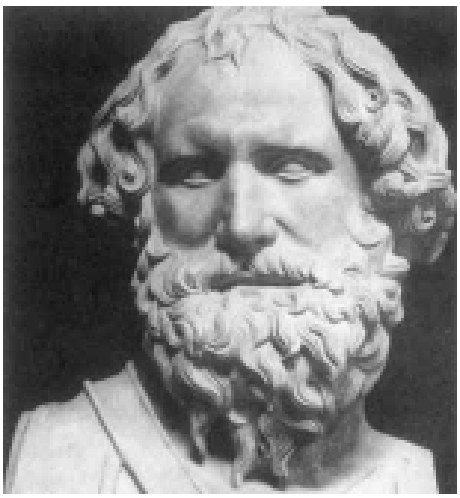


Fig. 1 – Busto di Archimede (287-212 a.C. circa)

Con il termine *Metodi Integrali* si vogliono prendere in considerazione tutti i metodi di calcolo di aree e volumi, di soluzione di equazioni integro-differenziali, di inversione di formule che coinvolgano l'applicazione dell'integrale.

Nella moderna letteratura tecnica si tende ad evidenziare, con insistenza talvolta ossessionante, il contributo di originalità dato dall'autore, o dagli autori, dell'analisi del problema presentato. Quanto sia falsa questa affermazione, almeno per quanto riguarda il contributo matematico vero e proprio, è testimoniato dal fatto che il risultato delle analisi presentate poggiano, quali nani su spalle di giganti, su più di due millenni di studi matematici. Sarebbe buona regola che l'autore di un lavoro tecnico o scientifico saldasse il debito di riconoscenza verso quei matematici che, con il loro lavoro, hanno finito per dirimere i nodi cruciali del metodo adottato per la risoluzione del problema.

Nell'ambito tecnologico più propriamente detto, è spesso difficile rintracciare contributi originali diversi da quelli già noti per mezzo dei Metodi Integrali.

Tutta la storia dell'Ingegneria è costellata di uomini che hanno realizzato strade, ponti, case, motori, antenne, e così via; nondimeno, la conoscenza profonda delle cose fatte, che giunge talvolta dopo la realizzazione dell'opera, si ottiene applicando Metodi Integrali per la soluzione delle equazioni rilevanti. Per questo motivo è profonda convinzione degli autori che una rilettura dei principali Metodi Integrali, che si ritengono vere idee seminali, possa gettare una nuova luce sulla storia dell'Ingegneria, troppo spesso confusa con quella della Scienza, della Matematica, se non con quella della Tecnologia.

In questa memoria verranno rivisitati alcuni dei più famosi metodi integrali, diffusamente utilizzati nella letteratura tecnica e scientifica, ponendo particolare attenzione all'in-troduzione delle trasformate di Fourier, Abel e Hankel, che verranno introdotte nel loro sviluppo storico e critico.

Una interessante rilettura di questi argomenti può trovarsi nel libro di Carl B. Boyer, *Storia della matematica*, pubblicato in edizione italiana da Mondatori, nel 1980.

1. *La trasformata di Fourier*

Il nome di Joseph Fourier (1768-1830) è inestricabilmente legato alla famosa serie ed al celebre integrale. Tuttavia, già 39 anni prima che Fourier nascesse, Leonardo Eulero (1707-1783) aveva adoperato l'espansione

$$f(x) = \\ = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos(nx) + b_n \mathrm{sen}(nx) \right]$$

per interpolazione, ottenendo le celebri relazioni

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(nx)\, dx$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x)\, \mathrm{sen}(nx)\, dx$$

sfruttando l'ortogonalità sin dal 1777.



Fig. 2 – Joseph Fourier (1768-1830)

Il principale contributo dato da Fourier fu l'uso della serie trigonometrica per risolvere l'*equazione del calore*

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = k^2 \frac{\partial T}{\partial t}$$

soggetta alle condizioni iniziali

$$T(0,t) = 0 = T(L,t)$$

ed al contorno,

$$T(x,0) = f(x) \ .$$

Come è ben noto, la soluzione di questo problema è data dalla serie

$$T(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \ \mathrm{sen}(\alpha_n x) \exp\left(-\frac{\alpha_n^2}{k^2} t \right)$$

con $\alpha_n = n\pi / L$ ed i coefficienti di espansione espressi dagli integrali

$$b_n = \frac{2}{L} \int_0^L f(x) \, \mathrm{sen}(nx) \, dx$$

Fourier fece un salto euristico, tentando di comprendere cosa accade nel limite $L \to \infty$.

Seguendo questa strada, si arriva ad introdurre speditamente la trasformata di Fourier, definita dall'integrale

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) \, dt$$

da cui si ottiene immediatamente la formula di inversione

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(j\omega t) \, d\omega$$

A nostra conoscenza, diversi manuali universitari seguono questa intuizione, dato che gli ingegneri, e talvolta i matematici, tentano di ottenere dei risultati e sono poco attenti al rigore.

Il lettore interessato ad approfondire queste cose può trarre sicuro giovamento dalla lettura del testo di I.N. Sneddon, *Fourier Transforms*, pubblicato a New York dalla McGraw-Hill, nel 1951.

2. *Il lavoro di Abel*

Niels Abel (1802-1829) è uno dei pionieri nello sviluppo dei Metodi Integrali. Nel 1823 affrontò il problema del *tautocrone*: il moto di un punto materiale in caduta libera lungo una determinata curva, descritta, in coordinate curvilinee, dalla relazione

$$s = f(\eta) \ ,$$

a partire dal generico punto *P(x,y)* del piano e fino all'origine *O(*0,0*)*del riferimento cartesiano, essendo noto il tempo *T*(*y*) impiegato per percorrere la traiettoria. Imponendo la conservazione dell'energia, non è difficile scrivere l'equazione integrale

$$\sqrt{2g} \ T(y) = \int_0^y \frac{f'(\eta)}{\sqrt{y-\eta}} \, d\eta \ .$$

Abel, riuscì per primo ad invertire questo integrale, facendo uso del risultato notevole

$$\int_{\eta}^{y} \frac{\mathrm{ds}}{\sqrt{\mathrm{y}-\mathrm{s}}\sqrt{\mathrm{s}-\eta}} = \pi \ ,$$

ottenendo, con qualche manipolazione,

$$f(\eta)=\frac{\sqrt{2g}}{\pi}\int_0^{\eta}\frac{T(y)}{\sqrt{\eta-y}}\,dy\ .$$



Fig. 3 – Niels Abel (1802-1829)

3. *Integrali in campo complesso*

Non si può parlare del campo complesso senza menzionare il grande Carl Friedrick Gauss (1777-1855), il terzo, solo in ordine temporale, tra i più grandi matematici di ogni tempo, assieme ad Archimede e Newton. Fondamentale fu il contributo di Gauss alla comprensione della fondamentale questione "Cosa è un numero" e, grazie all'uso dei numeri complessi, la dimostrazione completa del Teorema Fondamentale dell'Algebra. Tuttavia, sembra sia stato Simon Denis Poisson (1781-1840) ad iniziare lo studio sistematico degli integrali nel campo complesso, che Gauss e Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) portarono a compimento, dimostrando che per una funzione $f(z)$ olomorfa

$$\int_{\Gamma} f(z)\,dz=0\ ,$$

essendo Γ una qualunque curva chiusa del piano complesso. Cauchy, molto probabilmente, è stato anche il primo ad introdurre il Teorema dei Residui, secondo cui se

$$f(z)=\frac{a}{z-z_0}+\text{una parte olomorfa}\,,$$

allora

$$\frac{1}{2\pi j}\int_{\Gamma} f(z)\,dz=a\ ,$$

quale che sia il cammino chiuso Γ, attorno a z_0.



Fig. 4 – Augustin-Louis Cauchy (1789-1857)

Curiosamente, il concetto di integrale in campo complesso porta alla valutazione di molti integrali in campo reale ed alla corretta definizione di logaritmo di un numero negativo o, più in generale, complesso. Molte funzioni speciali sono, al giorno d'oggi, definite proprio come integrali nel piano complesso.

L'opera che, con molta probabilità, meglio sintetizza, anche da un punto di vista didattico, la teoria delle funzioni di variabile complessa è quella di Luigi Amerio, *Funzioni analitiche e trasformazione di Laplace*, edita da Masson Italia, nel 1978.

4. *L'invenzione del valor principale*

Non è possibile discutere compiutamente in questa breve memoria l'evoluzione della definizione di integrale, a partire dal lavoro di Bernhard Riemann (1826-1846) oppure di Henri Lebesque (1875-1941). Si vuole, tuttavia, sottolineare la grande importanza che ha avuto il concetto di integrale a valor principale nello sviluppo dei Metodi Integrali.

Nel caso più semplice, quello di una funzione dotata in zero di un polo semplice, come può ad esempio essere

$$f(x) = 1/x$$

è possibile definire l'integrale secondo i due limiti

$$\int_{-a}^{b} \frac{dx}{x} = \lim_{\eta,\varepsilon\to 0}\left(\int_{-a}^{-\eta} \frac{dx}{x} + \int_{\varepsilon}^{b} \frac{dx}{x}\right)$$

avendo assunto $a>0$, $b>0$, $\eta>0$, $\varepsilon>0$. Questo limite, in generale, non esiste finito; assume valore finito soltanto nel caso in cui $\eta=\varepsilon$ e si definisce integrale a Valor Principale

$$V.P.\int_{-a}^{b} \frac{dx}{x} = \log\left(\frac{b}{a}\right)$$

L'integrale a valor principale risolve il problema di trovare il limite dell'integrale complesso

$$F(z) = \frac{1}{2\pi j}\int_{\Gamma} \frac{f(\theta)}{\theta - z}\, d\theta$$

quando z tende ad un qualsiasi valore appartenente al contorno Γ.

Il primo a dare la soluzione esatta di questo problema fu Josip Plemelj (1873-1967), che ottenne la famosa coppia di equazioni

$$\begin{cases} F(z_0^+) + F(z_0^-) = \dfrac{1}{\pi}\displaystyle\int_{\Gamma} \frac{f(\theta)}{\theta - z_0}\, d\theta \\ F(z_0^+) - F(z_0^-) = f(z_0) \end{cases}$$

laddove l'integrale è da intendersi, ovviamente, a valor principale e $z_0 \in \Gamma$.



Fig. 5 – Josip Plemelj (1873-1967)

Fondamentale per approfondire i concetti appena esposti è la lettura dell'articolo di J. Plemelj, *Ein Erganzungssatz sur Cauchyschen Integraldarstellung analytischer Funktionen, Randwerte betreffend*, pubblicato su Mon. F. Math. U. Phys., nel volume 19 del 1908.

5. *Bessel e la terza dimensione*

Mentre Cauchy studiava l'equazione di Laplace nel caso bidimensionale, l'astronomo Wilhelm Bessel (1784-1846) studiava la più completa versione tridimensionale

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0\,.$$

Questa equazione è separabile in coordinate cilindriche polari e può essere risolta mediante l'introduzione della funzione speciale



Fig. 6 – Wilhelm Bessel (1784-1846)

$$J_n(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos(nu - \sin u)\, du \,,$$

detta funzione di Bessel di prima specie di ordine n. Più in generale, facendo uso della trasformazione integrale introdotta da Hermann Hankel (1839-1873)

$$H(r) = \int_0^{\infty} \xi\, f(\xi)\, J_n(\xi r)\, d\xi \,,$$

è possibile risolvere in maniera compiuta il problema della separazione dell'equazione di Laplace in coordinate cilindriche.

Anche quest'ultima trasformazione integrale risulta invertibile per mezzo della formula

$$f(\xi) = \int_0^{\infty} r\, H(r)\, J_n(\xi r)\, dr \,.$$

Le tre trasformazioni integrali introdotte, quella di Fourier, di Abel e di Hankel, in realtà, sono collegate tra loro e ci volle tutto il genio e la passione di David Hilbert (1862-1943) per avviare a soluzione il problema del loro rispettivo legame. I limiti impostici nella redazione di questa memoria, tuttavia, ci impediscono di affrontare compiutamente il problema, ma ci consentono soltanto di affermare che la soluzione esiste.

Una interessante rilettura delle funzioni di Bessel, e più in generale delle funzioni speciali, può trovarsi nel testo di N.N. Lebedev, *Special functions and their applications*, edito da Prentice-Hall, nel 1965.

6. *I progressi del XX secolo*

Le analisi presentate nelle sezioni precedenti hanno trovato una profonda revisione nei lavori di Edward Titchmarsh (1899-1963), revisione che fu successivamente approfondita da una sua allieva, Ida Busbridge, che ha trovato fondamentali soluzioni per diverse classi di equazioni integrali duali, che rappresentano la naturale formulazione integrale dei problemi di valori al contorno di tipo misto. Ian N. Sneddon (1919-) semplificò ed estese il lavoro di questi ultimi, applicando la teoria delle equazioni duali ai più svariati problemi di elasticità, termodinamica, elettromagnetismo, e così via.

Vale la pena segnalare il certosino lavoro di compilazioni di tavole di trasformazioni integrali, che semplifica moltissimo la vita di tanti ricercatori e svolto in maniera eccellente da Harry Bateman (1882-1946) e Arthur Erdelyi (1908-1977).

Un ottimo sommario delle idee esposte in questa sezione si può trovare nel bel volume di I.N. Sneddon, *Mixed Boundary Value Problems in Potential*

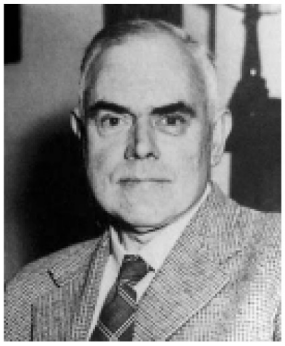


Fig. 7 – Edward Titchmarsh (1899-1963)

Theory, pubblicato ad Amsterdam dalla North Holland, nel 1966.

7. *Un esempio*

Allo scopo di mostrare come continua oggi la ricerca sui Metodi Integrali, in questa sezione si mostrerà la soluzione di un problema elettromagnetico, che solamente di recente ha trovato una rigorosa soluzione analitica. Si tratta dello studio dell'azione schermante che esercita una piastrina (strip di larghezza *2d*) di conduttore elettrico perfetto, quando è illuminata dal campo di un filo di corrente stazionaria *I*.

Se si assume che il filo di corrente, supposto indefinito lungo l'asse z, sia collocato nel punto di coordinate

$$x = a \quad \text{e} \quad y = b \quad ,$$

la densità di corrente indotta nella piastra conduttrice $J(x)$ sostiene un campo magnetico pari a

$$\begin{cases} H_x = -\dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_{-d}^{d} \frac{y\,J(x_0)}{(x-x_0)^2+y^2}\,dx_0\,, \\ H_y = \dfrac{1}{2\pi}\displaystyle\int_{-d}^{d} \frac{(x-x_0)\,J(x_0)}{(x-x_0)^2+y^2}\,dx_0\,. \end{cases}$$

Ora, imponendo l'annullarsi della componente normale del campo magnetico in corrispondenza della superficie metallica, non è difficile scrivere la seguente equazione integrale

$$\int_{-d}^{d} \frac{J(x_o)}{x-x_0}\,d\,x_0 = f(x)\,,$$

in cui il termine noto $f(x)$ è legato al campo primario di un filo di corrente nel vuoto.

Si tratta di un'equazione integrale singolare, da intendersi sempre in valor principale, la cui soluzione può essere ricercata in diverse maniere, utilizzando, ad esempio, le trasformazioni conformi. Tuttavia, allo scopo di ottenere la più generale soluzione, è opportuno sviluppare l'incognita nella serie

$$J(x_0) = \frac{1/\pi}{\sqrt{d^2 - x_0^{\,2}}} \sum_{n=0}^{\infty} I_n\, T_n\!\left(\frac{x_0}{d}\right),$$

in cui si è posto in evidenza la singolarità di bordo della densità di corrente, necessaria alla finitezza dell'energia magnetica in prossimità dei bordi ed all'unicità della soluzione.

Sfruttando l'ortogonalità dei polinomi di Chebyshev, non è difficile mostrare due cose:

1. il primo coefficiente dello sviluppo I_0 è indeterminato, dipendendo dalla particolare condizione secondo cui si realizza l'alimentazione del sistema;
2. il generico coefficiente vale

$$I_m = -\frac{2}{\pi d}\int_{-d}^{d} \sqrt{d^2 - x^2}\; U_{m-1}\!\left(\frac{x}{d}\right) f(x)\,dx\,.$$

Da questi coefficienti è possibile sintetizzare la densità di corrente, ottenendo la rappresentazione integrale

$$J(x_0) = -\frac{1}{\pi\sqrt{d^2 - x^2}}\left[I_0 + \right.$$
$$\left. -\frac{1}{\pi}\int_{-d}^{d} \frac{\sqrt{d^2 - x^2}}{x - x_0} f(x)\, dx \right].$$

Si è di nuovo in presenza di una trasformazione integrale che collega la densità incognita direttamente al campo primario valutato in corrispondenza della piattina metallica, in cui il coefficiente rimasto indeterminato può facilmente calcolarsi imponendo che vi sia induzione completa, vale a dire

$$\int_{-d}^{d} J(x_0)\, dx_0 = I_0 = -I\,.$$

I limiti imposti in questa memoria non consentono di mostrare lo sviluppo dettagliato di tutti i conti, ma è possibile ottenere la densità di corrente in forma elementare, come rapporto di funzioni polinomiali, fatto salvo il termine irrazionale che tiene conto della singolarità ai bordi. La Figura 8 mostra un confronto numerico con un codice ad elementi finiti.

Si potrebbe infine mostrare che il campo magnetico sostenuto dalla corrente indotta può essere espresso in termini di funzioni elementari, del tipo di quelle utilizzate per la densità di corrente.

8. *Conclusioni*

Lo studioso delle diverse discipline scientifiche e tecniche non avrà avuto

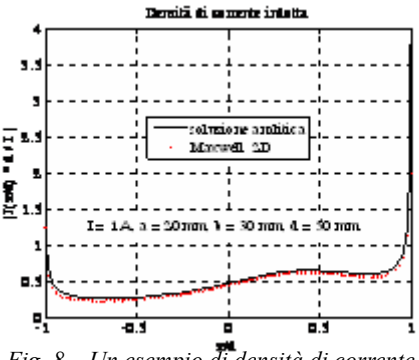


Fig. 8 – Un esempio di densità di corrente indotta

difficoltà a riconoscere nelle diverse trasformazioni integrali precedenti molte di quelle che abitualmente si adoperano per risolvere i più svariati problemi. Peraltro si potrebbe mostrare come molti dei metodi numerici più diffusi (elementi finiti, metodo dei momenti, ecc…) non sono altro che la discretizzazione di Metodi Integrali.

Tutte le branche del sapere scientifico e tecnico si sono avvantaggiate, e lo faranno ancora, dall'uso sistematico dei Metodi Integrali. Questa memoria è stata proprio scritta allo scopo di ricordare che la conoscenza delle origini storiche di tali metodi e le motivazioni per le quali essi sono stati introdotti può aiutare a meglio comprenderne la natura ed i limiti e, probabilmente, anche ad indurne una più corretta applicazione. Paradossalmente si potrebbe affermare che talvolta, quando si cita l'autore di un lavoro scientifico, si dovrebbe, più correttamente, aggiungere al suo nome una lunga lista di altri nomi, specialmente di quelli che, sviluppando metodi, hanno risolto i più controversi e spinosi passaggi di questa o quella applicazione.

Giuliano Augusti, Alessandro Baratta, Marcello Ciampoli

Metodi probabilistici in Ingegneria Civile: da un concetto all'uso corrente

Introduzione

Le *Scienze dell'Ingegneria* sono tradizionalmente annoverate tra le *Scienze esatte*: ad ogni problema "ben formulato" corrisponde una ben determinata soluzione.

Eppure in pratica non è mai stato così: né il "sistema", né le "azioni" che su di esso agiscono, né tanto meno il "modello" con il quale l'ingegnere effettua i suoi calcoli, sono immuni da "incertezze", che tradizionalmente sono coperte mediante coefficienti di sicurezza, chiamati anche - e non a torto - "coefficienti di ignoranza".

Il tentativo di affrontare con procedimenti scientifici la questione della "sicurezza" e della "affidabilità" dei sistemi di ingegneria (in particolare dei sistemi di ingegneria strutturale) risale a pochi decenni or sono, ed ha coinvolto l'uso delle metodologie probabilistiche e, sopratutto negli ultimi anni, le analisi di rischio.

Eppure, tuttora la maggior parte degli ingegneri ritiene che la probabilità e la statistica siano discipline che rientrano nelle competenze specifiche dei matematici.

Questa convinzione è anche giustificata dalla carenza di corsi specifici nei Corsi di Laurea in Ingegneria.

Tuttavia l'ingegnere, nella sua attività di progettazione, è sempre impegnato ad operare una scelta tra soluzioni alternative ed adotterà quella a cui attribuisce il grado di fiducia più elevato.

Ma il grado di fiducia nel realizzarsi di un evento è proprio la misura della probabilità soggettiva di verificarsi di quell'evento (secondo l'impostazione di Bayes, De Finetti, etc.). Quindi l'ingegnere opera sempre, sia pure talvolta inconsciamente, in un contesto probabilistico: e la progettazione può essere vista come un processo che implica un insieme di decisioni sotto incertezza. E per formalizzare i percorsi decisionali, è indispensabile l'impiego di metodi probabilistici.

L'incertezza è riconducibile a diversi fattori: l'incertezza intrinseca (relativa alla caratterizzazione di azioni, parametri geometrici, caratteristiche meccaniche e fisico-chimiche dei materiali); l'incertezza statistica; l'incertezza di modello; gli errori di misura; l'errore umano.

Il problema di come tenere conto di queste incertezze su basi scientifiche fu affrontato nei primi studi di Mayer (1926), Wierbicky (1936), Prot (1936) e in quelli successivamente sviluppati, negli anni '40, da Pugsley (1942), Freudenthal (1945), Levy (1949), Torroja (1948), Streletsky (1947), Rhianitsjn (1949), Johnson (1953) ed altri. Tuttavia questi studi, pur gettando

le basi per una nuova concezione della sicurezza strutturale fondata su basi probabilistiche, restavano praticamente confinati nell'ambito accademico.

I primi approcci per sviluppare in forma organizzata moderni concetti di analisi della sicurezza e introdurli nella pratica tecnica furono quindi esperiti da una Commissione insediata per iniziativa della Institution of Structural Engineering di Londra, e presieduta da sir Alfred Pugsley (1955). Successivamente possono ricordarsi la Commissione dell'A.S.C.E. (American Society of Civil Engineers), presieduta da O.G. Julian e da A.M. Freudenthal (1957), e la Commissione dell'International Council for Building Research, presieduta da Torroja (1958).

Un contributo fondamentale fu anche dato dai lunghi anni di insegnamento di A.M. Freudenthal alla Columbia University. Alla Scuola di Freudenthal si possono infatti attribuire alcuni dei maggiori studiosi ancora attivi nel settore: A.C. Cornell, M. Shinozuka, G.I. Schuëller, e molti altri. Più o meno contemporaneamente, un'altra importante Scuola si sviluppava in Russia, sotto la guida di V.I. Bolotin.

A.M. Freudenthal fu anche il promotore della prima *International Conference on Structural Safety and Reliability* (ICOSSAR), che si svolse a Washington, USA, nel 1969. Da questa ebbe origine una serie di Conferenze Mondiali, che dal 1977 si svolgono regolarmente ogni 4 anni in varie parti del mondo. L'ultima ICOSSAR si è tenuta a Roma nel Giugno 2005 (Presidente G. Augusti; Segretario tecnico M. Ciampoli); la prossima si svolgerà a Osaka, Giappone, nel 2009.

Un'altra serie di Conferenze, ancora a ritmo quadriennale ed intervallate con le ICOSSAR, sono le *International Conference on Applications of Probability and Statistics* (ICASP), iniziate a Hong Kong nel 1971, di cui l'ultima ha avuto luogo a San Francisco nel 2003.

Le Conferenze ICOSSAR e ICASP raccolgono un numero sempre crescente di studiosi e di ingegneri; i volumi dei loro Atti sono testi fondamentali per seguire l'evoluzione e gli ultimi risultati delle trattazioni probabilistiche nell'ingegneria civile.

Ma ICOSSAR ed ICASP non sono le uniche Conferenze espressamente dedicate ai metodi probabilistici: ad esempio, si possono citare le *Probabilistic Mechanics Conference*, che di solito si svolgono in un'isola greca, le *Specialty Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Reliability* dell'ASCE, e le *Working Conference* del Gruppo di Lavoro WG7.5 dell'IFIP.

Esistono inoltre varie riviste internazionali dedicate specificamente all'applicazione dei metodi probabilistici in ingegneria civile: tra esse, *Structural Safety*, *Probabilistic Engineering Mechanics* e, più di recente, *Structure & Infrastucture Engineering*. Le metodologie probabilistiche sono tanto più essenziali quanto più incerte sono le azioni: ecco perché sono fondamentali in Ingegneria Sismica ed Ingegneria del Vento, e trovano grande spazio nei relativi Congressi e riviste specializzate.

Gli studiosi italiani, e tra loro gli autori di questa comunicazione, sono stati sempre molto presenti ed attivi nello sviluppo del settore. Oltre alla organizzazione di una ICASP (Firenze, 1982) e di una ICOSSAR (Roma, 2005), si ricorda il volume *Probabilistic Methods in Structural Engineering* pubblicato nel 1984 da G. Augusti, A. Baratta e F. Casciati, tuttora molto citato in letteratura.

È infine da notare che i principi ed i metodi probabilistici sono stati inseriti negli ultimi anni, a diverso livello di sofisticazione, in tutte le nuove normative sulle costruzioni: un esempio è rappresentato dall'insieme degli *Structural Eurocodes* (EN 1990 - EN 1999), nei quali si stanno finalmente concretizzando le pionieristiche intuizioni di F. Levi, J. Ferry-Borges ed altri.

In questa memoria, nella impossibilità di riassumere tutti i recenti sviluppi delle applicazioni probabilistiche e dello studio dei rischi in ingegneria, si illustrano alcuni argomenti che si ritengono particolarmente significativi ed aperti a importanti sviluppi.

Dinamica Stocastica

Sin dai primi tentativi di impostare il problema della sicurezza delle strutture su base probabilistica, la Dinamica Stocastica si è evidenziata come uno strumento di modellazione ed analisi insostituibile in tutti i casi in cui l'evoluzione della struttura nel tempo dipende da eccitazioni variabili nel tempo ed interagisce con queste. Negli ultimi cinquanta anni, la tematica si è evoluta ampiamente, estendendosi dalla Meccanica alla Ingegneria, e contribuendo, oramai in modo decisivo, all'analisi ed alla soluzione di una vasta gamma di problemi normativi, progettuali e di verifica, che spaziano dalla Ingegneria Sismica, all'Ingegneria del Vento, all'Ingegneria delle Vibrazioni.

In particolare, la capacità di applicazione della metodologia probabilistica a problematiche fino a qualche decennio fa impenetrabili alla modellazione aleatoria, quali i problemi caratterizzati da non linearità significative (in particolare i modelli di comportamento elasto-plastici che sono essenziali nell'analisi delle strutture dell'ingegneria civile), ha reso possibile formulare - e quindi risolvere - in maniera più corretta molte questioni, la cui trattazione in ambito deterministico non può per sua natura fornire risposte soddisfacenti.

Un contributo notevole alla soluzione di tali problematiche proviene dallo sviluppo dei metodi di simulazione, a partire dal classico Metodo MonteCarlo, che consentono di costruire scenari evolutivi probabili dei fenomeni considerati; si tratta comunque di metodi che sono di portata più generale e non specifici della Dinamica Stocastica.

Volendo sintetizzare le metodologie di base attualmente disponibili, da quella storicamente più consolidata relativa all'analisi del comportamento lineare delle strutture, alle metodologie più recenti tendenti alla risoluzione di modelli non lineari e isteretici, si può fare riferimento, per semplicità, ad un oscillatore ad un grado di libertà (SDOF); la

forzante sarà individuata in una funzione aleatoria $\tilde{a}(t)$ *di secondo ordine*, cioè completamente descritta dalle funzioni di valor medio e di autocorrelazione.

Se si risolve l'equazione del moto di un sistema SDOF lineare, soggetto alla forzante , con condizioni iniziali deterministiche, si rileva che l'aleatorietà della risposta è tutta concentrata nell'integrale particolare.

La soluzione dell'equazione del moto si identifica dunque nella caratterizzazione di tale funzione aleatoria, le cui caratteristiche di secondo ordine sono immediatamente note in funzione delle corrispondenti caratteristiche della forzante.

Se la forzante è Gaussiana, la caratterizzazione al secondo ordine definisce completamente, fino ad un ordine comunque grande, sia la forzante che la risposta, che è anch'essa Gaussiana. In caso contrario, dovendo la forzante stessa essere identificata in maniera più accurata, è possibile calcolare i momenti di ordine più elevato della risposta.

Nel caso di un sistema SDOF non lineare, si rileva che una classe di funzioni aleatorie molto studiata ed ampiamente applicata è quella dei processi di Markov, in cui ciò che accade ad un certo istante t è condizionato solo da ciò che si è verificato in un istante immediatamente precedente, e non dall'intera storia del processo.

Poiché questo è proprio ciò che accade in un fenomeno di risposta dinamica, la teoria dei processi di Markov trova un campo molto fertile proprio nei problemi di Dinamica Stocastica non lineare, allorché la forzante, debolmente autocorrelata in rapporto ai tempi di risposta del sistema SDOF (in pratica assimilabile ad uno shot-noise con funzione intensità I(t) nota), giustifica l'aspettativa che la risposta sia appunto un processo Markoviano. In tal caso la densità di probabilità istantanea della risposta congiunta in spostamento e velocità, che sono le componenti
di un vettore Markoviano, è ben individuata, almeno sotto il profilo formale. Detta infatti $g(u,\dot{u})$ la forza di richiamo dell'oscillatore, genericamente non lineare nelle variabili spostamento e velocità, l'equazione del moto si scrive nella forma:

$$\ddot{u} + g(u,\dot{u}) = \tilde{a}(t)$$

e la densità di probabilità istantanea al tempo t, $p_{u\dot{u}}(u,\dot{u};t)$, è retta dall'equazione di Fokker-Planck:

$$\frac{\partial p_u(u,\dot{u};t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial \dot{u}}\left[p_u(u,\dot{u};t)g(u,\dot{u};t)\right] - \frac{\partial}{\partial u}\left[p_u(u,\dot{u};t)\dot{u}\right] + \frac{1}{2}I(t)\frac{\partial^2 p_u(u,\dot{u};t)}{\partial \dot{u}^2}$$

la cui soluzione può essere perseguita attraverso metodi numerici quali le differenze finite o gli elementi finiti, o metodi più specifici quali la *chiusura di momenti* o *cumulanti* e/o la *chiusura entropica*.

Considerata la difficoltà di pervenire a soluzioni esatte nel caso di un oscillatore non lineare, spesso è necessario ricorrere a procedimenti approssimati, tra cui, principalmente, il *metodo della superficie di risposta*, la *linearizzazione*

equivalente, i *metodi perturbativi*. Altri metodi per la soluzione approssimata dell'equazione del moto (*stochastic averaging*, *chiusura dei momenti*, …) di un oscillatore non lineare si trovano in letteratura, e richiedono trattazioni specifiche.

Progettazione basata sulle prestazioni

Secondo gli orientamenti più attuali, la progettazione strutturale è basata sul conseguimento di obiettivi diversificati. Nel caso, ad esempio, delle costruzioni in zona sismica, gli obiettivi possono essere: (a) prevenire il danneggiamento non strutturale, in occasione di eventi sismici di bassa intensità, che possano verificarsi di frequente durante la vita utile della struttura; (b) prevenire il danneggiamento strutturale, limitando quello non strutturale, in occasione di eventi di moderata intensità, che possano verificarsi meno di frequente; (c) scongiurare il rischio di collasso strutturale in occasione di terremoti di forte intensità, che rappresentino eventi rari ma possibili.

Se si analizzano con attenzione questi obiettivi, si riconosce che ognuno di essi associa la prescrizione di un comportamento, ovvero di una prestazione della struttura, ad un livello dell'azione sismica, quantificato da un'intensità con diversa frequenza di accadimento.

Attualmente, diverse normative antisismiche seguono questa impostazione, anche se solo in alcune di esse gli obiettivi prestazionali sono citati esplicitamente. In alcune normative, quali la EN 1998, questi obiettivi si identificano con il rispetto di alcuni stati limite. Il metodo di progetto adottato prevede l'applicazione di coefficienti parziali di sicurezza (moltiplicatori delle azioni e divisori delle resistenze), calibrati (in teoria mediante una procedura probabilistica, ma più frequentemente tramite il giudizio di esperti) in modo da garantire determinati livelli di affidabilità.

Questo metodo, se da una parte riconosce il carattere aleatorio sia dell'azione, sia della valutazione della prestazione strutturale, dall'altra non consente al progettista di controllare - e tanto meno di comunicare al committente - il livello di protezione della costruzione nei confronti di un evento che è aleatorio nelle sue modalità, ma statisticamente certo nel suo verificarsi.

Invece, altre normative adottano esplicitamente un approccio totalmente probabilistico, la Progettazione Sismica Basata sulle Prestazioni (Performance-Based Seismic Design - PBSD), che è una filosofia di progettazione che parte dalla definizione di alcuni obiettivi prestazionali (funzione della tipologia strutturale e della destinazione funzionale), e stima il livello di confidenza con il quale la struttura è in grado di raggiungere tali obiettivi.

Normative o raccomandazioni quali Vision 2000, FEMA-273, FEMA-350 tendono ad una formulazione molto spinta degli obiettivi prestazionali. Fanno riferimento infatti non più soltanto ai classici stati limite, ma ad una pluralità di stati compresi tra l'assenza di danno ed il collasso. FEMA-273, ad esempio, definisce quattro livelli di pre-

stazione dell'edificio (come combinazione di cinque livelli di prestazione strutturale e di quattro livelli di prestazione non strutturale) e quattro livelli dell'azione sismica, espressi in termini di probabilità di superamento in 50 anni (0.50; 0.20; 0.10; 0.02). Gli obiettivi prestazionali sono pertanto 16, essendo ottenuti dalla combinazione dei livelli di prestazione strutturale con i diversi livelli dell'azione sismica.

Nelle procedure applicative del PBSD, il punto di partenza per verificare l'adeguatezza della struttura in riferimento agli obiettivi prestazionali è la definizione di una variabile chiave DV (*Decision Variable*), quale ad esempio il superamento di uno stato limite o il verificarsi di perdite economiche superiori ad una certa entità. L'obiettivo della progettazione si orienta quindi sulla descrizione probabilistica della DV attraverso la frequenza media annua di superamento ë(DV) di un dato valore di essa.

La strategia di analisi adottata, nella formulazione più generale, prevede l'introduzione di tre variabili intermedie: una misura dell'intensità dell'azione sismica, IM (*Intensity Measure*); un parametro di risposta strutturale, EDP (*Engineering Demand Parameter*); una misura del livello di danno, DM (*Damage Measure*).

ë(DV) viene ricavata, sotto alcune condizioni per quanto riguarda i parametri IM, EDP e DM, mediante l'applicazione del teorema della probabilità totale (Cornell & Krawinkler, 2002), attraverso l'espressione:

$$ë(DV) = \int G(DV|DM) \cdot |dG(DM|EDP)| \cdot |dG(DM|IM)| \cdot |dë(IM)|$$

in cui:

- ë(IM) è la frequenza media annua di superamento di un dato valore della IM e rappresenta la cosiddetta curva di pericolosità sismica. La variabile IM caratterizza la capacità di un terremoto di danneggiare una struttura. Essa può essere una caratteristica del moto del suolo, quale il picco di accelerazione o l'intensità di Arias, o dipendere anche dalla risposta strutturale, come ad esempio l'accelerazione spettrale valutata in corrispondenza del periodo fondamentale della struttura. È facilmente osservabile che, nella formulazione proposta, questo termine è l'unico collegamento con l'evento sismico, per cui tutte le informazioni relative a quest'ultimo, quali la magnitudo, la distanza del sito dalla sorgente, gli effetti locali, etc., sono portate in conto da questo termine. La possibilità di caratterizzare il potenziale distruttivo di un terremoto attraverso un unico parametro rende quindi possibile disaccoppiare l'analisi strutturale dallo studio della pericolosità sismica;
- G(EDP|IM) è la probabilità che il parametro rappresentativo della risposta strutturale (EDP) ecceda un determinato valore, per un dato valore di IM. EDP si può identificare, ad esempio, con lo spostamento relativo d'interpiano o l'energia dissipata in una cerniera plastica, ed è quindi direttamente ricavabile dalle analisi strutturali. La stima di questo parametro è oggetto dell'analisi pro-

babilistica della risposta strutturale ad azioni sismiche di data intensità;
- G(DM|EDP) è la probabilità che il livello di danno (DM) ecceda un determinato valore, dato il valore di EDP. La variabile DM è una misura del danneggiamento, che descrive le manifestazioni fisiche e/o le conseguenze del fatto che EDP assuma un determinato valore. La valutazione di DM è uno dei punti più delicati per l'applicazione del PBSD: è infatti molto difficile correlare gli scenari di danno e di funzionalità compromessa con i valori di EDP forniti dalle analisi strutturali;
- G(DV|DM) infine è la probabilità che la variabile decisionale superi un valore specifico, per un dato valore di DM. La stima di questo termine è l'oggetto dell'analisi probabilistica delle perdite.

L'applicazione pratica del PBSD presenta tuttora notevoli ostacoli, il superamento dei quali è oggetto di molti studi in corso.

Attualmente inoltre si sta tentando di estendere la progettazione basata sulle prestazioni al caso delle strutture esposte ad altri rischi, quali il rischio eolico.

Progettazione in presenza di degrado

Il degrado strutturale, dovuto sia all'esposizione ad un ambiente aggressivo, sia all'usura, sia ad un uso o ad una manutenzione impropri, può causare significative riduzioni delle capacità prestazionali delle strutture.

Queste variazioni sono aleatorie, così come sono aleatorie le condizioni alle quali il sistema è sottoposto nel tempo. Di conseguenza, la valutazione della sicurezza dei sistemi strutturali soggetti a degrado non può che essere affrontata mediante le metodologie proprie delle teorie probabilistiche.

La necessità di considerare gli effetti del degrado, ravvisata negli ultimi decenni anche per le strutture in calcestruzzo, ha comportato rilevanti modifiche nelle più recenti impostazioni della progettazione strutturale: ai progettisti, che, sino a pochi anni fa, si riteneva esaurissero i loro compiti con il collaudo, si richiede infatti di garantire che le prestazioni richieste siano fornite in un arco di tempo economicamente vantaggioso, e quindi la valutazione della sicurezza del sistema soggetto a degrado.

Tale valutazione è particolarmente difficoltosa: l'intensità e l'evoluzione del degrado dipendono infatti da molti fattori, tra cui il progetto strutturale, la scelta dei materiali, la qualità della costruzione, la presenza e l'influenza di agenti aggressivi legati all'ambiente di esposizione ed all'esercizio, il valore di progetto della vita utile, ovvero del periodo di tempo in cui la struttura deve essere in grado di fornire le prestazioni richieste.

Per valutare gli effetti del degrado strutturale, sono stati condotti negli ultimi anni numerosi studi teorici e sperimentali, che hanno perseguito sostanzialmente due obiettivi: verificare che le strutture siano in grado di fornire le prestazioni richieste in relazione alle condizioni di esposizione e di esercizio; pianificare i programmi di manutenzione e riparazione, da ottimizzare anche rispetto alla stima dei costi associati alla

vita utile prevista. Per garantire un valore adeguato della affidabilità durante la vita utile, è possibile adottare due approcci. Il primo ha l'obiettivo di inibire lo sviluppo dei meccanismi di degrado, modificando l'ambiente di esposizione e/o adottando strategie di protezione o materiali non reattivi; il secondo quello di controllare gli effetti del degrado.

Questo secondo approccio richiede l'identificazione di obiettivi prestazionali che possono essere (I) direttamente posti in relazione ai meccanismi di degrado, definendo valori di soglia dei loro effetti, oppure (II) espressi in termini di effetti meccanici del degrado. La formulazione di stati limite correlati ad obiettivi del secondo tipo è più usuale nella progettazione corrente; tuttavia anche quella di stati limite correlati ad obiettivi del primo tipo è stata oggetto di studio ed ha fornito interessanti applicazioni (ad esempio, nell'ambito del progetto EURO Brite EuRam III *DuraCrete*, 1997/2000).

Nel valutare le prestazioni, o di una nuova costruzione con l'obiettivo di stimare il valore atteso della sua vita utile, o di una costruzione esistente con l'obiettivo di estenderne la vita utile o a seguito del manifestarsi di danni, sono stati quindi affrontati i seguenti problemi:

a) l'identificazione di modelli probabilistici dei meccanismi di degrado e dei loro effetti strutturali, in relazione alle condizioni iniziali e di esercizio, alla presenza di agenti aggressivi ed alla loro natura, ed alle azioni ambientali;

b) l'identificazione di modelli stocastici sia delle prestazioni degli elementi strutturali, sia delle azioni a cui sono soggetti;

c) la formulazione di procedure affidabilistiche per la valutazione delle prestazioni attuali e future degli elementi strutturali.

Con riferimento al punto a), si deve notare che gli effetti dei meccanismi di degrado sono tuttora noti spesso solo in termini qualitativi: sono quindi modellati attraverso relazioni semplificate, con parametri calibrati sulla base di risultati sperimentali. Tuttavia, i risultati sperimentali sono ottenuti da prove di breve durata, mentre i modelli analitici devono essere in grado di descrivere fenomeni a lungo termine; inoltre, gli effetti di interazione tra i diversi meccanismi di degrado non possono essere ancora presi in conto propriamente, se non in maniera semplificata.

Con riferimento al punto b), si deve notare che le prestazioni di un elemento strutturale sono generalmente valutate confrontando il suo stato con alcuni stati limite. Pertanto la stima della affidabilità di un elemento soggetto a degrado nel tempo richiede l'identificazione di modelli stocastici almeno della resistenza e della rigidezza dell'elemento. Tali caratteristiche devono essere correlate all'evoluzione del degrado attraverso relazioni appropriate allo stato limite considerato. È difficile attribuire a queste relazioni una formulazione analitica: ma questo è un vero problema, perché nella valutazione dell'affidabilità di un sistema, le pro-

prietà meccaniche sono le grandezze di interesse ingegneristico, mentre la valutazione degli effetti del degrado è solo un mezzo per determinarne la variazione. Spesso quindi, per ricavare la descrizione probabilistica della resistenza e della rigidezza di un elemento strutturale sono impiegate tecniche di simulazione MonteCarlo, eventualmente di tipo avanzato.

Infine, con riferimento al punto c), si rileva che sono disponibili alcune procedure probabilistiche che forniscono l'evoluzione nel tempo della affidabilità di un sistema. Queste procedure sono indispensabili per ottimizzare le strategie di ispezione, manutenzione e riparazione delle costruzioni esistenti.

Tali ispezioni, manutenzioni e riparazioni erano già eseguite di routine su diverse strutture soggette a degrado: negli ultimi decenni sono stati però sviluppati, in particolare per i sistemi territoriali di infrastrutture, programmi di gestione delle strutture soggette a degrado, che forniscono criteri, regole e strumenti quantitativi e permettono di stabilire gli intervalli ottimali di ispezione, manutenzione e riparazione, sulla base dei costi attesi nella vita utile e di altri requisiti.

Quando un elemento strutturale è sottoposto ad ispezione, a manutenzione o è riparato, le distribuzioni di probabilità di resistenza e rigidezza e la valutazione dell'affidabilità strutturale (tutte definite, ad esempio, sulla base della conoscenza a priori delle caratteristiche dei materiali, delle tecnologie costruttive e delle azioni agenti), possono essere aggiornate, per tenere conto delle informazioni acquisite o degli interventi attuati.

Tale aggiornamento viene eseguito nell'ambito dell'inferenza bayesiana, che permette di utilizzare informazioni derivate da fonti differenti, quali il controllo di qualità, il collaudo, le prove sperimentali, le ispezioni periodiche o il monitoraggio in continuo. L'inferenza bayesiana viene quindi applicata ad aggiornare sia direttamente la distribuzione di probabilità di una variabile, sia la stima dell'affidabilità di un elemento.

Le risorse economiche e tecniche disponibili per il programma di ispezione/manutenzione devono essere utilizzate in modo razionale, cioè ottimizzate. Per sviluppare una strategia ottimale di ispezione/manutenzione nella vita utile di esercizio, è quindi necessario valutare i costi delle ispezioni e dei possibili interventi ed i benefici che ne conseguono, in termini di affidabilità strutturale o di altre funzioni obiettivo o, meglio, in una logica multi-obiettivo.

Con riferimento alle risorse economiche per la manutenzione, ad esempio, si deve considerare il fatto che esse possono essere (I) completamente disponibili ad un certo istante della vita utile o (II) disponibili in quantità limitate ad istanti diversi. Nel secondo caso, la sequenza temporale delle spese può essere definita a priori, o risultare da un processo di ottimizzazione.

Nell'applicazione delle procedure citate sussistono alcuni problemi cruciali, a cui ancora oggi è possibile dare solo

risposte di tentativo. Tra essi, quando ritenere accettabile lo stato di una struttura, quali siano i valori ammissibili delle probabilità di superamento degli stati limite ed in quale maniera calibrare i valori ammissibili di tali probabilità, in relazione agli obiettivi della valutazione: l'estensione della vita utile, la variazione di destinazione funzionale, etc. La discussione su tali argomenti resterà aperta per molto tempo e, forse, solo una decisione "politica", supportata da studi affidabili, potrà fornire risposte adeguate.

Ottimizzazione basata sull'affidabilità

È oramai largamente riconosciuto il fatto che le conseguenze più gravi di un evento disastroso, valutate in termini sia puramente economici che di riduzione della qualità della vita, non sono (almeno in molti casi e soprattutto in ambiti fortemente antropizzati ed industrializzati) le conseguenze dirette dei danni subiti dalle costruzioni, ma piuttosto quelle indirette, legate alla interruzione, a volte protratta nel tempo, delle attività produttive e della vita sociale. Effetti di questo tipo si hanno ad esempio quando, per effetto di un evento sismico, si verifica la messa fuori servizio di un sistema territoriale di infrastrutture.

Questa considerazione ha motivato lo sviluppo di una serie di studi di ottimizzazione della progettazione sulla base di valutazioni di affidabilità.

A titolo di esempio si citano gli studi che affrontano il problema della riduzione del rischio sismico dei sistemi territoriali di infrastrutture esistenti (in particolare, reti stradali) mediante interventi di adeguamento preventivo.

Nella programmazione di tali interventi, è necessario adottare un approccio a sistema: infatti, le conseguenze del collasso di un elemento vulnerabile di un sistema territoriale di infrastrutture dipendono dal ruolo e dall'importanza dell'elemento nella logica di funzionamento dell'intero sistema.

La riduzione del rischio sismico potrebbe essere pianificata definendo un valore di soglia della probabilità di interruzione della funzionalità del sistema, e quindi valutando il tipo di interventi di adeguamento e l'ammontare delle risorse economiche necessarie a garantire che il valore effettivo di tale probabilità sia inferiore a quello di soglia per un intervallo di tempo assegnato. Un approccio di questo tipo si adotta infatti in genere nel prescrivere e progettare gli interventi di adegua-mento di singoli edifici.

Più razionalmente, il problema è stato affrontato come un problema di ottimizzazione, ovvero ricercando la distribuzione di interventi di adeguamento degli elementi vulnerabili del sistema che ottimizza una assegnata funzione obiettivo. Indicando con C_{tot} l'ammontare delle risorse economiche impiegate a tal fine (che è una quantità deterministica, una volta che sia fissata) e con G_{tot} il *guadagno* complessivo (o la riduzione delle perdite) conseguente all'esecuzione del programma di attenuazione del rischio (che è invece sempre una quantità aleatoria), l'otti-

mizzazione può essere perseguita in tre modi alternativi, ovvero:

- minimizzando la somma delle spese e delle perdite attese, ovvero minimizzando l'entità ($C_{tot} - G_{tot}$):
- massimizzando il rapporto tra il guadagno complessivo e la spesa totale G_{tot}/C_{tot};
- invertendo il problema, ovvero assumendo che il quantitativo di risorse a disposizione per gli interventi di adeguamento sia limitato (come accade di solito), e massimizzando il guadagno totale che si consegue per una assegnata spesa totale ($G_{tot} \mid C_{tot}$).

Quest'ultimo approccio, che sembra più realistico, richiede di affrontare un problema di *allocazione ottimale delle risorse economiche* disponibili per l'adeguamento sismico preventivo di un sistema territoriale di infrastrutture.

Seguendo tale linea di pensiero, alcuni ricercatori hanno affrontato il problema della scelta degli elementi vulnerabili sui quali intervenire come un problema di definizione di una scala di priorità. Tuttavia, la priorità può cambiare sia con l'ammontare delle risorse disponibili che in relazione alla funzione obiettivo prescelta: di conse-guenza, agli autori della presente memoria è sembrato che considerare l'intero sistema allo stesso tempo possa dare risultati più significativi.

Nell'ottimizzazione, sono state prese in esame diverse funzioni obiettivo: la probabilità di mantenere attiva almeno una connessione tra un sito origine ed un sito destinazione in caso di evento sismico, la capacità della rete stradale nella fase di emergenza che segue il verificarsi dell'evento, il tempo di mancato esercizio per effettuare le necessarie riparazioni.

Inoltre, poiché a questi obiettivi possono corrispondere distribuzioni di interventi differenti, è risultato necessario operare in una logica multi-obiettivo, adottando una strategia di analisi decisionale ed individuando le soluzioni che soddisfano "al meglio" tutti gli obiettivi.

Giovanni Calabresi

Geotecnica e Ingegneria Civile

Nell'evoluzione dell'ingegneria civile nel secolo appena scorso l'affermarsi della geotecnica come un settore chiaramente definito ed in certo senso autonomo è un aspetto che merita qualche considerazione. È evidente che l'interazione delle opere di ingegneria con il terreno costituisce un fattore specifico e caratterizzante dell'intera ingegneria civile. Lo studio delle condizioni di vincolo delle opere, quindi delle caratteristiche meccaniche del mezzo che materializza il vincolo, ha costituito da sempre un capitolo importante dell'intera materia. Tuttavia, lo sviluppo tecnologico e la maggiore complessità delle opere di ingegneria, e conseguentemente la necessità di affinare i processi di progettazione e costruzione, il progresso nelle conoscenze sul comportamento meccanico dei terreni, l'evoluzione delle tecnologie costruttive delle strutture interagenti con il terreno, la possibilità di descrivere con modelli matematici e metodi numerici il comportamento di volumi di qualsiasi forma, costituiti da materiali con comportamento meccanico molto complesso, hanno aperto agli ingegneri civili prospettive prima impensabili, tanto nel campo della progettazione quanto in quello dell'esecuzione materiale.

In questo quadro si è inserita la geotecnica ed ha trovato la possibilità di espandersi grandemente.

Vale la pena di esaminare le fasi più significative dell'evoluzione di un settore che ha influenzato in modo significativo la storia dell'ingegneria europea ed italiana nell'ultimo mezzo secolo.

Questa singolare evoluzione è dipesa dallo sviluppo, quasi contemporaneo, nell'arco di circa settanta anni, di tre fattori tra loro indipendenti: la ricerca sperimentale nella meccanica delle terre, con il corrispondente inquadramento nelle teorie moderne della meccanica dei solidi; l'evoluzione delle macchine operative e dei mezzi tecnologici nel campo delle costruzioni; i calcolatori elettronici, il calcolo numerico e la modellazione matematica.

Certamente il primo e fondamentale fattore di sviluppo è stato l'interesse ad approfondire la conoscenza delle caratteristiche meccaniche delle terre, attraverso la ricerca sperimentale.

Quando nel 1923 K. Terzaghi pubblicò a Vienna il suo celebre libro *Erdbaumechanik* pose la prima pietra di una costruzione che avrebbe avuto un enorme sviluppo nel corso dei seguenti decenni. In Austria e in Germania diversi ingegneri si dedicarono allo studio della meccanica delle terre e sorsero i primi laboratori dedicati alla ricerca sperimentale. È sorprendente constatare oggi con quanta rapidità si diffuse l'interesse al nuovo settore disciplinare ed iniziarono ricerche teoriche e sperimenta-

li e discussioni scientifiche ed accademiche; si pubblicarono memorie che ancora oggi colpiscono per la validità dei risultati e la modernità dell'impostazione scientifica.

Dalle prime misure sulla resistenza al taglio di elementi parallelepipedi di terre a grana fine, si passò rapidamente alla sperimentazione di stati tensionali più generali e più chiaramente definibili, applicati ad elementi cilindrici, in condizioni assialsimmetriche, ed all'osservazione delle deformazioni tangenziali e volumetriche. Le prime osservazioni sul fenomeno della dilatanza dei mezzi granulari addensati soggetti a sforzi tangenziali risalgono a quel periodo. Si ebbero anche le prime rappresentazioni sintetiche dei fenomeni di addensamento e d'incremento della resistenza delle terre argillose e i primi modelli reologici dei processi di consolidazione, con la distinzione tra gli effetti della viscosità strutturale dello scheletro solido e dell'acqua interstiziale.

Negli anni '30 era attivo in Italia un laboratorio sperimentale di indirizzo applicativo, dotato di apparecchiature di fabbricazione tedesca, realizzato da G. Rodio a sostegno dell'attività di impresa specializzata. Vi si eseguirono, tra l'altro, le prime misure delle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione della Torre di Pisa. A Roma, C. Cestelli Guidi, che aveva iniziato ad interessarsi di Meccanica delle Terre dopo un viaggio di studio a Berlino, nel 1938 stabilì nel chiostro di S. Pietro in Vincoli, sede della Facoltà d'Ingegneria, il primo laboratorio universitario di meccanica delle terre, con apparecchiature fabbricate a Berlino, e pubblicò presso Hoepli nel 1942 il suo libro "Meccanica dei terreni e stabilità delle fondazioni", che fu il primo testo italiano sull'argomento.

Nel dopoguerra, dalla fine degli anni '40, si ebbe un nuovo impulso nello studio della meccanica delle terre in Gran Bretagna, all'Imperial College di Londra, per opera di A.W. Skempton, che vi stabilì il primo corso di Soil Mechanics nel 1946. Con una approfondita conoscenza della geologia e l'osservazione del comportamento dei terreni in sito e delle opere interagenti, diede un sostanziale contributo alla conoscenza del comportamento meccanico dei terreni naturali, in particolare coesivi, soprattutto nello studio delle condizioni di equilibrio dei pendii naturali e delle opere in terra (era il periodo di costruzione delle grandi dighe in terra nel subcontinente indiano). Intanto, negli anni '50, nel laboratorio dello stesso Istituto, A.W. Bishop progettò e realizzò nuove apparecchiature sperimentali[1], essenzialmente meccaniche, che divennero un equipaggiamento standard per la maggior parte dei laboratori geotecnici di indirizzo applicativo in Gran Bretagna e in Europa, e D.J. Henkel riprendeva le ricerche condotte da L. Rendulic nell'anteguerra per definire in modo organico e completo il comportamento meccanico dei terreni argillosi.

Nel decennio successivo un nuovo impulso alla ricerca nella meccanica delle terre venne dall'iniziativa di K.H.

Roscoe a Cambridge, con la collaborazione di A.N. Schofield e P.W. Wroth. A Cambridge si disegnarono apparecchiature sperimentali veramente nuove, impiegando strumenti di misura elettronici, anche miniaturizzati, per osservare localmente il comportamento di volumi di terreno anche di grandi dimensioni, e nell'ambito della teoria della plasticità fu proposto il primo completo modello unitario del comportamento meccanico delle terre coerenti e incoerenti, dotato di elasticità non lineare ed incrudimento isotropo (*"Teoria dello Stato Critico"*)[2]. Nel laboratorio si fecero osservazioni sullo sviluppo delle deformazioni in un terreno incoerente interagente con una parete di sostegno al muoversi di questa, e per la prima volta si osservarono con la radiografia ai raggi X la formazione delle "*bande di taglio*" e gli effetti della dilatanza nelle sabbie addensate. A Cambridge gli sviluppi della microscopia elettronica a riflessione furono utilizzati per osservare la microstruttura delle argille naturali e gli effetti delle deformazioni, mntre si aprì un ulteriore campo di sperimentazione con la costruzione delle prime grandi centrifughe.

Intanto negli USA, T.W. Lambe e R.V. Whitman all'MIT, attivi nella ricerca in meccanica delle terre, mantenevano un approccio essenzialmente empirico,
R.B. Peck all'Università dell'Illinois seguiva l'indirizzo di K. Terzaghi nello studio del comportamento meccanico dei materiali naturali per il progetto delle opere di ingegneria e H. Bolton Seed all'Università della California a Berkeley avviava nel 1960 la ricerca geotecnica nel campo dell'ingegneria sismica.

La competizione tra le scuole inglesi fu il lievito della ricerca geotecnica degli anni seguenti. In varie università e centri europei si portavano avanti nuove ricerche teoriche sul comportamento dei mezzi granulari, nell'ambito di paralleli sviluppi delle teorie della plasticità. Nella meccanica delle terre allora i problemi prevalentemente trattati erano la definizione dei criteri di resistenza in forma generale e dei processi di consolidazione.

Particolare di quel periodo fu l'ampia partecipazione di cultori della meccanica dei solidi al dibattito sugli sviluppi delle ricerche teoriche e sperimentali nella meccanica delle terre, attraverso articoli di riviste internazionali e seminari, in Europa e negli USA. W. Prager, D.C. Drucker, R. Hill, C.R. Calladine sono solo alcuni dei nomi di ben noti studiosi di meccanica teorica ed applicata che con vari cultori della meccanica delle terre, tra cui R.E. Gibson, D.J. Henkel, K.H. Roscoe, P.W. Rowe, G. de Josselin de Jong, parteciparono al confronto di idee e alla proposta di interpretazioni teoriche del comportamento delle terre, via via che il progresso delle osservazioni sperimentali ne metteva in luce aspetti sempre più complessi[3]. Nel 1964 a Grenoble il Symposium della International Union of Theoretical and Applied Mechanics (IUTAM) *"Rheology and Soil Mechanics"*[4] ebbe una grande partecipazione ed una notevole risonanza, sia per il numero di

memorie presentate, sia per l'ampiezza e la vivacità delle sessioni di discussione, che ne fecero una tappa singolare nello sviluppo della disciplina. Un'altra interessante occasione di confronto di approcci e visioni diverse e di collaborazione interdisciplinare nel campo della meccanica, fu il Simposio *"Plasticity and Soil Mechanics"*[5] tenutosi nel 1973 a Cambridge, al quale parteciparono numerosi cultori di meccanica teorica ed applicata e di meccanica delle terre.

La ricerca sperimentale degli anni successivi, sempre più raffinata nei mezzi impiegati, approfondì lo studio dei materiali naturali e delle loro particolarità, non riproducibili in laboratorio e tuttavia determinanti per la soluzione dei problemi applicativi. La ricerca e la discussione dei risultati restarono prevalentemente nell'ambito dei cultori della disciplina, ma la base dei ricercatori si ampliò progressivamente: alle poche sedi universitarie che avevano avviato lo sviluppo della geotecnica si andarono aggiungendo in numero sempre crescente Università e centri di ricerca europei, americani ed asiatici.

In Italia la ricerca sul comportamento meccanico dei terreni è stata particolarmente attiva dalla fine degli anni '50 all'Università di Napoli, nel Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno fondato da A. Croce[6], orientandosi allo studio dei terreni naturali e dei materiali granulari impiegati nella costruzione delle prime dighe in terra italiane, mentre a Roma, nel laboratorio fondato da C. Cestelli Guidi, dai primi anni '60 si sono soprattutto studiate le caratteristiche di terre argillose, ricostituite e naturali, con riferimento alle teorie generali sviluppate a Cambridge. Alcuni anni dopo, la collaborazione con i centri di ricerca dell'Enel e dell'ISMES permise al gruppo geotecnico del Politecnico di Torino di apportare un significativo contributo alla conoscenza del comportamento delle terre incoerenti, mediante ricerche sperimentali condotte in laboratorio ed in sito. Vale la pena di sottolineare che la ricerca geotecnica italiana ha sempre mantenuto uno stretto rapporto con quella europea ed americana.

All'inizio degli anni '80, con l'istituzione dei Dottorati di Ricerca nelle Università italiane, si formarono due dottorati in ingegneria geotecnica, che raggrupparono in forma consortile i centri di ricerca delle Università e dei Politecnici del Nord e quelli delle Università del Centro e del Sud. La forma consortile ebbe il merito di coagulare le potenzialità di numerosi piccoli centri e di mettere costantemente a confronto i ricercatori di sedi diverse. Inoltre l'immissione di tanti giovani, permessa dalla nuova legge, produsse un incremento straordinario della ricerca, non solo in termini quantitativi, ma anche, o soprattutto, nel valore dei risultati raggiunti. La ricerca italiana nel campo della meccanica delle terre divenne da quel momento una delle più avanzate in ambito internazionale. Purtroppo questa forma di collaborazione interuniversitaria fu scoraggiata dalla legge sull'autonomia del 1999.

In campo applicativo, tra i grandi progressi nelle tecnologie di intervento nei terreni, costruzione delle strutture interagenti, consolidamento dei terreni deformabili, scavo, tecniche di costipamento, si individuano almeno due importanti sviluppi tecnologici, che hanno dato al settore prospettive e potenzialità del tutto nuove ed incisive.

All'inizio degli anni '50, con la scoperta che le sospensioni, o fanghi, di argilla bentonitica per le loro proprietà reologiche (*tixotropia*) permettono di applicare una pressione idrostatica alla superficie del terreno e perciò di sostenere il fronte durante uno scavo, divenne possibile eseguire perforazioni nel terreno in assenza di rivestimento. La bentonite è una argilla di origine vulcanica, per molti anni cavata nell'isola di Ponza, e lo sviluppo iniziale delle tecniche di scavo in fanghi bentonitici si deve ad una impresa specializzata italiana. Con il superamento sia del limite al diametro dei pali di fondazione, che derivava dalla forza necessaria all'avanzamento di un rivestimento metallico, sia del vincolo della perforazione a sezione circolare, hanno avuto origine i pali di grande diametro, le paratie in cemento armato, i diaframmi impermeabili e, più recentemente, le macchine Hydroshield per lo scavo di gallerie con fronte sostenuto.

Si tratta di strutture, macchine e tecniche operative che hanno inciso profondamente sul progresso dell'ingegneria civile: basti pensare al grande sviluppo delle costruzioni sotterranee degli ultimi decenni. È singolare il fatto che ciò abbia avuto origine da una scoperta empirica, i cui fondamenti teorici sono stati a lungo dibattuti.

Alla fine degli anni '70 un'altra importante innovazione ha rivoluzionato i metodi di trattamento e consolidamento dei terreni: la miscelazione idraulica in posto nota come *jet-grouting*, introdotta in Giappone, ma poi fortemente sviluppata anche in Italia. Disgregando il terreno e miscelandolo al cemento, per mezzo di un getto d'acqua proiettato radialmente ad altissima pressione da un'asta di perforazione ruotante, si conferisce coesione ad un terreno incoerente, formando in posto una colonna di conglomerato. Questa tecnica di miscelazione, che con perforazioni di piccolo diametro, in terreni granulari sciolti permette di ottenere colonne cementate di oltre un metro di diametro, ha grandemente facilitato l'esecuzione di scavi profondi in condizioni difficili e ha aperto nuove possibilità per il consolidamento delle fondazioni, la realizzazione di diaframmi impermeabili, lo scavo di gallerie metropolitane, la stabilizzazione dei pendii. La relativa semplicità dell'intervento, il progresso ed il potenziamento delle macchine e delle tecniche operative, insieme alla progressiva riduzione dei costi causata dalla concorrenza, hanno portato ad una grande diffusione di questo tipo di intervento, cui si ricorre ormai per un numero sempre maggiore e più diversificato di lavori nel sottosuolo. In Italia il *jet-grouting* ha trovato larga applicazione, permettendo di realizzare opere di notevole impegno in terreni incoerenti,

in condizioni idriche sfavorevoli, ed il contributo delle imprese specializzate allo sviluppo delle macchine e delle tecnologie operative è stato significativo.

Paradossalmente la diffusione e la diminuzione di costo del *jet-grouting* può divenire una remora al progresso delle conoscenze nella meccanica delle terre ed allo sviluppo della ricerca. Infatti, la sostanziale modifica delle caratteristiche meccaniche dei terreni, che in posto vengono di fatto trasformati in conglomerati dotati di una resistenza paragonabile a quella di un materiale da costruzione, può rendere, o far apparire, economicamente meno conveniente il processo di adattamento del progetto di un'opera alle condizioni ambientali, secondo il tradizionale approccio dell'ingegneria civile, rispetto ad una sostanziale modifica di queste condizioni per mezzo di un intervento sul terreno.

Il terzo fattore che ha determinato un fondamentale progresso ed una profonda trasformazione dell'ingegneria geotecnica è stato certamente lo sviluppo del calcolo numerico. Analogamente a quanto è avvenuto negli altri settori dell'ingegneria civile, in un primo tempo, all'ini-zio degli anni '60, esso ha soltanto reso più rapida e semplice l'esecuzione di calcoli di progetto e verifica già diffusi e consolidati. Ad esempio si è proseguito a verificare le condizioni di stabilità dei pendii adottando il notissimo metodo approssimato proposto da Fellenius all'inizio del secolo: gli elaboratori elettronici dell'epoca permettevano di ripetere velocemente e senza sforzo le verifiche e di analizzare perciò innumerevoli superfici potenziali di scorrimento. Alla metà degli anni '60 comparvero i primi programmi di verifica di stabilità dei pendii concepiti per il calcolo automatico, fondati su analisi dell'equilibrio staticamente corrette, che per la soluzione di sistemi di equazioni non lineari con centinaia di variabili facevano ricorso a metodi iterativi, perciò non altrimenti utilizzabili. Anche questa fase di sviluppo è concettualmente confrontabile con quella che parallelamente interessava l'ingegneria strutturale ed idraulica. Ma già nella metà degli anni '70 i metodi di analisi numerica, soprattutto alle Differenze Finite e agli Elementi Finiti, permisero di utilizzare il progresso delle conoscenze sul comportamento meccanico delle terre, assumendo le prime teorie generali e le leggi costitutive di tipo elastoplastico incrudente, per realizzare sofisticati modelli di comportamento del terreno e di risolvere problemi al finito molto complessi, aprendo orizzonti del tutto nuovi alla ricerca teorica ed applicata in area geotecnica. Il calcolo numerico ha reso effettivamente utilizzabili le sempre più complesse leggi costitutive dei terreni che, con il procedere di una sperimentazione via via più sofisticata, venivano proposte per tener conto dell'anisotropia dell'incrudimento plastico, della memoria degli stati tensionali, della non linearità in campo elastico, della viscosità dello scheletro solido. Perciò gli sviluppi del calcolo numerico e le ricerche teoriche e sperimentali in meccanica delle terre hanno progredito congiuntamente e la loro in-

tegrazione ha prodotto applicazioni più facilmente accessibili ed utilizzabili a fini applicativi, modificando in modo significativo la progettazione delle strutture interagenti con il terreno, la previsione delle deformazioni e degli spostamenti nel terreno, la variazione delle condizioni idriche sotterranee.

Si è quindi diffusa la modellazione numerica dei più diversi problemi di ingegneria geotecnica, soprattutto quelli posti dalla realizzazione di opere sotterranee, o fortemente interagenti con il terreno, al fine di definire meglio le loro condizioni di sicurezza ed il loro comportamento in ogni fase della costruzione e in esercizio, la loro funzionalità nel tempo, gli effetti su strutture interagenti e sull'ambiente.

Tuttavia sembra che questa evoluzione e le grandi opportunità che essa offre nella progettazione delle più complesse opere d'ingegneria non siano state ancora pienamente recepite ed utilizzate al meglio nell'ingegneria italiana. Questa considerazione dovrebbe inserirsi in un più ampio discorso sulla posizione della geotecnica nell'ingegneria civile, riguardo all'attuale prassi progettuale, ai rapporti interdisciplinari, alla formazione universitaria degli ingegneri.

La profonda evoluzione dell'ingegneria civile nell'ultimo secolo ha influenzato anche la configurazione dei settori disciplinari, che hanno accentuato i loro caratteri specialistici. Per quanto riguarda la geotecnica si può facilmente constatare che le conoscenze e le potenzialità acquisite con l'eccezionale sviluppo della seconda metà del secolo appena trascorso, sono rimaste piuttosto confinate nell'ambito dei cultori della disciplina e solo in parte hanno interessato gli altri settori dell'ingegneria civile e modificato la prassi progettuale. Se sia possibile modificare questa situazione per ricomporre, pur in situazioni tanto mutate, la tradizionale unicità culturale dell'ingegnere civile italiano è un argomento che meri terebbe di essere affrontato.

[1] A.W. BISHOP, D.J. HENKEL, *The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test*, Arnold, 1957.

[2] A.N. SCHOFIELD, P.W. WROTH, *Critical State Soil Mechanics*, McGraw-Hill, 1968.

[3] G. CALABRESI, *Caratteristiche meccaniche delle terre:oseervazioni sperimentali e sintesi teoriche,* Giornale del Genio Civile, n.11/12-1967.

[4] IUTAM, *Symposium Rheology and Soil Mechanics, Grenble* 1964, Springer-Verlag, West Berlin 1966.

[5] A.C. PALMER, ed., *Plasticity and Soil Mechanics,* Cambridge University Press, 1973.

[6] A. CROCE, *Attività del Centro Geotecnico nel quadriennio 1947-51*, Atti della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno, Vol. IV, 1952.

Leopoldo Franco

Storia dell'Ingegneria Marittima in Italia

Introduzione

La penisola italiana si proietta come un grande molo nel mezzo del mar Mediterraneo. La strategica posizione geografica, lo sviluppo costiero di circa 7500 km ed una lunghissima storia di civilizzazione umana (con difficili comunicazioni interne per divisioni sia geografiche che politiche) possono spiegare l'importanza rivestita dall'ingegneria marittima e costiera nel nostro paese sin dall'antichità.

In particolare l'Italia e pochi altri paesi del Mediterraneo detengono il prezioso patrimonio dei porti antichi, i cui trascurati resti potrebbero essere opportunamente preservati e valorizzati in "parchi archeologici costieri" incrementando l'offerta turistico-culturale (Franco, 1997). Peraltro lo studio dell'evoluzione storica dell'ingegneria costiera può ancora costituire un utile bagaglio di conoscenze per i moderni progettisti di opere marittime, in considerazione delle soluzioni tecnologicamente avanzate e ben armonizzate con l'ambiente adottate già nel lontano passato.

In questa memoria vengono descritti brevemente i principali contributi tecnico-scientifici forniti dal nostro paese al progresso globale di questa disciplina in un arco di tempo di quasi 3000 anni (suddiviso in tre "Età").

Una più ampia rassegna in lingua inglese è fornita da Franco, 1996.



Fig. 1 – Suddivisione dei mari e delle coste italiane con ubicazione di località e porti citati nel testo

Quale "introduzione geografica" la fig. 1 mostra la suddivisione dei mari e delle coste d'Italia (con il 45% di spiagge basse, di cui un terzo in erosione) con l'ubicazione di alcune città e porti cui si fa riferimento.

Da sottolineare la piccola escursione di marea, le deboli correnti e le ripide onde multidirezionali che caratterizzano i regimi meteomarini italiani.

Età antica

La nascita dell'ingegneria costiera e portuale avvenne nell'epoca classica insieme allo sviluppo della navigazio-

ne nel mar Mediterraneo e fu anche favorita dalle tipiche condizioni geografiche con la necessità di trovare ridosso in coste esposte senza apprezzabili escursioni di marea ed ampi fiumi interni navigabili. I progressi tecnologici seguirono le successive culture e dominazioni: gli Egizi, i Minoici, i Fenici, i Cartaginesi, i Greci, gli Etruschi ed i Romani.

Scarse sono le notizie scritte sui metodi di progettazione e costruzione dei porti antichi. Il principale riferimento bibliografico resta il noto manuale di Vitruvio (27 a.C.).

Un'ampia rassegna storica sugli antichi porti d'Italia fu pubblicata dalla Marina Militare (1905), mentre il primo censimento degli antichi porti mediterranei fu preparato da Lehmann-Hartleben (1923). Più recenti sintetiche rassegne si trovano in Blackman (1982) e De la Pena et al. (1994), in base anche alle nuove informazioni fornite dalle recenti scoperte archeologiche.

Le prime opere marittime "italiane" furono costruite nel primo millennio avanti Cristo lungo le coste meridionali dalle colonie fenicie e greche. I porti pre-romani ("proto-porti") erano tipicamente ubicati in baie ridossate vicino a capi o penisole, lungo fiumi o in lagune o fiordi profondi, spesso in prossimità di alti rilievi ben visibili a distanza dal mare. Il disegno dei porti antichi era dettato da vincoli nautici, quali la sicurezza dell'ingresso anche con tempo cattivo attraverso imboccature generalmente piuttosto strette per facilitarne il controllo e persino la chiusura con catene. I porti avevano spesso due o più ingressi per agevolare la navigazione con ogni vento, per separare le diverse rotte e traffici (commerciale, militare, peschereccio) e per favorire la circolazione idraulica nel bacino, così da mantenere i sedimenti in sospensione ed evitare l'interrimento.

Questo era infatti il problema principale dei porti nel Mediterraneo, ove le correnti di marea sono molto deboli. Per il ricircolo si scavavano canali e gallerie subacquee, anche attraverso i moli, come ad esempio nel porto greco di Siracusa, e spesso regolati da paratoie. Si realizzarono persino rampe di raccor-



Fig. 2 – Ricambio delle acque portuali con raccolta controllata di onde tracimanti frangenti su rampe rocciose

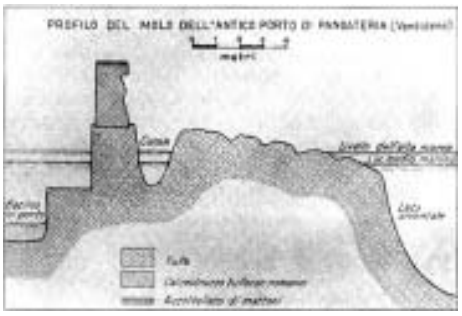


Fig. 3 – Sezione del frangiflutti romano di Ventotene scavato nella roccia con canale di drenaggio dei sormonti ondosi (da Iacono)

do per convogliare le creste d'onda in un serbatoio a quota superiore per il successivo rilascio nel porto (fig.2). Questi ingegnosi dispositivi sono oggi riproposti per migliorare la qualità dell'acqua nei porti turistici.

Per ridurre gli effetti della tracimazione ondosa sulle pareti delle coste alte e sulle dighe portuali i fenici scavarono fosse e trincee nella roccia, drenando l'acqua raccolta e utilizzando il materiale scavato per la costruzione delle opere. Talvolta l'ammasso roccioso veniva opportunamente sagomato ricavando una banchina sul lato protetto ed un muro paraonde lato mare. Questi concetti furono applicati anche dai Romani per "scolpire" nel tufo il bel molo del porto di Pandataria, oggi Ventotene (fig. 3); il sistema del canale di drenaggio è stato ripreso in progetti moderni (Cavani et al.1999).

I moli fenici erano anche realizzati con massi sovrapposti a formare pareti verticali perimetrali, poi riempite all'interno con materiale arido assortito. I blocchi parallelepipedi di pietra erano disposti ben affiancati con il lato lungo ortogonale al filo banchina in modo da ottenere il massimo attrito e superare il problema del sifonamento dell'acqua a tergo (Raban,1988). I massi non erano collegati con malta, ma con grappe di piombo a coda di rondine**.**

Le colonie fenicie occidentali assunsero poi il potere navale nel Mediterraneo sotto la guida di Cartagine (750-146 a.C.). La caratteristica peculiare dei porti Cartaginesi (e poi anche di quelli Etruschi) è il cosiddetto "*cothon*", un bacino interno generalmente scavato nell'entroterra, destinato alla flotta locale od alla flotta militare od anche alle attività di carenaggio. Tra gli esempi più belli ed ancora visibili sono il porto di Mozia in Sicilia e quello di Cartagine in Tunisia. A Mozia il cothon avrebbe potuto essere chiudibile per essere prosciugato ed usato come bacino di carenaggio.

Resti portuali di origine greca si possono invece osservare presso Tarquinia, ove nel V° secolo a.C. si sviluppò il porto di Gravisca. Qui è ancora emergente una banchina con testata semicircolare di diametro 17 m, nota come Molo Cle-



Fig. 4 – L'autore all'imboccatura del cothon di Mozia con visibili resti di banchine a massi



Fig. 5 – Trascurati resti del "molo Clementino" di origine greca a Gravisca, Tarquinia



Fig. 6 – La "Tagliata" etrusca, canale di drenaggio dell'antico porto di Cosa (Ansedonia) perfettamente scavato nella roccia

mentino. Ha la base su una fondazione di pietrame a quota -1.8 m ed è orlata da una serie di grandi massi squadrati di travertino (2.0x0.7x0.7 m) sagomati "a coda di rondine", la cui solidità è incrementata da 4 diatoni (massi-chiave a T da 1.5 t) con linee di forza convergenti al centro della testata (fig. 5).

Nel IV-III sec. a.C. gli Etruschi costruirono nuovi porti, poi riutilizzati dai Romani, dei quali si trovano numerosi resti a nord di Roma. In particolare ad Ansedonia (antica Cosa) sopravvive un affascinante canale ben scavato nella roccia, detto Tagliata (lungo 70 m e largo 2-4 m, parte in galleria), attrezzato con paratoie di regolazione dei flussi mareali, utili per forzare le correnti nel porto. I frangiflutti greci ed etruschi erano tipicamente realizzati con massi naturali gettati alla rinfusa.

Dal punto di vista urbanistico si può osservare che i porti greci sono ancora parte integrante della città, mentre durante l'impero Romano il porto diviene un'infrastruttura indipendente con i suoi edifici e magazzini (*horrea*).

Ma l'innovazione rivoluzionaria dell'ingegneria marittima introdotta dai Romani (II a.C.-V d.C.) fu la scoperta del cemento idraulico di tipo pozzolanico. Poterono così costruire strutture monolitiche subacquee (*opus pilarum)* e dighe di geometria arbitraria, anche curvilinea, a difesa di porti totalmente esterni, sopravvissute in buone condizioni per oltre 2000 anni.

Peraltro i Romani non seguivano uno standard fisso, ma adattarono alle specifiche condizioni geotecniche e meteomarine e di disponibilità di materiali una grande varietà di soluzioni progettuali ed esecutive. Svilupparono inoltre avanzate macchine da cantiere (gru, pompe, battipali,etc.). Su fondali duri si regolarizzava la base con uno strato di pietrame, mentre sulla sabbia si scavava (generalmente all'asciutto) una fossa poco più larga della struttura poi riempita con massi.

Su fondali fangosi, secondo Vitruvio, i Romani infiggevano numerosi e corti pali di legno a sezione quadrata di lato 0.45 m con punta bruciata e riempivano gli interstizi di carbone (fig. 7). La fig. 7 mostra anche l'interessante sistema usato per "impermeabilizzare" il cantiere

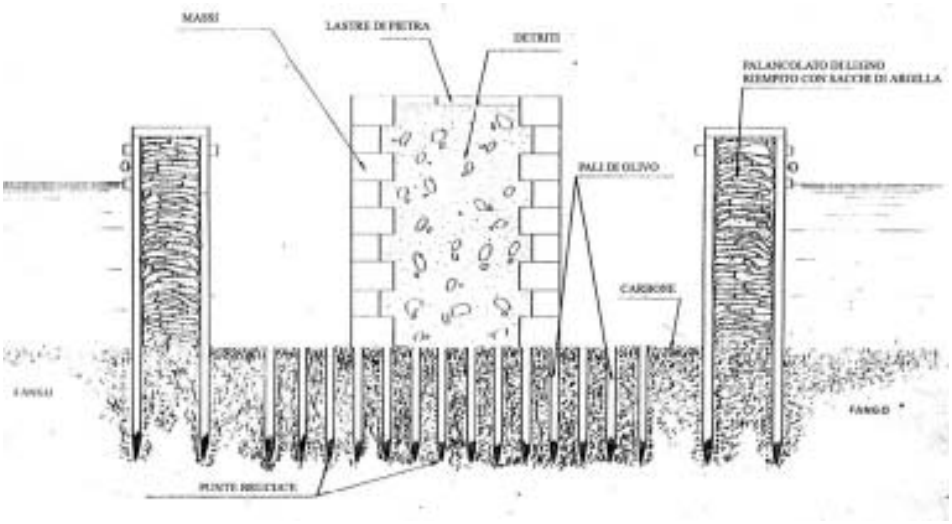


Fig. 7 – Costruzione di una diga verticale romana in siti esposti su fondali fangosi secondo Vitruvio

con doppie palancole di pali accostati intirantate e riempite di sacchi d'argilla per uno spessore di 1,5 m.
Comunque, la tecnica costruttiva più comune in paraggi poco esposti prevedeva la pulizia del fondo marino ed il getto di una miscela di cemento, pozzolana e cocci dentro casseforme di legno (*arcae*) fondate su pali infissi (*destinae*) e legate con tiranti (*catenae*), con successiva posa della sovrastruttura per una larghezza di circa 6 m (fig. 8).

Talvolta, invece, si usava una vecchia nave come cassero a perdere, risparmiando così tempo e materiale. Un noto esempio è la diga di Portus (Ostia) costruita sotto Claudio (50 d.C.) ed ottenuta affondando col calcestruzzo la grande nave lignea di Caligola (104 m, 7400 DWT) che aveva trasportato dall'Egitto l'obelisco Vaticano. Persino la moderna tecnica dei cassoni cellulari

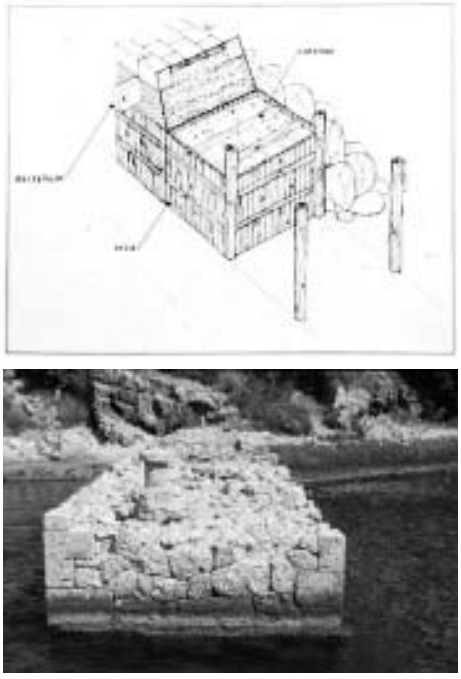


Fig. 8 – a) Costruzione di diga frangiflutti romana in siti poco esposti secondo Vitruvio (da Clementi); b) il molo di Gianola (Gaeta)

galleggianti fu sperimentata con successo dagli ingegneri romani per la costruzione di dighe in acqua profonda, come quella imponente (larga 60 m) del porto di Cesarea (Israele), costruito da Erode il Grande nel 18 a.C.

La struttura esterna era costituita da due vicine pareti di legno tra le quali era gettata una malta idraulica che con il suo peso faceva affondare il cassone sul pietrame di fondazione. Le celle piene d'acqua venivano poi riempite di calcestruzzo (Hohfelder 1987). Il recente progetto di scavi a Cesarea ha anche rivelato la presenza di un secondo frangiflutti sommerso, circa 20-30 m al largo del principale, destinato alla riduzione delle sollecitazioni ondose. Anche questa soluzione della "diga-tandem" è stata riproposta in progetti moderni.

Un'altro tipo particolare di molo romano a parete verticale era la "diga ad archi", seguendo i criteri architettonici ed esecutivi sperimentati con successo nei ponti ed acquedotti. Il monumentale molo di Pozzuoli era adornato di colonne e costituiva una prestigiosa passeggiata sul mare. Era lungo 372 m e si appoggiava su 15 pile larghe 16 m fino ad una massima profondità di 16 m come indicato dai rilievi del De Fazio nel 1814**.** A Miseno pare vi fossero addirittura due file di archi paralleli e sfalsati per assicurare maggior protezione dalle onde pur favorendo la circolazione idrica nel porto. Il molo ad archi risulta peraltro inadeguato per l'eccessiva penetrazione ondosa e per l'insabbiamento.

Il complesso portuale più grande dell'epoca imperiale fu comunque quello di Portus (Ostia), il Porto di Roma alla foce del Tevere (Testaguzza,1970). I resti si trovano oggi interrati a 4 km dal mare, in gran parte sepolti sotto l'aeroporto di Fiumicino (il porto esterno di Claudio) ed all'interno di una proprietà privata (il bel bacino interno di forma esagonale costruito più tardi da Traiano) (fig. 9).

Traiano (100 d.C.) fece poi costruire i porti di Terracina e Centumcellae (Civitavecchia). Il primo fu escavato alla foce di un corso d'acqua e le banchine d'ormeggio sono ancora visibili lungo il bel perimetro circolare. Il porto di Centumcellae fu inizialmente costruito come approdo privato della propria villa imperiale, ma dopo il declino di Portus divenne il porto di Roma e rimase immutato per oltre 1000 anni. La Darsena Romana, ancora in uso, fu dra-



Fig. 9 – Il grande complesso portuale di Roma a Portus-Ostia in un dipinto



Fig. 10 – Sezione dell'antemurale del porto traianeo di Civitavecchia

gata nella roccia (200.000 m^3), che fu poi impiegata per la costruzione dei moli frangiflutti. L'antemurale a scogliera è stata rifiorita e rimodellata dal mare nei secoli raggiungendo un efficace profilo a debole pendenza secondo i moderni canoni progettuali (fig. 10).

Lo schema planimetrico del porto di Centumcellae (simile a quelli di Astura e forse di Portus mostrato in fig.8) era quello tipicamente romano "a moli convergenti con antemurale", per ridurre la penetrazione ondosa, creare una doppia imboccatura e talvolta sostenere il faro al centro della diga-isola.

Peraltro la pianta portuale più moderna ed efficiente si ritrova nell'affascinante e ben conservato porto augusteo di Ventotene, quasi speculare a quella del nuovo porto di Gioia Tauro: l'avamporto con spiaggia d'alaggio assorbente affacciata all'imboccatura ed il bacino d'ormeggio laterale sono ancora utilizzati nella loro forma originale. L'antico porto di Ventotene è di fatto un'imponente scultura, tutta scavata nella scura roccia tufacea : circa 60.000 mc per ricavare artificialmente un bacino di 7000 mq, profondo 3 m (fig. 11).



Fig. 11 – Il porto Romano di Ventotene

Età moderna

Dopo il declino dell'impero romano a causa delle invasioni barbariche (V secolo d.C.), ci fu un lungo "blackout" nello sviluppo della civiltà umana fino intorno al 1000 d.C. Il pericolo di attacchi da mare dei pirati saraceni causò l'abbandono delle coste e dei porti, molti dei quali si interrirono.

Una delle poche zone costiere abitate era la laguna di Venezia, sui cui isolotti si insediò una comunità autonoma per proteggersi dai barbari. I primi rapporti scritti sui locali lavori di difesa costiera risalgono all'anno 537: le dune di sabbia naturali venivano rinforzate con argini di terra protetti con fascine di vimini. Successivamente le fascinate elastiche ma fragili furono sostituite da rivestimenti in pietrame contenuti da palificate di legno ("paleselle", fig. 12).

Nonostante la limitata durabilità dei pali di legno e la lunga distanza di trasporto della roccia, questa tipologia fu impiegata a Venezia fino al 1700 non solo per le tradizionali opere radenti longitudinali, ma anche per i primi pennelli trasversali della storia (chiamati "speroni"), con il duplice obiettivo di difendere i lidi dall'erosione e le bocche lagunari dall'insabbiamento (Grillo, 1989). L'importanza dei problemi

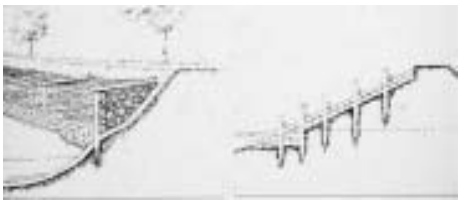


Fig. 12 – Prime opere radenti con "paleselle" per la difesa dei lidi di Venezia

legati alla protezione della laguna e dei lidi ed alla navigazione fece creare nel 1501 una speciale "Autorità Idraulica" (il *Magistrato alle Acque*) composta da esperti eletti. A causa degli alti costi di manutenzione delle tradizionali opere di difesa costiera, nel 18°sec. il Magistrato promosse la sperimentazione di soluzioni innovative, a rischio degli stessi progettisti ed imprenditori proponenti il cui compenso era subordinato alla provata efficacia dell'opera. Tra queste vi erano: rivestimenti a scogliera o con fasce metalliche, gabbioni, muri a blocchi regolari, elementi vari atti ad aumentare la scabrezza della parete inclinata, e persino il ripascimento artificiale con sabbia prelevata dal fondo marino (proprio come nel recente progetto di protezione delle spiagge di Cavallino e Pellestrina). Infine nel 1743 fu approvato il progetto di un massiccio muro di sponda presentato dal matematico Zendrini: il cosiddetto *murazzo* è costituito da un rivestimento inclinato di blocchi squadrati di pietra d'Istria sostenuto al piede ed in cresta da muri massicci verticali con una larghezza media di 12 m (fig. 13).



Fig. 13 – Sezioni del "murazzo" veneziano nell'originale disegno di Zendrini (1743)

L'innovazione tecnologica era rappresentata dall'uso della malta di cemento pozzolanico quale legante tra i blocchi al posto delle palificate lignee. I murazzi furono costruiti in 40 anni su un tratto litoraneo di 20 km e sono sopravvissuti fino ad oggi (con recenti interventi di rinforzo), diventando un monumento veneziano ed una "pietra miliare" dell'Ingegneria Costiera.

All'esterno di Venezia l'età moderna fu caratterizzata da una nuova integrazione tra città e porti, anche per i necessari scopi militari. Furono creati molti nuovi porti artificiali, come ad Amalfi, Napoli, Livorno, Palermo e soprattutto Genova. Qui fu costruito l'antico molo orientale con sovrastruttura muraria fortificata e la struttura era così importante per la città che nel 1245 fu dichiarata "Opera Pia", nel senso che ogni genovese doveva riservare nel testamento un lascito per i lavori di manutenzione della diga. Il Rinascimento dell'ingegneria marittima ebbe di fatto luogo nei secoli XV-XVI, quando il progresso tecnologico portò allo sviluppo di nuove attrezzature meccaniche, quali le gru per la posa dei massi, i pontoni per il varo delle cas-seforme in mare e persino le prime rudimentali apparecchiature per respirare e lavorare sott'acqua. Furono inventate anche le draghe meccaniche (fig. 14). Si ha notizia di un primo dragatore genovese incaricato nel 1413 dall'autorità portuale di Marsiglia. Peraltro l'escavo e la pulizia dei fondali portuali era ancora eseguita con mezzi terrestri dopo la chiusura ed il prosciugamento del bacino.

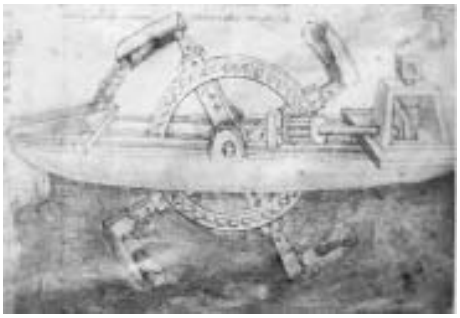


Fig. 14 – Draga a secchie
(F. di Giorgio Martini, 1475)

Nel Rinascimento si verificò anche un grande sviluppo dell' urbanistica portuale. Il famoso architetto L.B.Alberti (1452) rilanciò le raccomandazioni tecniche di Vitruvio con un approccio "naturalistico" anche nel progetto delle strutture costiere, come i frangiflutti con lieve pendenza del paramento esterno. La configurazione planimetrica di un porto artificiale era caratterizzata da una stretta imboccatura e da bacini con forme curvilinee, possibilmente circolari, per soddisfare i nuovi canoni estetico-filosofici (oltrechè idraulico-funzionali e militari) della città-porto fortificata "ideale". La forma circolare, che richiama persino l'architettura del teatro ove si offre lo spettacolo delle navi, è anche quella che racchiude la massima superficie di acque protette a parità di contorno bagnato.

Di Giorgio Martini (1475) fissò addirittura le "misure auree" dello schema portuale ideale: una diga-isola con convessità lato mare lunga 100 m a protezione di una bocca larga 70 m arretrata di 70 m tra due moli convergenti (fig. 15). La pianta del porto romano di Centumcelle era considerata il modello

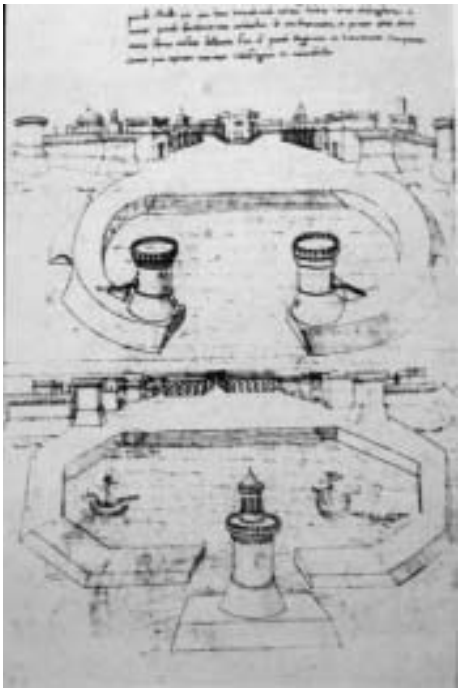


Fig. 15 – Disegni di porti ideali
(F. di Giorgio Martini, 1475)

della città-porto ideale e ispirò il progetto berniniano dei colonnati di Piazza S. Pietro a Roma.

Inoltre il periodo rinascimentale segnò l'importante nascita delle scienze idrauliche, inclusa l'idraulica marittima.

Le scoperte più importanti sono attribuite al genio eclettico di Leonardo da Vinci (1452-1519). Attraverso il suo noto metodo sperimentale Leonardo fu il vero precursore della moderna scienza dell'ingegneria costiera, anticipando di oltre tre secoli svariate idee e soluzioni. I suoi codici mostrano descrizioni incredibilmente accurate di campi di corrente anche complicati. La maggioranza dei fenomeni di idraulica marittima è descritta nei 36 *folii* del bellissimo



Fig. 16 – Disegni Leonardeschi di onde frangenti su muri (Codice Leicester folio 25v)

Codice Leicester (1510). Leonardo spiega chiaramente la natura progressiva delle onde di superficie, il concetto di celerità relativa, i fenomeni di shoaling e frangimento, la riflessione ondosa e gli impatti su pareti (fig. 16).

Attribuisce per primo alle onde di mare il ruolo prevalente sull'evoluzione morfologica delle spiagge e definisce le condizioni di equilibrio dei sedimenti. E' anche probabilmente il primo "modellista fisico" della storia, sperimentando alcune tecniche adottate nei moderni laboratori idraulici, quali la visualizzazione delle correnti con traccianti solidi o coloranti, sia in aria che



Fig. 17 – Porte vinciane nelle chiuse del porto turistico di Brighton (GB)

in acqua, l'uso di vasche vetrate, i modelli a fondo mobile, pur non ignorando il problema degli effetti-scala. Leonardo si interessa anche di ingegneria portuale, come evidenziato dai suoi disegni dei porti di Cesenatico (1502), Piombino e Civitavecchia e dal rilievo che fece sul molo antico di Genova danneggiato da una tempesta nel febbraio 1498. Inoltre presenta un originale, seppur utopistico, schema portuale "a spirale", che fu riproposto un secolo dopo da Gallaccini (1603).

Leonardo da Vinci si cimentò anche nel progetto delle conche di navigazione, che introdusse in Francia, promuovendo lo sviluppo della portualità oceanica. Ancora in uso sono le note *porte vinciane* (fig. 17). Peraltro la prima conca era stata già costruita nel 1438-39 a Viarenna (Milano) da Fioravante da Bologna e Filippo degli Organi per facilitare la navigazione interna ed in particolare il trasporto dei materiali per la costruzione del Duomo di Milano. La chiusa di Viarenna è lunga 38 m, larga 6,2 e con un massimo dislivello di 3 m. E' stata prosciugata nel 1936 dopo 500 anni di regolare servizio (Fassò, 1987).

Nuovi sviluppi ebbe anche la tecnologia delle opere marittime. Sempre attivo era l'eterno dibattito sulla scelta tra la tipologia di diga frangiflutti a gettata e quella a parete verticale. In base alla propria esperienza nel restauro del porto di Civitavecchia nel 1607 Crescentio raccomandava l'uso di scogliere alla rinfusa (il cosiddetto sistema " *a pietre perdute"*) con sovrastruttura di calce-

struzzo pozzolanico. Con una visione piuttosto moderna egli suggeriva di non ridurre la porosità della mantellata riempiendo i vuoti tra i massi con pietre più piccole e di lasciare che il mare modellasse il profilo della scogliera.

In acque costiere abbastanza calme e poco profonde era sempre preferito il sistema romano dei muri monolitici gettati in opera. Ma per la nuova diga profonda del porto di Genova fu approvato nel 1638 dopo lunghe discussioni il progetto innovativo del De Mari, che consisteva in un'opera di tipo *composto* con scogliera di fondazione livellata fino a quota -4 m s.m. sulla quale venne gettata una struttura monolitica di calcestruzzo (Faina, 1969) (fig. 18). Questo nuovo sistema, che riduceva costi e tempi di costruzione e quindi i rischi di danni per mareggiate in corso d'opera, ebbe una vasta risonanza internazionale.

Tra il 1850 ed il 1950 si riscontrano nuovi sviluppi nella tecnologia delle dighe portuali che vengono costruite su fondali sempre più profondi. Lo stato dell'arte all'epoca fu riassunto da Luiggi (1907) e da Coen-Cagli (1936). Il primo esempio italiano di frangiflutti a scogliera con ripida mantellata di massi artificiali è il Molo S.Vincenzo a Napoli, costruito dal 1850 su fondali di 35 m, seguito poco dopo dal Molo Duca di Galliera a Genova. Ambedue le dighe subirono gravi danni e cedimenti e furono quindi rinforzate, tipicamente con la posa di blocchi più pesanti, anche disposti secondo l'originale profilo scalettato ("*sistema Parodi"*).



Fig. 18 – Il nuovo progetto di diga composta per il porto di Genova (De Mari,1638)

Questi dissesti favorirono la riscoperta della classica struttura di tipo composto verticale, realizzata prima con blocchi sovrapposti fino a 50 t (diga Colombaia a Trapani), poi con colonne

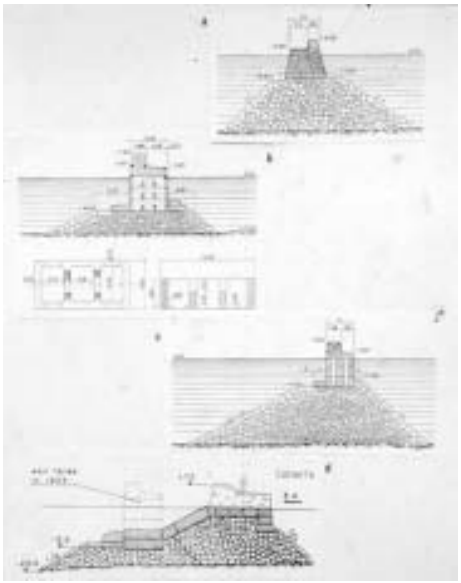


Fig. 19 – Sviluppo delle dighe a parete verticale in Italia tra il 1900 ed il 1940:
a) tipo a blocchi sovrapposti (Napoli, 1905)
b) tipo a massi cellulari (Genova, 1912)
c) tipo a massi ciclopici (Napoli, 1929)
d) la diga composta a massi ciclopici di Catania riparata con profilo inclinato

di massi cellulari poco armati del peso di 220 t riempiti in-situ con getti di calcestruzzo (porti di Genova e Napoli) e quindi con massi ciclopici da 450 t a tutta sezione. Quest'ultima era la tipologia delle dighe di Catania, Genova e Palermo che furono poi abbattute da violente mareggiate (rispettivamente nel 1933, 1955 e 1974) provocando ulteriori discussioni ed i nuovi criteri progettuali del PIANC del 1935 (fig. 19).

Comunque la nuova tecnologia costruttiva dei grandi cassoni cellulari di c.a. permise di superare i problemi di fragilità delle precedenti tipologie di dighe a parete.

Prefabbricati in appositi bacini i cassoni possono essere rimorchiati in galleggiamento, zavorrati con acqua ed affondati sullo scanno di base ed appesantiti poi riempiendo le celle con calcestruzzo (come nelle prime applicazioni ad Alghero nel 1915 e a Civitavecchia nel 1931-36) o con materiale granulare (come nella diga dell'aeroporto di Genova del 1938).

La costruzione dei cassoni di quest'opera fu realizzata con una speciale piattaforma fissa, che fu la prima attrezzatura per la prefabbricazione industriale di strutture marittime con vasta eco internazionale. A causa degli eventi bellici i 42 cassoni furono abbandonati in mare aperto per 15 anni senza sovrastruttura e, ritrovati in ottime condizioni, furono rimessi in galleggiamento aspirando dalle celle la zavorra sedimentaria e reimpiegati come muri di contenimento del terrapieno aeroportuale.

Età contemporanea

L'epoca contemporanea si può far iniziare convenzionalmente nel 1950 (prima conferenza ICCE). L'Italia si stava riprendendo dalle ferite della seconda guerra mondiale. Al 18° congresso PIANC di Roma nel 1953 il Ministero dei Lavori Pubblici distribuì un interessante volume sulle opere di ricostruzione dei porti nazionali.

Oltre ai necessari interventi di adeguamento e modernizzazione dei porti storici, sono stati realizzati ex-novo solo pochi porti negli ultimi 50 anni, quali Gioia Tauro e Genova-Voltri (PIANC, 1997).

Sviluppi portuali innovativi si possono osservare nel progetto dei moderni marina, specialmente in relazione alle nuove implicazioni di carattere ambientale.

Il continuo progresso tecnologico si manifesta soprattutto nel settore tradizionale delle dighe composte, con l'impiego sistematico dei cassoni cellulari aventi dimensioni più grandi e geometrie più complesse, al fine di ridurre la riflessione ondosa, l'erosione al piede, le forze ed i sormonti sull'opera. I nuovi progetti includono pareti perforate con camere assorbenti, fronti semicilindrici e muri di coronamento inclinati, curvi e arretrati rispetto al filo della parete esterna. Un originale esempio di queste nuove strutture è rappresentato dalla nuova diga del porto industriale di Porto Torres (Noli, 1997), che è stata anche strumentata per la misura delle spinte del moto ondoso (fig. 20).

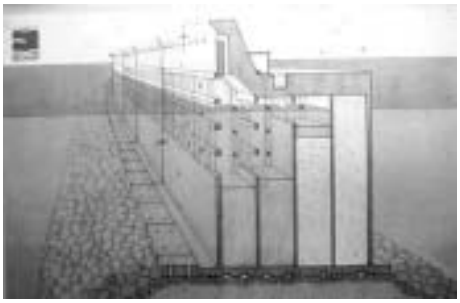


Fig. 20 – La nuova diga strumentata a cassoni perforati del porto industriale di Porto Torres (1992)

Interessanti sviluppi si osservano anche nel settore emergente della morfodinamica delle spiagge e della protezione costiera, a causa del notevole incremento dei fenomeni erosivi degli ultimi decenni. L'importanza economica delle spiagge balneabili e la maturata sensibilità ambientale hanno portato a nuove politiche di pianificazione territoriale. Le più tipiche strutture italiane di protezione costiera sono le scogliere distaccate, progettate per la prima volta dall'ing.Lenzi nel 1905 per il lungomare di Salerno. Queste opere "dure" sono oggi rimpiazzate dalle barriere sommerse per gli ovvi vantaggi estetici ed igienici (ricambio acque), spesso in combinazione con ripascimenti di spiaggia con materiale ottenuto dapprima da cave terrestri e poi marine. Peraltro le prime soluzioni "morbide" erano state già sperimentate negli anni '50 quando nel porto di Viareggio fu installato il primo impianto fisso europeo per il bypass delle sabbie. I principali nuovi progetti di "ripascimento protetto" sono stati realizzati ad Ostia, Ravenna, Venezia.

Conclusioni

Questa sintetica rassegna storica ha messo in luce gli ingegnosi contributi italiani per il progresso dell'Ingegneria Marittima in un periodo di oltre 3000 anni. E' infatti riconosciuto che l'Italia è stata il paese guida nello sviluppo di questa disciplina tecnico-scientifica tra il 2° sec.a.C. ed il 18°d.C (Clark, 1948).

La carenza di porti naturali in mari con piccola escursione di marea ha spinto i Romani e poi gli Italiani a costruire dighe frangiflutti in acque profonde ed esposte, soprattutto del tipo composto verticale, adottando schemi portuali idraulicamente efficienti e sviluppando anticipatamente soluzioni progettuali moderne e creative. I Veneziani furono poi i primi a sperimentare vari sistemi di difesa costiera già nel Medioevo.

L'attuale tendenza dell'Ingegneria Costiera è indirizzata come nell'antichità verso una maggiore armonia con l'ambiente. Perciò appare appropriata la citazione dell'affermazione leonardesca *"Ne coneris contra ictum fluctus: fluctus obsequio blandiuntur"*, che significa che *la Natura non va affrontata di forza, ma va blandita con saggezza*.



Fig.20 – Danni al molo Galliera nel porto di Genova a seguito della mareggiata del 1898

Bibliografia

ALBERTI L.B., 1465. *De re aedificatoria*, ried. a cura di G. Simoncini, De Luca , Roma

BLACKMAN D.J., 1982. *Ancient harbours in the Mediterranean*, Int.Journal of Nautical Archaeology and Underwater Exploration, part 1 in 11.2 pp.79-104; part 2 in 11.3 pp. 185-211

BORZANI G. , 1995. *Evoluzione dei criteri di progetto delle dighe marittime* Sez.*Ital.AIPCN*

CAVANI A., FRANCO L., NAPOLITANO M., 1999. *Design optimization with model tests for the protection of Gela caisson breakwater* Coastal Structures '99, Atti. Int.Conf. CS'99-Santander vol.2, pp. 927-935, Ed. by I.Losada, Balkema

CLARK, 1948 *Science and Social Welfare in the Age of Newton*, Oxford

COEN-CAGLI E., 1936. I*talian Docks and Harbours* Journal of the Inst.of Civ.Eng., London

D'ARRIGO A. Storiografia delle opere marittime della romanità in La partecipazione italiana al 21°Congresso Internazionale di Navigazione - Stoccolma 1965, Sez.Ital.AIPCN, Roma, 1966, pp. 143-228

DE LA PENA J.M., PRADA E.J.M., Redondo M.C., 1994. *Mediterranean Ports in Ancient Times.* PIANC Bulletin n.83/84, Bruxelles, pp. 227-236

DI GIORGIO MARTINI F., 1475. *Trattato di Ingegneria, Architettura ed Arte Militare,* Ed Il Polifilo, Milano 1967

FAINA G., 1969. *L'ingegneria portuale genovese nel 1600* Istituto Italiano per la storia della tecnica, Giunti, Milano

FASSÒ C.A., 1987. *Birth of hydraulics during the Renaissance period* in Hydraulics and Hydraulic Research: a Historical Review, *IAHR*, G.Garbrecht Ed., Balkema pp. 55-79

FRANCO L., 1996. *History of Coastal Engineering in Italy* in *History and Heritage of Coastal Engineering*, ed.N.Kraus, ASCE N.Y., pp. 275-335

FRANCO L., 1997, *L'ingegneria marittima nell'antichità*, *L'Acqua*, n. 3

GRILLO S.,1989 *Venezia, le difese a mare* Arsenale Editrice, Venezia

HOHLFELDER R.L.,1987 *Caesarea Maritima*. National Geographic, vol.171,

ICCE, 1992. *Coasts, harbours, lagoons protection works* (con il patrocinio del Ministero dei Lavori Pubblici) *23°Conferenza Internazionale di Ingegneria Costiera,* Venezia

JACONO L., 1938 *Un porto duomillenario Istituto di Studi Romani*.

LUIGGI L., 1907. *Costruzioni Marittime all'inizio del XX secolo* Tip.Genio Civile, Roma

MARINA MILITARE, 1905. *Monografia storica sugli antichi porti d'Italia* voll.1-2 allegati agli Atti del Congresso AIPCN.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1953. *La ricostruzione dei Porti Marittimi Nazionali* allegato agli Atti del. *XVIII Congresso AIPCN,* Roma

NOLI A.,1997, *Il porto industriale di Porto Torre*s, L'Industria Italiana del Cemento, n. 719

PIANC-AIPCN, 1997 *Bulletin n.94*, Bruxelles (interamente dedicato ai nuovi contributi italiani)

RABAN A., 1988. *Coastal Processes and Ancient Harbour Engineering*. Proc. 1st Int. Symp. Cities on the Sea- Past and Present, BAR Intern.Series 404, pp. 185-261.

SIMONCINI G., 1993. *Sopra i porti di mare I: il trattato di Teofilo Gallaccini e la concezione architettonica dei porti dal Rinascimento alla Restaurazione*, Leo S.Olschki Ed.,Firenze

TESTAGUZZA O., 1970. *Portus*. Ed.Julia, Roma

VITRUVIO M.L., 27 a..C., *De Architectura*, vol. II, 6; vol. V, 13

Antonio mazzeo

Il ruolo dell'Informatica nello sviluppo dell'ingegneria

L'evoluzione dell'informatica ha sicuramente fornito un contributo fondamentale allo sviluppo di numerosi settori applicativi, consentendo di effettuare analisi di modelli sempre più complessi che richiedono elevati tempi di calcolo (modelli di calcolo strutturale, meteorologia, fisica, chimica etc.), di supportare in tempo reale la gestione di processi organizzativi ed economici su larga scala geografica (ordini, banche, commercio di titoli di borsa, etc.) e di realizzare sistemi dedicati al controllo di diversi dispositivi (treni, auto, ambiente, medicina etc.). In molti dei citati sistemi, accanto alle necessità di elaborazione veloce, sono nate specifiche esigenze di sicurezza ed affidabilità, che complicano lo sviluppo e l'applicazione dei sistemi informatici. L'ingegneria è interessata all'ITC (Information and Communication Technologies) sia negli aspetti propri dell'area informatica, elettronica e delle telecomunicazioni che degli altri settori che possono ricorrere al calcolatore anche per scopi di simulazione di sistemi complessi, di progettazione assistita, di controllo dei processi e di elaborazione da sensoristica avanzata. In ambito ingegneristico la grossa potenzialità dei sistemi informatici è legata alla capacità di poter realizzare qualsiasi applicazione utilizzando lo stesso modello di macchina fisica e cambiandone il comportamento terminale mediante lo sviluppo di uno specifico programma. In questo senso il modello di sistema informatico ha assunto per la sua versatilità e potenzialità un ruolo fondamentale tra le discipline ingegneristiche, realizzando sistemi ad elevate prestazioni per l'elaborazione di dati e supportando la realizzazione di sistemi chimici, elettrici e meccanici che utilizzano la tecnologia informatica quale componente "intelligente" di un dispositivo. Al fine di individuare come lo sviluppo dell'informatica si sia progressivamente inserito nelle discipline ingegneristiche, è utile fornire una chiave di lettura storica ed evolutiva dello sviluppo dei suoi modelli e tecnologie.

L'ingegneria ha fatto sempre uso, in tutti i suoi settori di interesse, di strumenti per il calcolo come ausilio alla progettazione e alla ricerca.

Quanti ingegneri ancora oggi hanno in serbo, in qualche cassetto dei loro studi, il vecchio "regolo calcolatore", la calcolatrice analogica meccanica che ci consentiva di eseguire il calcolo delle operazioni elementari di moltiplicazione e divisione, gli esponenziali, i logaritmi e le funzioni trigonometriche. Il regolo calcolatore ha rappresentato per molto tempo l'icona caratterizzante la figura dello stesso ingegnere. Verso la fine degli anni '60, i transistor e i primi circuiti integrati lo mandano in pensione, sostituendolo con un regolo elettro-

nico operante in logica digitale, la "calcolatrice elettronica"[1], in grado di eseguire velocemente e con maggiore precisione, le stesse operazioni presenti nel regolo, operando anche in notazione scientifica.

La storia dell'informatica è, se pur brevissima, costellata da un elevatissimo numero di risultati scientifici, tecnologici e applicativi ottenuti con il contributo di numerosissimi ricercatori e scienziati tra cui vanno principalmente ricordati Alan Turing e John von Neumann, a cui si deve, rispettivamente, la concezione teorica e architetturale delle macchine che portano i loro stessi nomi. Tali macchine influenzano ancora oggi la gran parte dei computer in esercizio, la ricerca

Concretamente l'Informatica si sviluppa verso la fine degli anni trenta con l'avvio, da parte di John V. Atanasoff (1903-95), presso la Iowa State Universi ty, della costruzione di un calcolatore elettronico "special purpose" a valvole termoioniche, destinato alla risoluzione di sistemi di equazioni lineari. Macchina mai finita di costruire.

Ma è con la costruzione del primo calcolatore elettronico "general purpose" ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) che si da il via alla rivoluzione più straordinaria per il genere umano[2].

La storia che porta alla costruzione dei moderni calcolatori è, pertanto, recente anche se il tentativo di coadiuvare il cervello umano con concreti strumenti per il calcolo trova radici nel XVIII secolo.

L'uomo è sempre ricorso all'uso del cervello per effettuare "calcoli". Il cervello è, di fatto, esso stesso un esempio concreto di calcolatore biologico e ad esso gli scienziati spesso si sono ispirati e si ispirano per progettare le architetture dei moderni calcolatori.

L'uomo, per sviluppare algoritmi governati dal cervello (calcolo manuale), ha fatto ricorso, come ausilio al calcolo, alle dita o a oggetti
come i sassi per contare (digitus in latino significa dito, calculus, sassolino). Ma il calcolo manuale mostra i suoi grandi limiti nella velocità di esecuzione delle operazioni elementari (somma, sottrazione, prodotto e divisione) che va da parecchi secondi a minuti e nel numero rilevante di errori introdotti a causa di fattori quali imprecisioni, distrazioni, ecc., cosa che rende non sempre affidabili i risultati degli algoritmi calcolati manualmente.

Nasce, pertanto, la necessità di disporre di un valido strumento per eseguire grosse moli di calcoli, uno strumento in grado di potenziare le naturali capacità della mente umana, che non consente di affrontare, anche a costi rilevanti di impiego di mano d'opera specializzata per il calcolo, la complessità delle nuove sfide del secondo millennio.

Già nel XVIII secolo Charles Babbage (1792-1871), nel proporre la costruzione della sua macchina analitica, per giustificare e perorare la sua richiesta di finanziamento per la costruzione della "Difference Engine", racconta che il governo francese avviò un progetto per

il calcolo a mano di tabelle matematiche, fra cui quella dei logaritmi dei numeri compresi fra 1 e 200.0000, calcolati con la precisione di 19 cifre decimali, che richiese 2 anni e l'impiego di circa 100 unità di personale in grado di saper svolgere operazioni di somma e sottrazione e pochi matematici per fornire loro le istruzioni operative. Per minimizzare gli errori, ogni numero veniva calcolato indipendentemente da due persone distinte. Le tavole prodotte furono riportate in 17 grandi volumi, la sola tabella dei logaritmi conteneva circa 8 milioni di cifre.

Nei secoli che vanno dal XVI al XIX secolo, la tecnologia, di certo, non ha aiutato i ricercatori ed inventori dell'epoca nel loro tentativo di ideare e costruire un calcolatore.

Il ricorso a sistemi meccanici per l'elaborazione di istruzioni vede nel telaio Jacquard (1752-1834) un concreto esempio di macchina in grado di produrre tessuti con un disegno specificato da una pila di schede perforate[3]. Il filosofo francese Blaise Pascal (1623-62) inventa un calcolatore meccanico in grado di sommare e sottrarre numeri decimali. In Germania Gottfried Leibniz (16461716) estende il progetto di Pascal ideando una macchina in grado di effettuare moltiplicazioni e divisioni. La notazione da lui creata per il calcolo differenziale e integrale, fra l'altro ancora oggi in uso, permette di eseguire facilmente e quasi senza dispendio di pensiero, calcoli complicatissimi.

Bool nel 1847 pubblica un lavoro in cui formalizza la sua algebra delle proposizioni, usa i simboli algebrici per rappresentare le relazioni logiche e avvia una formalizzazione algebrica dei linguaggi. Frege, in modo più ambizioso, ricercava un sistema logico che comprendesse tutte le inferenze deduttive utilizzate nella pratica matematica. Voleva ricostruire tanto l'algebra quanto le altre parti della matematica come sovrastrutture di cui la sua logica fosse fondamento.

Tali iniziative di realizzazione di calcolatori meccanici, sono da considerare soltanto delle sperimentazioni. Esse non riuscirono mai ad avere un significativo impatto pratico nella scienza e nell'ingegneria. Occorre arrivare al XIX secolo per vedere la concreta costruzione di calcolatrici meccaniche in grado di svolgere le operazioni aritmetiche di base e al XX secolo per la costruzione e commercializzazione di concreti calcolatori elettronici da utilizzare in ampie aree della scienza.

L'aspetto più innovativo e importante che caratterizza l'evoluzione informatica, sulla base delle ricerche sulla logica di Frege, Hilbert, Gödel, fu colto da Alan Turing (1912-1954) che nel '37 pubblica, in seno ad una ricerca di logica e informatica teorica, un lavoro scientifico in cui è presentata la prima macchina a programma, nota come macchina di Turing. Tale macchina simbolica, composta da un nastro infinito che fa da memoria e su cui possono essere scritti e/o letti, mediante una apposita testina di lettura, i simboli di un alfabeto astratto e da un'unità di controllo (un automa a stati finiti) è in grado di ese-

guire, autonomamente, algoritmi.

L'articolo, di fatto, mirava a dare risposta ad uno dei 29 quesiti posti nel 1900 da Hilbert sulla "decidibilità", dimostrando, con il ricorso alla computazione per tramite di una macchina di Turing usata come strumento logico formale, che non esiste un algoritmo in grado di decidere se una data conclusione era derivabile da premesse date usando le regole della logica di Frege, rispondendo così negativamente al quesito hilbertiano[4]. La macchina proposta da Turing ha influenzato la realizzazione dei futuri calcolatori. Essa, a partire da uno specifico algoritmo, può diventare un interprete universale e consentire la simulazione di una qualunque macchina di Turing caratterizzata dal contenuto di uno specifico nastro iniziale[5]. La capacità di emulare macchine speciali a partire da macchine generali e universali, unitamente all'evoluzione tecnologica che ha consentito di disporre di potenza di calcolo a costi ridotti, ha di fatto determinato l'impiego pervasivo dei calcolatori in ampi settori della nostra società contemporanea.

Turing non ebbe mai un premio Nobel, il suo nome, però, è riportato nell'elenco dei venti massimi scienziati e pensatori del Novecento, pubblicato il 29 marzo 1999 sulla rivista "Time" (assieme a quello di Kurt Gödel) ove si legge: "Nei moderni calcolatori confluiscono tante idee e tanti processi tecnologici che sarebbe temerario dare a una sola persona il merito di averli inventati. Ma rimane il fatto che chiunque batta su una tastiera per operare su di una tabella o su di un programma di videoscrittura, lavora su un'incarnazione di una macchina di Turing".

Un analogo commento su John von Neumann così recita: "In pratica tutti gli odierni calcolatori , dalle super macchine da dieci milioni di dollari a quei minuscoli chip che fanno andare telefoni cellulari e giocattoli, hanno una cosa in comune: sono tutti "macchine di von Neumann", varianti dell'architettura base che John von Neumann, proseguendo il lavoro di Alan Turing, elaborò negli anni Quaranta".

Il primo vero investimento destinato alla costruzione di un Calcolatore fu voluto nel 1936 da Churchill, in Inghilterra a seguito di una nota, a cui contribuì lo stesso Turing, che durante il periodo bellico dedicò gran parte delle sue energie alla decriptazione dei codici trasmessi dai militari tedeschi[6]. Nel '40 si moltiplicano le iniziative progettuali per la realizzazione di calcolatori con ricorso alle tecnologie dell'elettronica prima a valvole e, successivamente, nel '50 a transistor. Ricordiamo brevemente i principali attori dell'epoca (dettagli ulteriori possono trovarsi nei testi riportati in bibliografia):

George Robert Stibitz, matematico, nel 1939 disegna il primo calcolatore funzionante con codice binario che impiegava lampadine e relè telefonici.

Howard Aiken (1900-1973) progetta un calcolatore a relè elettromagnetici, costruito nel 1944 dalla IBM a Harward, e specificamente destinato al calcolo numerico per fisici e ingegneri. Aiken non concepisce che una macchi-

na generale potesse operare efficientemente per il calcolo numerico.

John Atanasoff (1903-1995) applica per primo la tecnologia dei tubi a vuoto alla costruzione, poco prima dell'intervento degli USA nella seconda guerra mondiale, di un piccolo calcolatore speciale.

John Mauchely (1907-1980) e J. Presper Eckert, Jr. (1919-1995) rispettivamente un fisico e un ingegnere elettronico hanno dato un contributo rilevante intorno al '45 alla costruzione, presso la Moore School of Electrical Engineering dell'Università di Pennsylvania, dell'ENIAC, il primo grande calcolatore elettronico in grado di trattare problemi numerici di grandi dimensioni. Le idee architetturali furono sviluppate da Mauchely a partire anche delle conoscenze della macchina di Atanasoff. Il finanziatore dell'opera, l'Esercito Americano, sborsò mezzo milione di dollari di allora per la costruzione di questo "dinosauro". Il calcolatore serviva per la compilazione rapida dei dati balistici necessari all'artiglieria americana. Con 10.000 condensatori, 18.000 valvole, 70.000 resistenze, 30 tonnellate di peso ed un consumo di 175 kilowatt (come 1200 computer odierni), l'ENIAC era in grado di elaborare tabelle balistiche utilizzando componenti interamente elettronici. La sua costruzione, tuttavia, fu completata 9 mesi dopo la fine della guerra.

Herman Goldstine (1913-2004) e von Neumann danno, quindi, avvio al progetto della macchina per la ricerca dell'IAS di Princeton, pubblicano un report tecnico sull'architettura di tale macchina, a programma memorizzato, che riporta anche idee di Echert e che ancora oggi è attuale nei suoi principi generali.

Nel 1944 entra in funzione il calcolatore elettromeccanico "MarkI". Costruito nei laboratori della Industrial Business Machines (IBM), funziona con dei programmi registrati su nastro perforato. Pesa quasi 5 tonnellate, e le sue 78 sezioni di calcolo sono comandate con più di 3000 relè. Questa mole di componenti permetteva al "Mark 1" di sommare due numeri di 23 cifre in meno di mezzo secondo. Il "Mark 1" fu anche protagonista della coniazione del termine "bug", che oggi sta a indicare un errore di esecuzione di un programma. Durante una sessione di calcolo, infatti, il "Mark 1" iniziò a comunicare risultati errati: la matematica Grace Murray Hopper, dopo una lunga ricerca, trovò che un insetto ("bug") era rimasto schiacciato nel relè 70 del pannello F.

In Italia l'anno zero per la nascita dell'ìnformatica è stato il 1954, anno in cui presso il Politecnico di Milano viene creato il "Centro di Calcoli Numerici" presso cui viene installato un elaboratore CRC 102A della NCR statunitense; all'INAC di Roma viene acquistato il Manchester Universal Electronic Computer Mark I prodotto, a partire dalle idee di Williams e Kilburn dell'Electrical Engineering Department, dalla Ferranti, installato presso la sede centrale del CNR. Furono spesi 300.000.000 di lire dell'epoca.

All'università di Pisa viene dato inizio ad un progetto, su suggerimento anche di Enrico Fermi, per la realizzazione della Calcolatrice Elettronica Pisana (CEP), in collaborazione con l'Olivetti che, proprio a Pisa, insedia il "Laboratorio Ricerche Elettroniche Olivetti". Il CEP, concepito per operare direttamente con tecnologie a transistori da poco immessi sul mercato, dopo la scoperta nel '47 del componente dovuta a Bardeen e Brattain e Schokley (premi Nobel nel 1956), è inaugurato nel 1961 alla presenza del Presidente della Repubblica di allora Giovanni Gronchi.

Successivamente la Olivetti lancia la Programma-101, una sorta di calcolatrice programmabile da tavolo, chiamata anche "Perottina", dal nome del suo progettista. Purtroppo non viene apprezzata per le sue potenzialità: il mercato, infatti, non è ancora pronto all'ingresso dei piccoli computer negli ambienti di ufficio, e quello che poteva essere il primo "personal" computer della storia fu dimenticato per sempre.

In tali iniziative, anche la facoltà di Ingegneria di Napoli avvia l'installazione nel '56, del "Digital Differential Analyzer D12" con tubi a vuoto e memoria a tamburo e nel '60 del calcolatore Bendix G20. Questi hanno, di fatto, dato avvio ad un uso intensivo dell'informatica nella progettazione, nella ricerca e nella didattica nella facoltà.

La nascita del circuito integrato rivoluziona ancora una volta il mondo dell'informatica. Negli anni '70 cominciano a diffondersi i primi microprocessori. E' l'inizio di una rivoluzione che porterà il computer nelle case, cambiando definitivamente le nostre abitudini. Non è solo la presenza fisica del computer che si farà sentire: saranno tutti gli oggetti e i servizi legati all'uso dei microchip che offriranno nuove possibilità al mondo dell'informazione, dei media, della televisione, del cinema, della ricerca scientifica.

Nel 1971 tre ingegneri elettronici della Intel, tra cui l'italiano Federico Faggin, inventano il microprocessore, un chip di silicio capace di contenere centinaia di transistor.

Nascono i processori INTEL 4004, 8008 e 8085 e Motorola 6800 che saranno utilizzati per la costruzione di computer a basso costo di tipo personale o per sistemi di sviluppo per controllo industriale o per sistemi "embedded" da impiegare, in modo pervasivo, in diversi settori applicativi dell'ingegneria.

Nel 1980 viene messo in commercio il primo personal computer della storia, l'IBM XT basato sulla famiglia di processori Intel 8086/88, che certamente ha cambiato il modo di approcciare le applicazioni informatiche da parte dei ricercatori e degli ingegneri.

Lo sviluppo del software non è più limitato ai programmi di calcolo che implementano soltanto specifici algoritmi matematici. Si avvia lo sviluppo di programmi di ausilio alla gestione del calcolatore stesso, fino alla progettazione di complessi Sistemi Operativi, capaci di semplificare molte delle attività necessarie agli utenti per l'accesso alle risorse di computazione. Si sviluppano linguaggi simbolici per fa-

cilitare la programmazione. Nascono i compilatori di linguaggio di basso livello (assembler) e ad alto livello (Fortran, Cobol) e numerosi programmi di utilità per la programmazione (editor, loader, clinker, ecc.). Comincia a consolidarsi sempre più l'ingegneria del software con lo sviluppo di apposite metodologie di progettazione del software per il disegno industrializzato di componenti informatiche ad elevata complessità, manutenibilità e qualità.

Con l'apparire del calcolatore elettronico, il calcolo si trasforma sempre più in calcolo numerico con vantaggi sia nella risoluzione che nella precisione dei calcoli stessi. Nel report scritto da von Neumann per descrivere il progetto del computer dell'IAS (Institute for Advanced Study) da impiegare per la ricerca scientifica, egli individua come strategica per l'uso del calcolatore, l'analisi numerica. Infatti, sebbene metodi numerici per il calcolo di soluzioni approssimate sono esistiti dai tempi di Newton, questi trovano un concreto impulso agli inizi del XIX secolo con l'opera di Gauss e, a partire dai suoi risultati, agli inizi del XX secolo si sono sviluppati metodi numerici per risolvere piccoli sistemi di equazioni lineari, invertire piccole matrici, calcolare in modo approssimato integrali, e risolvere equazioni differenziali ordinarie. Con l'uso del calcolatore, von Neumann intravide nuove opportunità per risolvere numericamente problemi matematici più complessi e di elevate dimensioni, necessari per applicazioni all'epoca di estremo interesse nei settori della fisica quantistica, dell'economia, biologia e scienza della terra.

Dagli anni '40 ad oggi il calcolatore elettronico, da semplice strumento per il calcolo, diviene anche un sistema per la gestione di processi organizzativi e industriali che pervadono ogni attività della nostra società. L'informatica, come disciplina legata alla costruzione dei calcolatori e dei loro programmi, evolutasi concretamente sin dall'inizio del secolo con lo sviluppo della logica matematica, si consolida negli anni '60, epoca in cui si sviluppano notevolmente le industrie di componentistica elettronica, dell'hardware e del software.

L'ingegneria beneficia da sempre del supporto dell'informatica sia negli aspetti dell'hardware, per il controllo e la gestione dei processi industriali, per gli strumenti di misura, per la simulazione, che del software, per le applicazioni di calcolo da impiegare nella progettazione e nella risoluzione di modelli di sistemi di complessità sempre maggiore.

Nel modello computazionale utilizzato di von Neumann, una memoria finita e ad accesso casuale contiene programmi e dati, opportunamente codificati, mentre due unità specializzate attendono alle operazioni di ingresso e uscita di dati e programmi, una unità di controllo implementa un algoritmo dedicato allo svolgimento di cicli di processazione composti dalla alternanza delle fasi di "Fetch" e "Execute".

Il sottosistema di ingresso-uscita, inizialmente, limitato a poche e semplici operazioni da e verso la memoria, con

il diffondersi dell'uso del calcolatore in altre aree applicative, diventa sempre più complesso e si arricchisce di nuove unità periferiche, diversificate sia per quantità di informazioni scambiate che per velocità di accesso. Esso, nel tempo, diventa una risorsa estremamente critica dal punto di vista prestazionale e dei costi ed evolve verso un vero e proprio calcolatore di I/O dedicato (uno dei primi calcolatori commerciali, IBM 7094, messo in commercio nel 1962, utilizzava già nella sua architettura un processore di I/O per la gestione delle operazioni di ingresso-uscita). Al fine di contenere i costi, aumentando la competitività del mercato, le unità di I/O di tipo disco, memoria, stampanti e periferiche specializzate sono tra i primi componenti del calcolatore ad essere standardizzati e prodotti in concorrenza da più costruttori.

La standardizzazione ha contribuito ad abbattere il costo dei sistemi informatici ed, in particolar modo, dello sviluppo del software.

Le prime macchine realizzate permettevano l'esecuzione di un solo programma alla volta, codificato in uno specifico linguaggio macchina (binario). Tra il 1954 ed il 1957, in IBM, un gruppo di ricerca capeggiato da John Backus sviluppa il linguaggio FORTRAN (Formula Translation), un linguaggio ad alto livello per la programmazione scientifica. Tale linguaggio, di fatto, oltre a rendere più agevole e meno prona ad errori la programmazione delle applicazioni, realizza uno standard di programmazione indipendente dallo specifico calcolatore pervenendo la prima forma di portabilità del software. Allo standard "FORTRAN" segue nel 1959, sponsorizzato dal DoD nell'ambito di un gruppo di lavoro con compenenti industriali e utenti di computer), lo sviluppo di un linguaggio specifico per le applicazioni commerciali, il COBOL (Common Business Oriented Language). Il COBOL apre l'uso sistematico del calcolatore ad applicazioni gestionali e transazionali. Ancora oggi sono in esercizio numerosissime applicazioni sviluppate con tali linguaggi.

I calcolatori che operano secondo il modello di von Neumann, godono della proprietà della "Universalità"; essi possono, cioè, simulare, ad efficienza costante, una qualunque macchina speciale sia hardware che software[7]. La proprietà di universalità di un calcolatore fa si che si possano scrivere programmi con la confidenza che si troverà sempre un'architettura in grado di poterli eseguire (previa l'azione di traduzione da parte di un compilatore).

Gli sviluppatori di algoritmi e programmi applicativi possono in tal modo operare indipendentemente dai produttori di hardware (di fatto essi scrivono programmi per macchine virtuali interpreti di un linguaggio ad alto livello quale FORTRAN, C, COBOL, ecc.). Ciò limita notevolmente i costi di sviluppo del software, che rappresenta la componente di maggiore costo di un sistema informatico.

L'universalità della macchina di von Neumann è stata, di fatto, il fattore determinante dello sviluppo dei sistemi di

calcolo nelle varie aree applicative. Tale proprietà, purtroppo, non è più valida per le architetture parallele non convenzionali (i cosiddetti sistemi non von Neumann) che caratterizzeranno i nuovi e più potenti sistemi di calcolo del nostro secolo (multi processors, multi computers, grid computers, ecc.).

Ciò rende lo sviluppo del software non indipendente rispetto a quello dell'hardware, limitando fortemente sia lo sviluppo che il trasporto dei programmi applicativi già sviluppati fra calcolatori di differenti produttori.

Per risolvere tale problema e non incorrere in costi elevatissimi di sviluppo del software, non sostenibili dal mercato (come si è già verificato negli anni '90, in cui sono di fatto scomparsi gran parte dei costruttori di super calcolatori), occorre accordarsi su di un modello computazionale comune e sviluppare standard architetturali fra i costruttori di Hw e Sw, favorendo, in tal modo, forme di portabilità delle applicazioni almeno fra classi di differenti calcolatori. La standardizzazione si basa sull'impiego di supporti a tempo di esecuzione o di librerie standard. Essa realizza macchine virtuali standard che incapsulano e, quindi, nascondono al loro interno, le specificità del parallelismo a basso livello. La soluzione oggi più diffusa sul mercato dei supercalcolatori ricorre al supporto PVM e MPI, ampiamente utilizzati per lo sviluppo di gran parte delle applicazioni parallele.

Lo sviluppo del paradigma di programmazione ad alto livello ad oggetti risulta essere, inoltre, un valido candidato per la realizzazione di una forma di incapsulamento e riuso di oggetti software in grado di nascondere specifiche forme di parallelismo e sincronizzazione di thread e processi.

Nelle scienze, la necessità di aumentare la precisione dei modelli impiegati sia a fini di ricerca che di progettazione, si manifesta con la necessità di disporre di potenze di calcolo impensabili solo 10 anni fa e a costi ragionevoli. La ricerca tecnologica concorre al raggiungimento dei nuovi e sempre più ambiziosi obiettivi dei prossimi 10-20 anni, con l'avvio della produzione e commercializzazione di chip VLSI innovativi che, con il ricorso a componenti progettati per operare su scala nano-metrica, riescono ad integrare al loro interno circa un bilione di transistor e a commutare a frequenze dell'ordine dei THz (10^{12} Hz). Nei prossimi anni saranno costruite macchine in grado di operare al di sopra della barriera dei PetaFLOPS (10^{15} operazioni in virgola mobile al secondo) e garantire sistemi di interconnessione geografici ad elevatissima velocità di trasferimento[8].

Ma la sola potenza di calcolo non è sufficiente; il suo pieno utilizzo è legato, principalmente, alla capacità di sviluppare algoritmi e programmi di elevata qualità, in grado di sfruttare efficientemente le potenzialità messe a disposizione dalle nuove risorse hardware. Allo stato, soltanto una piccola frazione del patrimonio applicativo, sviluppato nell'ultimo cinquantennio per i calcolatori sequenziali, è stato riprogrammato per essere eseguito su calco-

latori paralleli. I paradigmi computazionali dei sistemi paralleli introducono una sostanziale modifica al modello di von Neumann in quanto in essi le istruzioni non sono eseguite in sequenza da un unico processore ma in parallelo e in armonia da più processori.

Tali architetture sono la naturale risposta per il sensibile miglioramento prestazionale di un sistema di calcolo, in aggiunta alla soluzione architetturale basata sul microparallelismo all'interno di un processore (pipe, operatori di vettorizzazione, ennuplazione di unità funzionali, impiego di cache per la riduzione dei tempi di accesso alla memoria) e all'evoluzione tecnologica mirante ad aumentare la densità di integrazione e a ridurre i tempi di commutazione dei componenti (e quindi aumentare le frequenze di operazione dei circuiti VLSI). L'aumento del clock dei processori che ne deriva e le nuove funzionalità di calcolo si traducono nell'aumento del numero di istruzioni al secondo che il processore riesce ad eseguire.

La storia recente ci insegna, inoltre, che l'ITC, con l'avvento di Internet, della telefonia cellulare, della TV interattiva, delle e-applications, del web, della multimedialità, ecc., ci presenta un uso del calcolatore che va ben oltre le tradizionali applicazioni di calcolo ad uso degli scienziati. Il calcolatore, come macchina adattabile ad eseguire un qualunque tipo di programma, rivoluziona radicalmente la società civile, diventa un componente pervasivo impiegato in tutti i settori.

In conclusione si fa osservare che i modelli alla base dei sistemi informatici presentano un crescente aumento della complessità sia dal punto di vista della formulazione teorica che dal punto di vista dello sviluppo tecnologico e della realizzazione dei processi industriali.

La complessità è presente nelle fasi di progettazione, realizzazione e manutenzione che, a causa della continua evoluzione delle tecnologie, della complessità delle funzioni richieste ad un sistema e della specificità applicativa, risultano, spesso, estremamente gravose anche alla luce degli elevati livelli di prestazioni di calcolo, di sicurezza e di affidabilità richiesti.

L'informatica ha allargato nel tempo la ricerca in molteplici settori, con notevoli sforzi di sviluppo di modelli, di nuove tecnologie e di applicazioni di tecnologie avanzate di altri settori dell'ingegneria.

I principali settori teorici e applicativi di interesse per la ricerca e la progettazione dell'ingegneria informatica possono essere così schematica-mente riassunti: architettura dei sistemi di elaborazione; macchine digitali; programmazione e sistemi operativi; codifica e gestione delle informazioni; sviluppo di sistemi periferici per la gestione dei dati di ingresso ed uscita; sistemi distribuiti; reti di calcolatori.

A tali settori vanno aggiunti i numerosissimi settori di interdisciplinarietà che vedono un intenso ricorso ai modelli, metodologie, sistemi e soluzioni dell'informatica.

[1] Famose la prima scientifica prodotta dalla Hewlett-Packard, la Hp 35 con notazione polacca inversa e quelle della Texas Instruments teorica sulla computazione e sulla complessità computazionale.

[2] Era questo un enorme calcolatore di circa 30 tonnellate e 18.000 tubi a vuoto, progettato da John W. Mauchly(1907-80) e J.Prosper Eckert(1919-95), la cui costruzione fu avviata nel 1943 e terminata nel 1946.

[3] Tale macchina, di fatto, non è un vero e proprio calcolatore ma una macchina in grado di controllare meccanicamente la tessitura.

[4] Si fa osservare che Turing pubblica con ritardo la dimostrazione dell'indecidibilità preceduto in ciò da Alonso Church, un famoso logico statunitense, che realizza la sua dimostrazione sulla base del suo lambda calcolo (un formalismo equipotente a quello impiegato da Turing).

[5] Trattasi della formalizzazione del concetto di "macchina virtuale", simulata a programma (o in gergo informatico "emulata") su di una macchina fisica di tipo general purpose. Ciò fa si che un calcolatore possa essere visto non solo come un esecutore di programmi di calcolo (per risolvere modelli e algoritmi) ma come un simulatore di macchine, non solo per il calcolo ma anche per la gestione di processi di qualunque tipo (automazione di processi sia industriali che organizzativi, sistemi "embedded, applicazioni militari, ecc.).

[6] Al fine di controbattere la superiorità tedesca, i messaggi crittati dell'esercito e della marina tedesca con la macchina ENIGMA, dovevano essere decifrati in tempi brevissimi per cui Churchill diede il via libera al finanziamento necessario alla costruzione di un calcolatore elettromeccanico, il Colossus, basato sui principi di Turing e specializzato al problema della decrittazione. I primi messaggi che riuscirono a decifrare furono quelli della Marina Italiana. A causa del primo vero Calcolatore della storia, la marina inglese affondò tre nostri incrociatori pesanti e due cacciatorpediniere nel marzo del 1941.

[7] Si ricorda che un calcolatore a programma memorizzato emula la macchina speciale caratterizzata dallo specifico programma eseguito.

[8] Nella lista dei supercalcolatori TOP500 il primo in classifica, l'IBM Blue Gene/L configurato con 131072 processori sviluppa, 367000 GFLOPS di picco.

Bibliografia

-Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*, New York, Touchstone Book-Simon & Schuster, 1984.

-Alan Turing, *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*, Proc. Of the London Mathematical Society (2), vol.42, 230-65, 1937.

-Martin Davis, *Il Calcolatore Universale, Milano*, Adelphi, 2003. -William Aspray, *John von Neumann and the origins of modern computing*, London UK, The MIT Press, 1992.

-John P. Hayes, *Computer Architecture and Organization*, McGraw-Hill International Editions, 1998. -Alfio Andronico e Giuseppe De Marco, atti del convegno *Un Museo Virtuale sulla Storia dell'Informatica in Italia*, Siena, 1997.

-John L. Hennessy, David A. Patterson, *Computer Architecture A Quantitative Approach*, San Francisco (CA) USA, Morgan Kaufmann Publishers, 3° ed., 2003. -INTEL, Silicon Logic Process

http://www.intel.com/technology/silic on/micron.htm

Marcello Bracale

La Storia della Bioingegneria in Italia Ieri, oggi, domani…

All'inizio del Terzo Millennio la Bioingegneria in Italia si presenta come una realtà che sembra essere fortemente datata, ma non è proprio così.

Agli inizi degli anni Sessanta in Italia, la Bioingegneria, almeno come termine non esisteva.

A dire il vero, a Ingegneria non esistevano nemmeno cattedre universitarie sui temi biologici, con l'eccezione di alcuni temi sulla fermentazione, sugli enzimi e sull'ingegneria sanitaria.

È convinzione del Prof. Vincesco Tagliasco, Ordinario di Bioingegneria all'Università di Genova «che la Bioingegneria in Italia abbia avuto specifiche caratteristiche del tutto inusuali nel panorama internazionale. Questa nostra specificità culturale, questo nostro approccio il cui collante è stata la condivisione di tecniche e metodologie dell'ingegneria, piuttosto che un particolare settore della biologia, sarà poi l'elemento di successo delle scuole di Bressanone, attraverso le quali siamo stati in grado di seguire l'evoluzione delle ricerche in campo biologico senza voler difendere, a tutti i costi, particolari settori. Paradossalmente questa nostra apparente aspecificità –spesso duramente contestata da Antonio Ruberti e da coloro che avrebbero preferito coltivare i temi della bioingegneria all'interno di altri raggruppamenti disciplinari– è stata la mossa vincente che ha permesso la nascita della bioingegneria in Italia.

Il fatto che Emanuele Biondi abbia ridenominato la sua cattedra originaria e che Marcello Bracale l'abbia seguito in questa sua scelta costituisce l'evento critico che ha determinato la nascita della comunità dei bioingegneri in Italia. Infatti negli anni Settanta, due strategie si contrapponevano: da una parte c'erano coloro che ritenevano che si sarebbero dovute sviluppare nelle comunità di appartenenza (la meccanica, le macchine, i controlli automatici, i campi elettromagnetici, l'elettronica e l'informatica) le tematiche della bioingegneria e dell'ingegneria biomedica. Dall'altra parte c'erano i fautori della nascita di una nuova disciplina, di un nuovo raggruppamento disciplinare: i cosiddetti bioingegneri fondamentalisti».

Ed ancora in un altro passaggio del Prof. Tagliasco nel paragrafo "Quando non esisteva ancora il raggruppamento 223" dal libro *Storia della Bioingegneria*, Patron Editore 2001, si legge: «Anche in italia, alla fine degli anni Sessanta, il termine Bioingegneria era poco diffuso. Nel X Convegno Internazionale dell'Automazione e Strumentazione 1968 vi era una sessione dedicata all'Ingegneria Medico-Biologica. A

quell'epoca esistevano insegnamenti Universitari di Elettronica Biomedica e di Elettronica Biologica, il Laboratorio di Elettronica Biomedica presso l'Istituto Superiore di Sanità a Roma, il Laboratorio per l'Elettronica Biomedica del Consiglio Nazionale delle Ricerche a Padova, l'Associazione Italiana di Ingegneria Medica e Biologica con sede operativa presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli. Gli accademici di riferimento -per un giovane assistente che aveva avuto la sfortuna di leggere troppi romanzi di fantascienza- erano : Francini a Padova, Belardinelli a Bologna, Biondi e Schmid a Milano, Bracale e Cappuccini a Napoli. Francini e Cappuccini spesso citavano la Fondazione Bordoni, come una fucina in cui molte idee sull'elettronica biomedica si erano maturate».

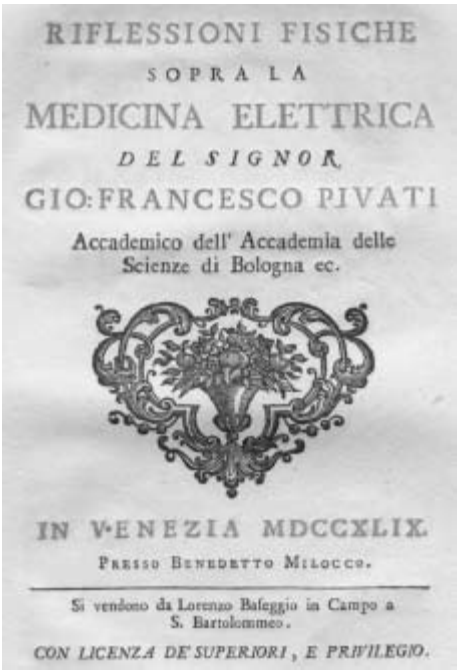
La prima volta che compare la parola "Bioingegneria" fu in occasione della Prima Giornata Italiana di Bioingegneria organizzata dall'A.I.I.M.B. con Cappuccini e Bracale a Napoli nel 1970.

Successivamente c'è stata la consacrazione ufficiale al "Primo Convegno di Bioingegneria" di Milano nel 1972, organizzato da Emanuele Biondi .

Da allora è stato un susseguirsi di attività che sono molto meticolosamente riportate nel citato libro "Storia della Bioingegneria" a cura di Emanuele Biondi e Claudio Cobelli, Editore Patron, 2001 e del quale se ne raccomanda la lettura per ulteriori approfondimenti.

L'Autore del presente lavoro insieme ad altri Colleghi rappresenta la "memoria storica" della Bioingegneria Italiana ed in questo spirito affida alla consapevole ed attenta deduzione del lettore, una serie di "Slides" (in appendice al presente lavoro) ricavate da atti di Conferenze Nazionali, Internazionali e Mondiali alle quali ricercatori ed accademici italiani sempre più numerosi hanno dato contributo dal 1968 ad oggi. Da tali "Slides" e da un'attenta lettura dei titoli e degli argomenti in esse riportati si potrà avere un'idea dell'evoluzione del pensiero, della ricerca, degli aspetti scientifici che hanno forgiato una classe di ricercatori e di didatti sempre più numerosa, alcuni dei quali non più giovani, che in grandissima parte costituiscono oggi la classe dei docenti dei due settori scientifici disciplinari della Bioingegneria Elettronica ed Informatica (ING INF 06) del Settore dell'Ingegneria dell'Informazione e della Bioingegneria Industriale (ING IND 34) del Settore dell'Ingegneria Industriale.

Molte delle iniziative hanno avuto due importanti "sponsors" scientifici ed accademici: l'Associazione Italiana di Ingegneria Medica e Biologica" fondata nel 1966 e che ha sede presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli (Segretario Generale Prof. Marcello Bracale, Presidente Prof. Antonio Pedotti) ed il Gruppo Nazionale di Bioingegneria che dal 1980 al 2005 ha avuto sede operativa con il Presidente Prof. Claudio Corbelli (INF ING 06) all'Università di Padova e dal 2005 presso il Politecnico di Milano con il Prof. Roberto Fumero (ING IND 34).



RIFLESSIONI FISICHE
SOPRA LA
MEDICINA ELETTRICA
DEL SIGNOR
GIO: FRANCESCO PIVATI
Accademico dell' Accademia delle Scienze di Bologna ec.

IN VENEZIA MDCCXLIX.
Presso Benedetto Milocco.

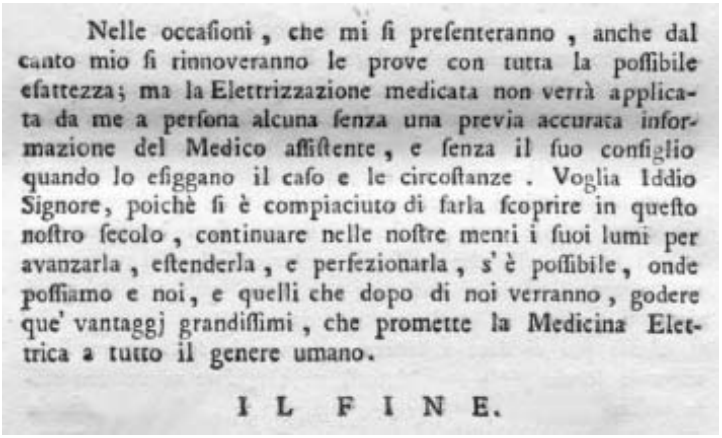
Si vendono da Lorenzo Baseggio in Campo a S. Bartolommeo.

CON LICENZA DE' SUPERIORI, E PRIVILEGIO.

Da questo rapido e sintetico "excursus" storico, un attento lettore potrà ricavare il "senso" degli sforzi che una Comunità oggi sempre più numerosa ed in continua crescita ha compiuto in un trentennio di "propria" storia. C'è la consapevolezza in chi oggi è "il più anziano accademico in ruolo" (Decano) che questa comunità è al servizio della Società Civile e specialmente delle centinaia di giovani che ogni anno si iscrivono ai Corsi di Laurea di Ingegneria Biomedica degli Atenei Italiani.

A questi giovani l'Ordine degli Ingegneri deve guardare con particolare attenzione proprio perché provengono da Corsi di Laurea "giovani" le cui figure "professionali" vanno seguite e protette negli ambiti di quegli sbocchi professionali ove la loro formazione trova il naturale impiego ed impegno, salvaguardandoli e proteggendoli dalla non conoscenza di coloro che ignorano o che purtroppo troppo spesso, fanno finta di non sapere cosa sia l'"Ingegneria Biomedica" Italiana.

Chi è amante della Storia come l'Autore e che crede che dalla Storia si possano ricevere suggerimenti importanti, affida le sue conclusioni e lancia il suo messaggio rileggendo insieme le conclusioni di un libro del 1979 di Giò Pivati, Accademico dell'Accademia delle Scienze di Bologna.



Nelle occasioni, che mi si presenteranno, anche dal canto mio si rinnoveranno le prove con tutta la possibile esattezza; ma la Elettrizzazione medicata non verrà applicata da me a persona alcuna senza una previa accurata informazione del Medico assistente, e senza il suo consiglio quando lo esiggano il caso e le circostanze. Voglia Iddio Signore, poichè si è compiaciuto di farla scoprire in questo nostro secolo, continuare nelle nostre menti i suoi lumi per avanzarla, estenderla, e perfezionarla, s'è possibile, onde possiamo e noi, e quelli che dopo di noi verranno, godere que' vantaggj grandissimi, che promette la Medicina Elettrica a tutto il genere umano.

I L F I N E.

Giuseppe Marrucci

Dalla "Ingegneria+Chimica" all'Ingegneria Chimica

Introduzione

I mutamenti negli studi di ingegneria chimica agli inizi degli anni 60 del secolo scorso sono stati considerevoli, ed io ho avuto occasione, prima come studente e poi, dal '61, come giovane laureato avviato alla carriera universitaria, di assistervi personalmente. Nel seguito riferirò di questa esperienza, che ha profondamente segnato la mia personalità scientifica e tecnica, e certamente non solo la mia. Non ho alcuna competenza per scrivere di storia, sia pure di storia di un settore limitato dell'ingegneria, ma può essere utile portare una testimonianza diretta di un periodo, come dicevo, certamente innovativo dell'ingegneria chimica. E' anche opportuno precisare che i miei riferimenti saranno soprattutto alla scuola napoletana, anche se il fenomeno ha avuto caratteristiche simili ovunque in Italia e, per molti aspetti, anche nelle università americane che, in larga misura, "tiravano la volata".

Nel seguito descriverò brevemente gli studi di ingegneria chimica prevalenti nel dopoguerra italiano, fino a tutti gli anni 50. Successivamente dirò della introduzione sistematica nei programmi di studio del concetto di "operazione unitaria", che modernizzò i corsi di Impianti chimici. Accennerò quindi alla riforma degli ordinamenti, avvenuta appunto nel 1961, con la quale furono introdotti nuovi corsi che dettero spazio allo studio sistematico dei fenomeni fisico-chimici elementari presenti nei processi dell'industria chimica. Terminerò infine con una panoramica delle più recenti evoluzioni.

Ingegneria + Chimica

Il significato del titolo di questa sezione è presto detto. Fino alla riforma degli anni 60 una ingegneria chimica vera e propria non esisteva ancora in Italia. In molte università, fra le quali quella di Napoli, era presente una "sezione chimica" all'interno del corso di laurea in Ingegneria Industriale (l'unico altro corso di laurea essendo quello in Ingegneria Civile, erede della più antica laurea in Ingegneria tout court). Lo studente sceglieva la sezione chimica in alternativa ad altre, quali la sezione meccanica, di più lunga tradizione, oppure quella elettrotecnica, navalmeccanica, aeronautica, ecc. Ci si laureava quindi in Ingegneria Industriale (Sezione Chimica). Ma anche nelle poche università dove la dizione "ingegneria chimica" già esisteva da tempo, fra cui il prestigioso Politecnico di Milano, la realtà degli insegnamenti impartiti non era molto diversa.

Quali erano i contenuti di quella laurea? Erano quelli tradizionali dell'ingegneria tout court: matematica e geometria, fisica e fisica tecnica, chimica e

chimica applicata, meccanica razionale, scienza delle costruzioni, idraulica, cui si aggiungevano quelli dell'ingegneria industriale: macchine, meccanica delle macchine, costruzione di macchine, tecnologie meccaniche, elettrotecnica, chimica industriale. Per la sezione chimica, venivano poi inserite altre discipline mutuate dai corsi di laurea in Chimica e Chimica Industriale della Facoltà di Scienze, e cioè: chimica fisica, elettrochimica, un secondo corso di chimica industriale e, per finire, uno o due corsi descrittivi degli impianti chimici.

La professione dell'ingegnere chimico era quindi vista come la sovrapposizione più o meno riuscita di due culture, quella della tradizionale ingegneria meccanica e quella della chimica, soprattutto nella sua versione "industriale", in cui era stata leader indiscusso, fin dal secolo precedente, la Germania. A Napoli, figure di spicco erano state ed erano ancora: Maria Bakunin, che nei laboratori dell'Istituto di Chimica Industriale alla via Mezzocannone 16 aveva studiato le gomme sintetiche, e Francesco Giordani, esperto di elettrochimica industriale. Nel 1955, alla mia prima emozionante lezione universitaria, ebbi la fortuna di trovare come affascinante docente proprio il Prof. Giordani, all'epoca titolare della cattedra di chimica generale. Agli esami della stessa disciplina incontrai invece la Prof.ssa Bakunin, ormai molto anziana ma ancora perfettamente lucida.

Sempre negli anni 50, titolare della cattedra di Chimica Industriale era Giovanni Malquori, vivace toscano, perfettamente inserito nel sistema della industria chimica italiana dell'epoca, ma anche attento alle novità, industriali ed accademiche, che erano maturate sulla scena mondiale del dopoguerra, ormai dominata dalla cultura tecnica anglo-americana, che aveva largamente sostituito quella tedesca, e dagli straordinari recenti sviluppi della petrolchimica, cioè dell'industria dei derivati del petrolio. Il Prof. Malquori ebbe l'intelligenza di sfuggire ai rischi della autoreferenzialità (un difetto frequente nel mondo accademico) inviando dei giovani brillanti negli Stati Uniti ad imparare il nuovo mestiere. I nomi di questi giovani dell'epoca sono Leopoldo Massimilla e Giovanni Astarita, ahimè oggi prema-



Fig. 1 - Maria Bakunin



Fig. 2 – Francesco Giordani, uno dei" saggi" Euratom



Fig. 3 – Giovanni Malquori

turamente scomparsi. Il nuovo che con essi arrivò nella scuola di ingegneria napoletana (ma eventi simili avvennero prima o poi anche altrove in Italia) è argomento delle successive sezioni.

Le "unit operations"

Già negli anni 30, e ancor più negli anni 40, la cultura tecnica americana aveva elaborato il concetto di "unit operations", ossia aveva individuato le (relativamente poche) operazioni elementari di cui sono costituiti, nella grande maggioranza, i processi dell'industria chimica, indipendentemente dalla specificità delle sostanze coinvolte. Queste ultime, e cioè i composti chimici, sono infatti molto numerosi e diversi nelle proprietà e nei comportamenti, ciò che a prima vista può scoraggiare lo studio dei processi e degli impianti dell'industria chimica, studio che sembra richiedere grande memoria e molta esperienza per ricordare appunto le numerosissime diversità e specificità.

Il concetto di unit operations fa invece ordine in quella apparente confusione, in quanto consente di scomporre anche i processi più complessi in una sequenza ordinata di processi elementari. Questi, a loro volta, possono essere analizzati e descritti con modelli abbastanza semplici, nei quali la natura dei diversi composti chimici e la specificità operativa entra soltanto attraverso il valore di opportuni parametri. Il progettista di processi dell'industria chimica, e dei relativi impianti, deve quindi saper applicare i modelli calcolativi delle unit operations, e deve procurarsi i va-

lori dei parametri, molti dei quali disponibili in appositi manuali, oppure ricavabili da correlazioni, e in casi estremi ottenibili da opportuni esperimenti di laboratorio, o da impianti pilota.

Come si vede, stiamo parlando di una professionalità specifica che caratterizza l'ingegnere chimico, il quale diventa cosa diversa dall'ingegnere tout court e/o meccanico, e anche dal chimico industriale, quest'ultimo rimanendo ancorato alle specificità dei singoli prodotti e processi al fine (ovviamente importantissimo) di migliorarli o di trovarne di nuovi, ma non al fine del dimensionamento degli impianti e delle apparecchiature, che è invece compito precipuo dell'ingegnere chimico, e che egli può pienamente assolvere facendo uso della teoria e dei modelli delle unit operations, oltre che della sua cultura di fondo relativamente agli aspetti meccanici e di resistenza strutturale degli impianti stessi.

Alcuni concetti delle unit operations, quali le operazioni a "stadi" successivi, tipici dell'ingegneria chimica (ad esempio nelle torri di distillazione a piatti) assursero perfino a fama internazionale quando furono applicati con successo in un settore nuovo e diverso, quello nucleare. Ci riferiamo al progetto Manhattan, nel quale una operazione con moltissimi stadi si rivelò vincente nell'ottenimento di uranio arricchito, avvenimento cruciale per il successo dell'intero progetto (anche se con le terribili conseguenze che tutti sappiamo). In ogni caso, questo episodio dimostra il grado di avanzamento tecnico già raggiunto dalla ingegneria chimica americana negli anni 40.

Il riflesso in Italia della cultura delle unit operations, cioè dell'ingegneria chimica propriamente detta, fu debole e inadeguato fino alla fine degli anni 50, quando, come prima dicevo, il contatto di giovani docenti con il mondo accademico americano da un lato, e, dall'altro, il tumultuoso sviluppo industriale della petrolchimica che moltiplicava il numero di prodotti e di processi, determinarono anche in Italia il cambiamento.

Se prima ho riferito del mio primo contatto con l'università e del timore reverenziale che provai dinnanzi alla figura un po' ottocentesca del Prof. Giordani, non posso qui tacere del fascino esercitato su di me, ormai prossimo alla fine del mio cursus di studente, dalle personalità moderne ed entusiaste di Astarita e Massimilla. Ricordo in particolare che, nelle more di una riforma degli studi che tardava ad arrivare, Astarita di ritorno dagli Stati Uniti "contrabbandava" la nuova cultura durante le esercitazioni dei corsi di Chimica Industriale tenuti da Malquori, peraltro con il suo consenso, e con il pieno assenso di noi studenti, seppure costretti ad imparare più materie di quelle ufficialmente previste.

Né posso tacere del fatto che Massimilla, per tener dietro ad esperimenti di cui dirò dopo, ed abitando lontano (a Caserta), non esitava a pernottare frequentemente in Istituto, dove aveva messo su, più o meno clandestinamente, una brandina.

Come ho detto, le unit operations arrivavano un po' in ritardo in Italia, ma la nuova cultura dell'ingegneria chimica non era fatta soltanto da quelle. Negli anni 50 si stavano sviluppando altre importanti razionalizzazioni e generalizzazioni di cui si dirà nella sezione seguente. A questa ulteriore fase di sviluppo, la scuola italiana, e quella napoletana in modo particolare, partecipò in modo attivo ed originale, portandosi, già negli anni 60, ad un livello assolutamente paragonabile a quello anglo-americano.

Transport phenomena e molto altro

Nella sezione precedente abbiamo accennato ai parametri che servono nella progettazione di processi e impianti dell'industria chimica. Abbiamo però taciuto del fatto che alcuni di tali parametri non sono proprietà materiali delle sostanze coinvolte che si possono misurare una volta per tutte (per quindi consegnarne i valori ad un manuale), ma viceversa dipendono anche dalle condizioni operative del processo, in particolare dalla sua fluidodinamica. Va detto infatti che in molti processi chimici i protagonisti sono sostanze che si trovano allo stato fluido (liquido o gassoso), e ciò che succede nel processo può dipendere, talvolta in modo cruciale, dal modo di muoversi di tali sostanze nell'apparecchiatura dove avviene il processo, cioè dalla sua fluidodinamica.

Va ancora detto che nelle apparecchiature che hanno come obbiettivo la separazione di sostanze diverse (frequentemente incontrate nell'industria chimica, e non solo in quella) sono presenti più fasi (ad esempio una fase liquida ed una gassosa) ed il processo consiste nel "trasportare" una o più sostanze da una fase all'altra. Ebbene la rapidità con cui avviene tale trasporto, che in ultima analisi si tradurrà nel valore di un parametro da usare nel progetto della apparecchiatura stessa, può essere molto sensibile alla fluido-dinamica. Perfino nelle apparecchiature dove avvengono le reazioni chimiche vere e proprie (i reattori) la fluidodinamica può essere importante nell'influenzare la miscelazione dei composti, oppure la rapidità con cui i reagenti raggiungono la superficie del catalizzatore, ecc. Ovviamente importanti sono anche gli aspetti termici, e quindi il trasporto del calore da o verso i protagonisti del processo.

Lo studio sistematico di questi "fenomeni di trasporto" e della cinetica chimica, cioè della velocità delle reazioni, soprattutto di quelle catalitiche, arrivò a maturazione proprio negli anni sessanta, che videro tra l'altro la pubblicazione di famosi trattati, rimasti dei "classici" fino a tutt'oggi.

La scuola napoletana, ormai pienamente scuola di "ingegneria chimica", partecipò attivamente a questa fase di sviluppo con proprie originali ricerche. Leopoldo Massimilla si concentrò sulla fluido-dinamica dei "letti fluidizzati", che sono insiemi di particelle granulari tenuti in sospensione dinamica da una corrente ascendente di fluido. I letti fluidizzati erano di grande attualità nel campo dei reattori catalitici perché consentivano un miglior controllo della tempe-

ratura ed una più agevole rigenerazione del catalizzatore. Il gruppo del Prof. Massimilla, mediante uno studio sistematico e approfondito, apportò significativi contributi a questa nuova tecnologia, che trovò importanti applicazioni successive anche in campi diversi.

Il gruppo del Prof. Astarita si occupò invece con pari successo del problema della separazione di miscele gassose mediante assorbimento selettivo in opportuni liquidi reattivi. Il "trasporto" dal gas al liquido o viceversa avviene con una menome-nologia che consente sia una efficace generalizzazione, al di là del dettaglio chimico delle sostanze coinvolte, sia una utile classificazione dei diversi regimi possibili. Gianni Astarita fu autore di due volumi di successo su tale argomento, uno dei quali pubblicato in anni successivi in collaborazione con un importante tecnico Exxon.

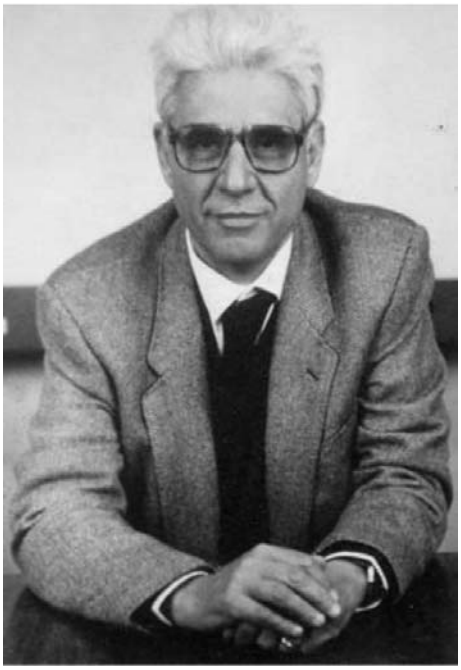


Fig. 4 – Leopoldo Massimilla

La nuova didattica degli anni '60

I primi anni 60 videro attuata la necessaria riforma degli studi con l'introduzione, tra l'altro, delle nuove discipline "Principi di ingegneria chimica" e "Teoria dello sviluppo dei processi chimici", quest'ultima per tener conto in modo particolare della difficile problematica dello "scale up" di nuovi processi: dagli esperimenti di laboratorio agli impianti pilota, e da questi agli impianti industriali, talvolta di dimensioni colossali. Le due nuove discipline si univano alle due già esistenti "Chimica industriale" e "Impianti chimici" (che però modificavano almeno in parte i contenuti) per formare il cuore caratterizzante della nuova ingegneria chimica. Resta inteso che a monte e/o in parallelo rimanevano sia le discipline di base, fra le quali per l'ingegnere chimico era prescritta non solo la Chimica generale, ma anche la Chimica organica, e la Chimica Fisica, tutte mutuate dalla Facoltà di Scienze, sia le discipline fondamentali dell'ingegneria civile e industriale, quali la Scienza delle costruzioni, l'Idraulica, la Fisica tecnica, la Chimica applicata (ai cementi e agli acciai), la Meccanica delle macchine, le Macchine, l'Elettrotecnica, le Tecnologie meccaniche.

Per quanto riguarda il "cuore" della nuova ingegneria chimica, è significativo che i primi 2 concorsi in Italia

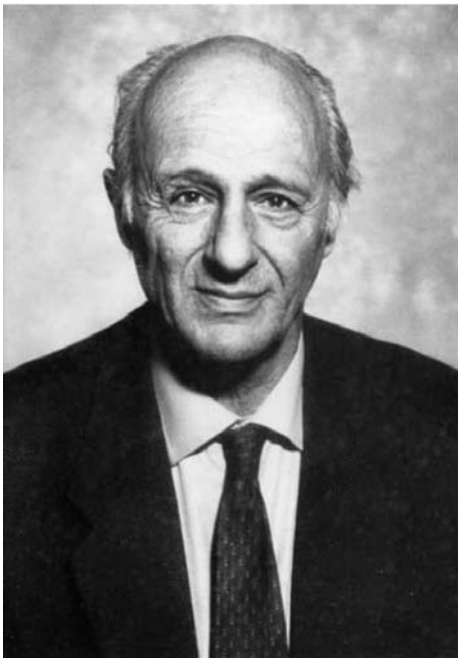


Fig. 5 – Gianni Astarita

per la cattedra di "Principi di ingegneria chimica" videro nella terna dei vincitori, rispettivamente, Leopoldo Massi-milla (poi spostatosi sulla cattedra di Impianti chimici) e Gianni Astarita.

Gli sviluppi successivi

Negli anni che seguirono, malgrado la morte anch'essa prematura del suo potente fondatore, Giovanni Malquori, la nuova giovane scuola di ingegneria chimica napoletana si consolidò pienamente ed acquistò prestigio nazionale ed internazionale. Ampliò inoltre in modo sostanziale i suoi interessi scientifici, anche per la forte interazione con il CNR, voluta dallo stesso Malquori subito prima della sua scomparsa. Massimilla era infatti diventato direttore del neonato Laboratorio CNR sulla Combustione, ospitato all'interno stesso dell'Istituto di Chimica Industriale, mentre Astarita condivideva con Paolo Corradini, titolare della cattedra di Chimica nella Facoltà di Scienze, la guida scientifica del Laboratorio CNR sulla Scienza e Tecnologia dei Polimeri, anch'esso di nuova istituzione e collocato in una sede poco fuori Napoli, ad Arco Felice.

Gli anni 60 vedono anche lo spostamento della Facoltà di Ingegneria dalla storica sede di via Mezzocannone 16 alle nuove moderne strutture di Piazzale Tecchio e di via Claudio a Fuorigrotta. L'Istituto di Chimica industriale e Impianti chimici diretto da Massimilla e quello di Principi di ingegneria chimica diretto da Astarita (successivamente confluiti nell'odierno Dipartimento di ingegneria chimica) diventano luoghi molto attivi di ricerca sperimentale e teorica, con scambi frequenti con altre università, soprattutto americane, ma anche con Cambridge, Inghilterra, e con l'Istituto di Chimica industriale del Politecnico di Milano, dove erano attivi gli allievi del premio Nobel Giulio Natta.

In quali direzioni si è mossa l'ingegneria chimica da allora? La risposta a questa domanda è in molta parte basata sul tipo di cultura tecnico-scientifica che una buona scuola di ingegneria chimica riesce ad impartire ai propri allievi. Si tratta, come prima brevemente descritto, di una cultura molto flessibile, allenata ad analizzare situazioni apparentemente molto diverse (a causa della grande varietà dei prodotti e dei pro-

cessi chimici), individuando gli elementi di generalità e modellandone i comportamenti. Questo tipo di abilità ha reso l'ingegnere chimico capace di affrontare con successo anche tematiche diverse dall'ingegneria chimica propriamente detta. Ritroviamo così l'ingegnere chimico nello studio e nella risoluzione di problemi ambientali e di sicurezza, nella problematica delle fonti di energia alternative, nello studio e sviluppo di nuovi materiali, in molte tematiche biologiche e biomedeche.

Malgrado la forte differenziazione che è talvolta presente fra gli ingegneri chimici di oggi, le radici culturali rimangono comuni. Esse risalgono a quel periodo "rivoluzionario", a cavallo tra gli anni 50 e 60 del secolo scorso, di cui ho avuto la fortuna di essere testimone.

Luciano Di Fraia

Storia della luce e dell'illuminazione

Il ruolo dell'illuminazione nella società moderna

L'avvento l'illuminazione elettrica fu solo un prodotto della rivoluzione Industriale del XVIII secolo, concepito per continuare a lavorare nelle ore notturne. Ma, a sua volta, ha prodotto una rivoluzione economica e sociale che in un centinaio di anni ha trasformato la vita sulla terra come non mai ad un punto tale che, se venisse meno la luce elettrica la vita commerciale, sociale e culturale rimarrebbe virtualmente paralizzata. Prima della luce elettrica esistevano le lampade ad olio e le candele, ma i loro costi erano così elevati che la maggior parte delle attività svolte di notte erano antieconomiche. Ad es., il costo delle candele occorrenti per avere la stessa quantità di luce emessa da una moderna lampada fluorescente compatta, oggi spesso utilizzata nelle case, sarebbe 2000 volte maggiore in termini di consumo energetico. Perciò, per le classi più povere della popolazione, il fuoco domestico del camino era la sola sorgente di luce (fig. 1).

Storia delle sorgenti di luce

2.1 *Le lampade più antiche*

La prima luce artificiale è stata il fuoco, che inizialmente non fu utilizzato come sorgente di luce, ma per riscaldamento, protezione contro gli animali e per preparare il cibo (fig. 2). Solo quando furono inventate le torce fatte con rami di alberi resinosi, il fuoco è stato utilizzato come sorgente di luce.

2.2 *Lampade ad olio primitive*

Il più vecchio artefatto conosciuto utilizzato come sorgente di luce risale a circa 400.000 anni fa. Esso consisteva in pietre, corni e conchiglie, riempite



Fig. 1 – Una casa media prima del 19° secolo illuminata con una semplice fiamma ad olio in aggiunta alla luce del camino. L'uomo che sta entrando ha in mano una luce portatile



Fig. 2



Fig. 3 – Lampade ad olio antiche e dell'Impero Romano e della Grecia Classica

con grasso animale e poi con grasso vegetale o olio. In Europa, si utilizzava sia olio di oliva che di colza, perchè bruciavano senza fumo e in maniera uniforme. Poi fu aggiunto uno stoppino fatto di muschio o altre fibre vegetali.



Fig. 4. Lampada ad olio con stoppino di Argand (1784)

Nel 2600 a.C., esistevano lampade di alabastro a forma di conchiglia (fig. 3).

Questo tipo di lampada è stato usato in tutto il mondo, ed è rimasto immutato fino al 18° secolo (fig. 4).

2.3 *Candele e torce*

La candela, paragonata alla lampada ad olio, è relativamente più recente. Essa fu inventata dai romani dopo la nascita di Cristo. Le prime candele erano di grasso animale solido (sego) o di cera di api.

Le successive erano di qualità superiore, però più costose. Alla fine del 18° secolo, si ricercò un materiale di qualità ancora migliore de l sego, ma meno costoso della cera di api. Finalmente, nella seconda metà del 19° secolo, fu usata la paraffina nella costruzione delle candele (fig. 5 e 6), ancora oggi utilizzata.

2.4 *Successivi sviluppi della lampada ad olio*

La rivoluzione industriale spinse a ricercare nuove e tecnologie più economiche per illuminazione, il che diede origine, dal 1780 in poi, a miglioramenti delle lampade ad olio esistenti e a nuo-



Fig. 5 - "Gauguin's Chair", Van Gogh 1888



Fig. 6

ve invenzioni come le lampade a gas e, più tardi, quelle elettriche.

Per le lampade ad olio , era usato olio vegetale, che però era piuttosto appiccicoso e di costo elevato. Nel 1847, lo scozzese James Young creò il primo olio di paraffina. che sostituì velocemente l'olio vegetale.

In meno di un secolo, la lampada ad olio si trasformò da una sorgente di illuminazione primitiva in una sorgente di luce efficiente. Ad es., i tipi più grandi a singola fiamma, usati nelle chiese, scuole e aree pubbliche, avevano un'emissione luminosa di circa 2500 lumen, per ottenere la quale, oggi, occorrono quasi due lampade ad incandescenza da 100W. La disponibilità di un combustibile economico contribuì alla diffusione di tali lampade in tutti i livelli della società Vittoriana; anche la casa più modesta possedeva almeno una dozzina di lampade. Nel 1895 circa, lo sviluppo delle lampade ad olio terminò con la lampada ad olio di paraffina pressurizzata, e dotata di un "mantello" incandescente (fig. 7), realizzata da Welsbach.



Fig. 7 – Lampada ad olio di paraffina pressurizzata con mantello incandescente (1895)

L'esistenza del gas infiammabile era conosciuta da tempo; però fu solo nel 18° secolo che l'uomo tentò di utilizzarlo a suo beneficio. La prima esperienza con il gas utilizzato per illuminazione fu effettuata dal tedesco J. Minckelers, che nel 1783 sviluppò un sistema di illuminazione a gas di carbone per l'aula ove teneva lezione nell'Università di Louvain. La fig. 8 mostra un tipo di lampadario a gas molto popolare.

2.5 *Illuminazione a gas*

L'esistenza del gas infiammabile era conosciuta da tempo; però fu solo nel 18° secolo che l'uomo tentò di utilizzarlo a suo beneficio. La prima esperienza con il gas utilizzato per illuminazione fu effettuata dal tedesco J. Minckelers, che nel 1783 sviluppò un sistema di illuminazione a gas di carbone per l'aula ove teneva lezione nell'Università di Louvain. La fig. 8 mostra un tipo di lampadario a gas molto popolare. Il primo a sfruttare commercialmente il gas di carbone fu lo scoz-



Fig. 8. – Lampadario a gas di Argand (1809)



Fig. 9 – "The Night Cafè in the place la Martine", Van Gogh 1888

zese W. Murdock, che nel 1803 illuminò con successo il cantiere dei lavori a Soho della Compagnia Boulton and Watt dove egli lavorava.

Negli anni successivi, le applicazioni si moltiplicarono, con costi annuali di illuminazione ridotti ad 1/5 rispetto a quelli dei sistemi a candele.

L'idea di centralizzare la produzione di gas e distribuirlo alla città attraverso una rete di tubi fu di un intraprendente uomo d'affari tedesco che lavorava a Londra, F. A. Winzer. Costui, nel 1807, dopo una dimostrazione a Londra, formò la "Compagnia Nazionale della Luce e del calore", che nel 1812 diventò la maggior società di gas del mondo. La fig. 9 mostra un esempio di illuminazione a gas in un interno.

Lampade a gas a "mantello "

Un importante passo in avanti fu fatto nel 1887. Per circa 25 anni, un gruppo di inventori, fra i quali Thomas Alva Edison, effettuò numerosi tentativi per migliorare la luminosità della fiamma del gas utilizzando del materiale solido che la fiamma riscaldava fino all'incandescenza; di essi, solo lo scienziato austriaco Carl Auer von Welsbach ebbe successo, riuscì nell'intento utilizzando un tubo di tessuto, inzuppato in una miscela di sali di torio e cerio. Il tessuto bruciava lasciando una struttura fragile, ma resistente al calore, fatta dai materiali suddetti, a forma di mantello (fig. 10). In poco tempo, questa lampada diventò una valida alternativa alla lampada elettrica incandescente, ritardandone per molti anni l'espansione. Fu solo dopo la guerra del 1940-45 che l'illuminazione elettrica prese il sopravvento. Il gas era anche usato per illuminare veicoli, dalle biciclette ai vagoni ferroviari. Si utilizzava acetilene, che era prodotto mescolando acqua al carburo di calcio in un serbatoio speciale. I proprietari di case isolate potettero dotarsi di un proprio impianto a gas utilizzando lo stesso metodo per l'illuminazione degli edifici.



Fig. 10 – Lampada a gas a mantello (Auer, 1887)

2.6 *La lampada elettrica ad arco*

Alcuni tra i primi esperimenti con l'elettricità furono eseguiti utilizzando l'illuminazione come carico elettrico. Nel 1802, ad esempio, appena 2 anni dopo la rivoluzionaria scoperta di Alessandro Volta della pila, H. Davy, in Inghilterra, portò vari metalli all'incandescenza utilizzando la corrente elettrica. Nello stesso anno, egli scoprì anche il principio dell'arco elettrico, e nel 1808 ne fece una dimostrazione davanti alla Royal Institution di Londra (fig.11). Tuttavia, solo dopo il 1850, quando furono realizzati i primi generatori di energia elettrica, l'applicazione pratica dell'illuminazione elettrica diventò possibile. Lo sviluppo della lampada elettrica cominciò con la lampada ad arco di carbone, che divenne disponibile all'incirca nel 1850, ma i suoi miglioramenti continuarono fino al 1900, quando raggiunse quasi la perfezione.

A causa della sua forte intensità luminosa, questo tipo di lampada veniva impiegato in capannoni industriali, grandi negozi, stazioni ferroviarie e in altre grandi aree. Un problema era l'impossibilità di collegare più lampade in parallelo a una stessa alimentazione elettrica. Nonostante i progressi che si ottennero nel 19° secolo, la lampada ad arco restò una sorgente di luce costosa e ingombrante. Nel 1893, Jandus e Marks racchiusero l'arco elettrico in un'ampolla di vetro, con l'effetto di diminuire il consumo di carbone a circa 1/5 (fig.12). Parallelamente allo sviluppo delle lampade, si perfezionarono i sistemi di produzione e distribuzione dell'elettricità, il che facilitò la diffusione dell'illuminazione elettrica. La prima applicazione pratica della lampada ad arco fu nell'illuminazione di scene teatrali. Essa debuttò con successo alla prima dell'opera di Giacomo Meyerbeer, "Le Prophète", nel 1849 a Parigi, dove fu usata per simulare il sole; successivamente, fu utilizzata in tutte le opere e balletti dove erano necessari effetti luminosi. Nel 1858, fu utilizzata, per la prima volta, anche nel faro di South-Foreland, vicino a Dover, Inghilterra.

I tempi d'oro della lampada ad arco di carbone furono alla fine del XIX secolo , dopo di che venne superata dalla lampada elettrica ad incandescenza. Tuttavia, a Londra, in alcune strade, le lampade ad arco durarono fino ad 1950.



Fig. 11 – Humphry Davy mostra la luce ad arco alla Royal Institution di londra (1808)



Fig. 12 – Lampada ad arco di carbone chiusa

Con l'arrivo della lampada allo xeno ad arco corto nel 1951, la lampada ad arco di carbone cessò di essere utilizzata nelle applicazioni teatrali e simili.

2.7 Illuminazione pubblica

L'illuminazione pubblica iniziò dopo la metà del 17° secolo; fino ad allora, per illuminazione esterna, si ricorreva alle torce, o "fla mbeaux", cioè bastoni ricoperti di fibre immersi in resina, grasso o sebo. Esse erano portate da servi per illuminare la strada davanti alle carrozze dei loro padroni; ed anche per illuminare feste all'aperto.

Forse, il primo esempio di impianto fisso di illuminazione stradale con lanterne ad olio fu quello installato ad Amsterdam, nel 1669, ad opera dell'olandese Jan van der Heyden. Nei 50 anni seguenti, quasi tutte le città del vecchio mondo ebbero l'illuminazione stradale, sebbene in una scala molto ridotta rispetto ai giorni di oggi. Dal 1810 in poi, nelle città si sviluppò l'illuminazione a gas, per il basso costo del combustibile e della manutenzione. Ancora oggi, il gas è usato in certe strade, ma più per motivi estetici che per illuminazione. Un esempio, è l'impianto del camminamento che conduce a Castel dell'Ovo a Napoli. Anche a Berlino Est esistono ancora installazioni con lanterne a gas.

Nel 1844 si utilizzarono le lampade ad arco di carbone per illuminare Place de la Concorde, a Parigi. Dopo il 1878, tutte le piazze e strade principali di Parigi furono illuminate con queste sorgenti di luce, al punto che la città da allora fu chiamata "Ville Lumière". Dopo pochi anni, anche altre importanti città di Europa si dotarono di illuminazione pubblica. Nelle zone rurali, la lampada ad olio continuò ad essere usata fino al secolo scorso.

2.8 *La lampada ad incandescenza*
I predecessori

Lo sviluppo della lampada ad incandescenza iniziò nello stesso periodo della lampada ad arco di carbone. Tuttavia, i risultati iniziali non furono incoraggianti, tanto che per lungo tempo ancora furono preferite le lampade ad arco elettrico di carbone. Il primo a scoprire che una barretta di metallo o un filo di ferro diventavano incandescenti quando erano percorsi da una corrente elettrica fu, probabilmente, L. J. de Thenard nel 1801. Sir Humphry Davy, nel 1808, scoprì che, mentre la maggior parte dei materiali bruciavano rapidamente, il platino emetteva luce per un tempo considerevole. Nessuno vide la potenzialità di creare una sorgente di luce di tal fatta, anche perché a quel tempo le sorgenti di alimentazione elettrica non erano adeguate allo scopo. Tra il 1840 e il 1854, numerosi ricercatori condussero esperimenti con la luce elettrica ad incandescenza. In quegli anni, H. Goebel, un tedesco emigrato negli Stati Uniti, utilizzò per primo la luce ele ttrica ad incandescenza. Egli sigillò un filamento di bambù carbonizzato in bottigliette di profumo, che usò per illuminare la vetrina del suo negozio di orologi a New York. Goebel non riuscì a sviluppare la sua invenzione per la mancanza di una

sorgente di energia elettrica adeguata, però nel 1893 la priorità della sua invenzione su Edison fu riconosciuta da un tribunale .

La lampada a filamento di carbone

Alla fine del 1870, erano noti i problemi per costruire con successo una lampada ad incandescenza, ma non si riusciva a risolverli. Ad es., si sapeva che era necessario un materiale con elevata temperatura di fusione ed evaporazione.

Si sapeva anche che per ottenere una durata accettabile del filamento era necessario praticare il vuoto nell'ampolla, cosa che fu possibile solo successivamente. Nel 1879, il 21 ottobre, Thomas Alva Edison usò un filamento di cotone carbonizzato, con il quale accese con successo una lampada che funzionò per 40 ore (fig. 13).

Altri scienziati lavorarono allo stesso problema. Tra questi, Joseph Wilson Swan di Newcastle-on-Tyne, Inghilterra, che, dopo trent'anni di esperimenti, presentò, nel febbraio del 1879, una lampada incandescente alla Royal Society a Newcastle battendo così Edison di 6 mesi. Tanto Edison che Swan (fig. 14) sfruttarono la loro invenzione con successo (fig. 15).



Fig. 13 – L'esperimento di Edison con la prima lampada ad incandescenza a filamento di carbone



Fig. 14

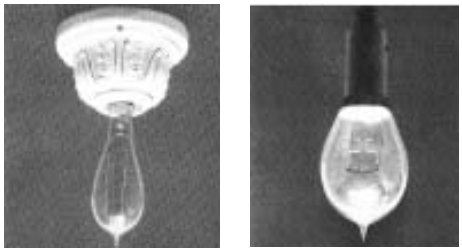


Fig. 15

Però la lampada a filamento di carbone era ancora lontana dall'essere ideale. L'efficienza era di circa 3 o 4 lm/W e la durata di un centinaio di ore (oggi, l'efficienza di una lampada ad incandescenza standard da 100W è di circa 15lm/W e la durata di 1000 ore). Nel 1891, Gerard Philips iniziò a produrre lampade a filamento di carbone a Eindhoven, Olanda. Fu la nascita di quella che sarebbe diventata una delle maggiori società di produzione di lampade elettriche nel mondo.

La lampada a filamento di tungsteno

Dopo alcuni anni si scoprì che il tungsteno aveva proprietà più favorevoli del cotone carbonizzato, in termini di durata e efficienza. La produzione commerciale delle lampade a filamento di tungsteno iniziò nel 1907. La luce emessa per ogni watt di potenza assorbita era

il doppio di quella del filamento di carbone, ma il problema era di ottenere dal metallo fili sottili di tungsteno. La società Siemens riuscì nell'intento, e nel 1910 produsse le lampade chiamate Wotan. Nel 1912, l'americano Irving Langmuir scoprì che l'evaporazione del filamento, e il conseguente annerimento del bulbo di vetro in cui era rinchiuso, si potevano diminuire sensibilmente riempiendo la lampada con un gas inerte. Le nuove lampade furono commercializzate nel 1913 ed ebbero un successo così grande che tutte le altre lampade uscirono dal mercato. Nel 1959, gli americani E.G. Zubler e F.A. Mosby aggiunsero al gas una piccola quantità di alogeno (normalmente bromo o iodo) , ottenendo le lampade ad alogeni, che presentano un triplice vantaggio : una più lunga vita della lampada, una maggiore efficienza luminosa, che raggiunse il valore di circa 20lm/W, e un ridotto annerimento del bulbo.

2.9 *Lampade a scarica in gas*
Lampade fluorescenti

Da 1924 in poi, in diverse parti del mondo, i produttori di lampade lavorarono per creare una lampada a scarica nei vapori di mercurio a bassa pressione. Nel 1935 apparve la 1ª lampada fluorescente tubolare. Con la 2ª Guerra Mondiale, la produzione di lampade fluorescenti in Europa si interruppe e riprese nel 1945. Le prime lampade fluorescenti avevano un'efficienza di 30lm/W e modeste qualità cromatiche, nel senso che il colore della luce emessa e il modo con cui questa "rendeva" i colori degli oggetti non erano soddisfacenti. Nel 1946, furono realizzate lampade con efficienza doppia. Nel 1973, l'efficienza aumentò del 50%, e anche le qualità cromatiche migliorarono. Uno sviluppo importante si ebbe nel 1980, con l'introduzione delle lampade fluorescenti compatte, dette anche a risparmio energetico.

Lampade a vapori di mercurio ad alta pressione

La 1ª lampada a vapori di mercurio ad alta pressione apparve nel 1906, ma tali lampade non hanno mai avuto grande successo a causa della loro modesta efficienza luminosa e delle scarse qualità cromatiche. Nel 1961, fu inventata la lampada a vapori di mercurio ad alta pressione con l'aggiunta di alogeni, dando luogo alle lampade a vapori di alogenuri, commercializzate nel 1964, caratterizzate da elevata efficienza e buone qualità cromatiche.

Lampade a vapori di sodio

Le prime lampade a vapori di sodio, apparse nel 1931, furono del tipo a bassa pressione. Ma la loro resa del colore era (ed è) praticamente nulla. Perciò, nel 1964, apparvero lampade al sodio ad alta pressione, caratterizzate da una discreta resa del colore, ma da una minore efficienza luminosa, oggi fino a 150lm/W. Le prime, come le seconde, sono prevalentemente impiegate nella pubblica illuminazione, oltre che nell'illuminazione di capannoni
industriali (le seconde). L'efficienza di tali sorgenti è aumentata dagli iniziali





Fig. 16 - Fibre ottiche utilizzabili nei musei
Fig. 17 - LED (light Emitting Diodes)

50lm/W nel 1931 ai 200lm/W di oggi. Di recente, sono state introdotti sul mercato nuovi tipi di sorgenti luminose. Tra questi, le fibre ottiche, utilizzabili anche nei musei per illuminare bacheche e piccoli dipinti (fig.16). Ancora più recentemente, sono apparse sul mercato lampade a LED (Light Emitting Diodes) (fig. 17), utilizzate sia per la segnaletica luminosa (semafori, delineatori di margini stradali, etc.) sia come vere e proprie lampade per illuminazione generale .

3 *Storia della fotometria*

Il fondamento scientifico della tecnologia illuminotecnica è la fotometria, vale a dire la misura quantitativa della luce. Essa fu fondata nel 1760 da due scienziati. Il primo, Pierre Bouguer, nel suo lavoro "Traité d'Optique ", descrisse numerosi metodi per paragonare la luminosità di differenti sorgenti di luce utilizzando la ormai conosciuta legge dell'inverso del quadrato della distanza, secondo la quale l'intensità luminosa di una sorgente di luce è inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra la sorgente e l'osservatore.

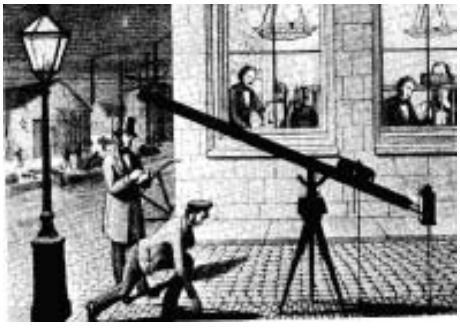


Fig. 18 – Fotometro visivo di Bunsen (1843)

Il secondo, Johann Heinrich Lambert, nel suo lavoro "Photometria", seguì una via più teorica. Oltre ad indicare un metodo per comparare la luminosità delle sorgenti di luce, formulò la legge del coseno, secondo la quale la quantità di luce emessa da una superficie perfettamente diffondente in una data direzione è proporzionale al coseno dell'angolo che la direzione forma con la perpendicolare alla superficie. L'esattezza dei metodi sopra detti per confrontare le intensità luminose dipendeva dall'abilità dell'occhio umano a distinguere i contrasti di luminosità. Bunsen, nel 1843, creò un fotometro molto preciso, utilizzato anche, come mostra la fig, 18, per misurare l'emissione luminosa di una lanterna stradale a gas. I primi fotometri elettrici, basati sulle proprietà fotoelettriche del selenio, apparvero nel 1875. Un altro problema da risolvere era quello di trovare un campione riproducibile di intensità luminosa. Dopo vari standard più o meno soddisfacenti (candele, tipi di fiamma, etc.), nel 1889 il Congresso Internazionale Elettrico a Parigi adottò uno standard completamente nuovo, basato sull'emissione di luce del platino liquido, e nel 1909 fu stabilita la "candela internazionale".

Finalmente, nel 1979, fu formulata una nuova definizione di candela basata sulla emissione luminosa associata alla radiazione monocromatica avente lunghezza d'onda nel vuoto pari a 555nm (la lunghezza d'onda di massima sensibilità dell'occhio umano) e potenza pari a 1/683 W/sr.

5. *L'ingegneria illuminotecnica*

Con l'introduzione dell'illuminazione elettrica, la dipendenza dell'uomo da quest'ultima è andata via via aumentando. Oggi, non vi è praticamente alcuna attività umana diurna che non sia stata estesa alle ore notturne.

Ciò pone problemi di sicurezza e salute che richiedono attenzione alla qualità della luce in relazione al tipo di attività, anche perché recenti ricerche hanno mostrato che la luce ha anche importanti e numerosi effetti biologici, fra i quali quelli sulla secrezione di ormoni, sul sistema immunitario, sullo stato d'animo, sull'osteoporosi ed altri ancora. Di tali effetti occorrerebbe tener conto nella progettazione dell'illuminazione nei luoghi di vita e di lavoro. L'argomento sarà approfondito in una nota successiva.

Conclusione

Sin dall'antichità, l'umanità è stata dipendente dall'illuminazione artificiale, ma solo negli ultimi 100 anni l'ingegneria illuminotecnica si è sviluppata tumultuosamente, fino ad evolversi in quella che è oggi: una scienza multidisciplinare, a servizio del benessere, dell'efficienza e della sicurezza dell'uomo. La sfida è di farlo a costi economici energetici e ambientali i minori possibili.

Sergio Poretti

L'ingegneria e la "scomparsa delle lucciole"

La storiografia sull'ingegneria strutturale moderna è in grande ritardo. C'è stata è vero una prima collocazione delle principali opere nel quadro unitario del movimento moderno, insieme alle architetture. Anzi, ad alcune di esse (i ponti di Eiffel o quelli di Maillart, per esempio) è stato attribuito un notevole rilievo. Ma si è trattato di letture esterne. Quella che stenta invece a decollare è una storia specialistica delle strutture, che si basi sulla individuazione dei caratteri intrinseci delle opere, analizzando le scelte progettuali in stretto rapporto con gli sviluppi della meccanica. Un'indagine che, nel ricostruire la genesi dell'opera, pur basandosi sulla sua natura architettonica, tenga anche conto del carattere scientifico della progettazione. Intendiamoci: non che il ritardo su questi approfondimenti stupisca più di tanto. Un lavoro di questo tipo richiede di traversare nei due sensi i territori della storia della scienza e della storia dell'architettura. Ora: chi è in grado di farlo? Lo storico dell'architettura dovrebbe prima acquisire dimestichezza con la meccanica delle strutture; l'ingegnere dovrebbe superare la sua fisiologica idiosincrasia verso la storia.

A provare la gravità di tale ritardo permane una lacuna ormai inaccettabile: il periodo più esaltante dell'ingegneria italiana, quello in cui, nel passaggio dalla ricostruzione al miracolo economico, si realizzano le originali strutture 'italian style' attende ancora una ricostruzione storica adeguata.

È l'argomento che mi propongo comunque di affrontare, riflettendo intorno ai quesiti ancora aperti: come si collocano le grandi opere dell'ingegneria italiana nel processo che dalla ricostruzione postbellica porta il Paese al miracolo economico? Quali sono (e dove hanno origine) i caratteri che ne determinano la singolarità e la qualità? Come si spiega il fatto che a quel periodo straordinario è seguita in Italia l'eclissi totale delle opere strutturali d'autore? Per le prime due domande facciamo riferimento ai pochissimi studi (specifici) sull'argomento[1]; sulla terza ci illumina una bella metafora di Pasolini: la "scomparsa delle lucciole".

La breve parabola che porta l'ingegneria strutturale italiana al centro dell'attenzione internazionale si svolge nell'arco di circa quindici anni tra il '48 e il '64. Nel 1948 Nervi realizza il salone B a Torino Esposizioni in cui vengono sfruttate le straordinarie potenzialità di un nuovo modo di costruire in cemento armato, basato sulle invenzioni del ferrocemento e della "prefabbricazione strutturale". È il sistema che, ulteriormente perfezionato, consentirà allo stesso ingegnere di realizzare le straordinarie strutture per le Olimpiadi romane. Sempre nel 1960 Morandi progetta il

viadotto sul Polcevera in cui lo schema strallato, già testato nel lungo ponte sulla laguna di Maracaibo, viene concepito come un omogeneo sistema interamente in cemento armato precompresso (compresi gli stralli!). L'anno dopo, all'esposizione di Torino '61 per le celebrazioni unitarie, si inaugurano il Palazzo del lavoro, ancora di Nervi, e la Vela di Franco Levi, ad ulteriore dimostrazione che la grande struttura italiana ha assunto ormai una propria identità. Intanto, negli stessi anni, tra il '56 e il '64, si costruisce l'Autostrada del Sole con i suoi quattrocento ponti, progettati, ad uno ad uno, oltre che dagli ingegneri famosi, anche da uno stuolo di professionisti di alto livello. E' emersa una scuola italiana di ingegneria, che trova pieno riconoscimento nella mostra "Twentieth Century Engineering" allestita al MOMA di New York nel 1964.

L'exploit dell'ingegneria avviene nello stesso periodo in cui il Paese, mentre faticosamente procede nella ricostruzione, viene improvvisamente investito dal 'miracolo economico'. Dopo una graduale ripresa negli anni cinquanta, infatti, nel giro di un lustro, tra il '58 e il '63, l'Italia esce dalla condizione agricola ed entra direttamente nel novero dei paesi più industrializzati. Le condizioni economiche e il tenore di vita crescono in misura straordinaria.

Il prodotto interno lordo aumenta come mai in precedenza nella storia



Fig. 1 – Pier Luigi Nervi, Palazzetto dello Sport a Roma, 1956-57 Fig. 2 - Il cantiere di costruzione del Palazzetto dello Sport a Roma, 1956-57

dello Stato unitario. La produzione industriale raddoppia. Si moltiplica il consumo di carne; migliora la dotazione di impianti nelle case; aumentano le presenze negli alberghi; per non parlare della diffusione delle automobili e degli elettrodomestici.

Nel repentino sviluppo industriale del Paese l'edilizia svolge un ruolo affatto particolare: da un lato la crescita generale innesca anche il boom edilizio; dall'altro, il ruolo che viene affidato al settore delle costruzioni nello sviluppo impone il congelamento del suo livello tecnico.

Uno dei fattori fondamentali su cui si basa il fenomeno spontaneo del 'miracolo', infatti, è il bassissimo costo del lavoro, che rende il prodotto italiano competitivo sui mercati internazionali. Per il mantenimento di questo fattore è essenziale la funzione di transito che svolge il cantiere edile, assorbendo la forza lavoro (non specializzata) che migra dall'agricoltura all'industria, dalla campagna alla città, dal sud al nord. Insomma: per svolgere il ruolo di supporto allo sviluppo industriale accelerato, l'edilizia, pur espandendosi, deve ulteriormente protrarre il ritardo tecnologico già accumulato nella fasi precedenti della modernizzazione, durante l'autarchia e durante la guerra.

La necessità dell'arretratezza del settore riguarda soprattutto l'edilizia corrente. Qui è l'orientamento ultraliberista della politica edilizia e urbana, con il limitatissimo intervento pubblico nell'abitazione e con la totale assenza di pianificazione e programmazione, a creare le condizioni per cui l'impresa privata reinveste, anziché nell'innovazione tecnica, nell'acquisto di beni immobiliari e soprattutto fondiari. E d'altra parte anche nell'unico intervento di edilizia pubblica, il Piano Fanfani per l'Ina Casa, per garantire l'obiettivo prioritario dell'incremento dell'occupazione operaia, si vieta esplicitamente l'innovazione tecnica.

Ma lo stesso fine della massiccia occupazione di mano d'opera a bassa specializzazione riguarda anche le grandi infrastrutture. È vero che nel settore stradale lo stato interviene in modo autorevole, varando piani imponenti. E lo fa sia per sostenere il rapido sviluppo dell'industria automobilistica, sia più in generale per fornire il supporto infrastrutturale all'impennata spontanea dello sviluppo industriale negli anni del miracolo. Ma anche in questo settore si evita di favorire concentrazioni imprenditoriali (all'interno delle quali si innescherebbe un progresso tecnico), come dimostra la frammentazione in piccoli lotti degli appalti per la costruzione del-



Fig. 2 - Il cantiere di costruzione del Palazzetto dello Sport a Roma, 1956-57

l'Autostrada del Sole. Il ruolo che l'edilizia svolge nella dinamica dello sviluppo indica un primo elemento di continuità tra l'immediato dopoguerra e il periodo autarchico: l'invarianza del cantiere a bassa meccanizzazione e alto impiego di mano d'opera. Anche nelle fasi precedenti, infatti, (e per motivazioni in molti casi analoghe) nella modernizzazione italiana si è puntualmente assegnato al settore edilizio un ruolo prioritariamente occupazionale. E tale strategia ha comportato l'accumulazione di un ritardo tecnologico.

Nell'edilizia corrente, il protrarsi del cantiere artigianale determina un rinvio nell'adozione dei sistemi di prefabbricazione, che costituiscono la tecnologia radicalmente nuova con cui negli altri Paesi si fronteggiano le urgenze della ricostruzione.

Nelle grandi strutture le ripercussioni della persistente artigianalità del cantiere sono più articolate. La prima conseguenza è la conferma dell'egemonia del cemento armato e l'esclusione della struttura metallica (scelta niente affatto ovvia, se si considera che uno dei volani del miracolo economico è proprio il rilancio della siderurgia).

Questa opzione, anziché stimolare la riproposizione delle strutture anonime realizzate (con pochissime eccezioni) negli anni trenta, favorisce il collegamento con una sotterranea linea di sperimentazione su versioni evolute del cemento armato che, nonostante l'impedimento applicativo, l'ingegneria ita-



Fig. 3 – Riccardo Morandi, Viadotto sul Polcevera a Genova, 1960-67

liana ha tenuto ben viva durante l'autarchia e la guerra. E' un percorso lungo, iniziato nei primi anni del secolo, che ha coinvolto, in un'azione convergente, sia l'ala più scientifica sia quella più tecnica della meccanica delle strutture. Su entrambi i fronti, da un lato partendo dalle difficoltà di applicare la teoria elastica classica ad un materiale eterogeneo e anisotropo come il cemento armato, dall'altro muovendo dai paradossi reologici generati dalla diversa natura dei due materiali (le fessurazioni del calcestruzzo in zona tesa, innanzitutto) si sono privilegiati gli studi sul comportamento del cemento armato in fase plastica, le indagini sul comportamento a rottura, le osservazioni sugli effetti di stati di coazione impressi.

La collaborazione di tecnici e scienziati ha portato, alla metà degli anni trenta, l'ingegneria italiana ad inserirsi nei due filoni in cui si incanala, anche a livello internazionale, lo sviluppo delle grandi strutture in cemento armato: la precompressione; le volte sottili resistenti per forma. Adesso a queste linee, rimaste prima della guerra allo stadio della ricerca teorica e della sperimentazione, si offre finalmente una vasto campo di applicazione.

Così, da un lato, l'azione tenace di Gustavo Colonnetti (autore di studi fondamentali sulla statica dei corpi elastoplastici, divulgatore delle esperienze straniere sulla precompressione, titolare di due brevetti sulle "travi con armatura preventivamente tesa" depositati nel '39, animatore durante l'occupazione nazista nel campo d'internamento universitario di Losanna di corsi specifici sulla nuova tecnica, e dopo la liberazione promotore come Presidente del CNR del Centro studi sugli stati di coazione elastica) conduce infine al grande sviluppo delle strutture in cemento armato precompresso. Le quali, con il contributo di altri teorici speri-



Fig. 4 – Riccardo Morandi, Viadotto sul Polcevera a Genova, 1960-67



Fig. 5 – Silvano Zorzi, Ponte sull'Arno per l'Autostrada del Sole presso Incisa, 1962-62



Fig. 6 – Sergio Musumeci, Ponte sul Basento a Potenza, 1967-76

mentatori, come Franco Levi, di teorici progettisti come Carlo Cestelli Guidi, di progettisti specialisti come Giuseppe Rinaldi, Silvano Zorzi e lo stesso Morandi, trovano il banco di prova ideale negli innumerevoli ponti e viadotti delle autostrade. Contemporaneamente, la sperimentazione instancabile di Nervi (inventore del ferrocemento, ideale per confezionare strutture sottili con un comportamento omogeneo ed isotropo, ideatore di un ingegnoso procedimento di costruzione basato sulla prefabbricazione in cantiere di piccoli casseri a perdere saldati con un getto in opera) grazie anche al contributo non secondario del teorico Arturo Danusso e del suo laboratorio di prove su modelli, approda alle estese superfici minutamente corrugate (o ondulate, o nervate) del salone B o dei Palazzi sportivi romani, nei quali si riconosce una personalissima interpretazione del tema strutturale della volta sottile.

Vista con questa prospettiva, la straordinaria produzione dell'ingegneria italiana non appare come il risultato di una svolta innovativa, ma come il frutto maturo di una duplice continuità con i decenni dell'autarchia: una continuità conservativa, relativa ai modi di costruire del cantiere artigianale; una continuità evolutiva, nello sviluppo delle linee sperimentali sulle strutture in cemento armato, avviate fin dall'inizio del secolo.



Fig. 7 – Silvano Zorzi, Ponte sul Tevere per la metropolitana a Roma, 1964-72

Come si riflette tale doppia radice indigena dell'ingegneria italiana sui caratteri delle opere? Da essa deriva il tratto su cui l'ingegneria 'italian style' basa la sua inconfondibile identità: il contrasto tra lo stadio avanzato delle teorie strutturali e il carattere artigianale del cantiere del cemento armato. E' una dualità interna, che si ritrova in tutte le opere più tipiche, ma con differenti intonazioni.

Nelle grandi coperture di Nervi il livello elevato raggiunto dall'ingegneria italiana si rispecchia nella raffinatezza delle strutture geometricamente complesse ed altamente iperstatiche, da cui derivano gli spessori sottilissimi rispetto alle ampie luci. Nello stesso tempo, la minuta increspatura che segna l'intradosso di volte e cupole rispecchia il modo di costruire che Nervi ha messo a punto: un sistema geniale per cui la forma, che sembra uscita da un colossale stampo, è in realtà ottenuta con un assemblaggio a mano che si riallaccia alla grande tradizione italiana delle cupole a conci.

Nell'opera di Morandi il dualismo tra modernità e tradizionalismo si riflette nella strategia progettuale per cui gli schemi più evoluti della costruzione metallica (la trave bilanciata, il sistema strallato…) sono reinterpretati con la tecnica del cemento armato 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.

Ma l'opera in cui il connubio tra scientificità e artigianalità trova l'esempio più emblematico è il capolavoro di Sergio Musmeci, il ponte sul Basento. Apparentemente fantasiosa, la forma deriva, al contrario, dalla determinazione matematica (e sperimentale) della superficie minimale (minima estensione, ma anche spessori ridotti e dunque massima leggerezza). Ma la sua realizzazione, in un cantiere esasperatamente tradizionale, impone nello sviluppo esecutivo aggiustamenti e ritocchi tali per cui, paradossalmente, la superficie costruita, pur senza perdere la sua originalità, finisce per assumere la corposità massiccia dell'opera muraria.

Ricapitolando: nel passaggio dalla ricostruzione al miracolo economico il cantiere conserva il suo carattere artigianale; nello stesso periodo l'intervento pubblico (con l'eccezione dell'Ina Casa) si concentra sulla realizzazione di grandi infrastrutture; nella realizzazione di tali opere l'ingegneria italiana emerge all'attenzione internazionale con una propria inconfondibile identità; l'origine di tale identità si riscontra, oltre che nella arretratezza del cantiere, in una linea di sperimentazione scientifica e tecnologica sul cemento armato che, rimasta a lungo inapplicata, trova finalmente sbocco; la doppia eredità del ritardo tecnologico e del livello scientifico avanzato si riflette all'interno delle opere nel contrasto tra soluzioni strutturali sofisticate e semplicità del modo di costruire; tale contrasto diviene il tratto distintivo della struttura 'italian style'.

Ma il periodo aureo dell'ingegneria italiana finisce, bruscamente, insieme con il miracolo economico. Negli anni successivi, già nel completamento della rete autostradale, i ponti e i viadotti perdono la loro identità. E si tratta di una svolta irreversibile, giacché negli anni successivi sarà impossibile ritrovare la figura del progettista strutturale.

Sulle ragioni di questa estinzione può risultare illuminante la (personalissima) lettura di quel periodo della storia italiana che dava Pasolini dieci anni dopo in una serie di interventi giornalistici e in particolare nel famoso articolo sul Corriere della Sera del primo febbraio 1975[2]. Mentre la storiografia ufficiale aveva identificato il cambiamento del Paese nel passaggio dalla dittatura alla democrazia e aveva individuato le cause dell'inversione di tendenza dopo il boom economico nei forti squilibri che lo sviluppo troppo rapido aveva provocato (squilibri geografici, emigrazione crescente, distruzione del territorio e sacco delle città, abusivismo sfrenato), Pasolini vedeva (e si sforzava di mostrare) una sostanziale continuità tra l'immediato dopoguerra e il periodo precedente e collocava la svolta profonda, radicale delle condizioni di vita degli italiani (da lui considerata come una tragica perdita) non in coincidenza con la guerra, ma alla fine del

miracolo economico, nel 1964. Questo era il passaggio in cui, con l'instaurazione di un nuovo regime consumistico, era stata definitivamente cancellata quella identità culturale e umana che in Italia (per una serie di fortunati anacronismi) si era conservata nel processo di modernizzazione, prima durante il fascismo e ancora subito dopo la guerra. Adesso, con la globale omologazione interclassista il patrimonio culturale (nel senso antropologico) custodito nelle classi subalterne (il mondo contadino, il sottoproletariato urbano, il proletariato protoindustriale), veniva spazzato via d'un colpo.

Una singolare analogia (non solo cronologica) si instaura tra la lettura pasoliniana e l'evoluzione dell'ingegneria. Infatti, se è vero che la prerogativa del progettista italiano di strutture (e il segreto della sua originalità e del suo successo) era la capacità di coniugare la tradizione scientifica avanzata con la storica arretratezza del cantiere, se è vero che il durare di questa artigianalità nel periodo del miracolo economico era un anacronismo dovuto alle singolarità della modernizzazione italiana, se è vero, insomma, che il progettista strutturale era l'epigono di un'epoca che si stava concludendo e non l'iniziatore di una nuova, allora si può supporre che tale figura di scienziato-artigiano, con l'omologazione tecnologica intervenuta dopo il miracolo economico, sia stata una delle vittime coinvolte nel genocidio denunciato da Pasolini.

Questi descrive così il fenomeno: "Nei primi anni sessanta, a causa dell'inquinamento dell'aria, e, soprattutto, in campagna, a causa dell'inquinamento dell'acqua (gli azzurri fiumi e le rogge trasparenti) sono cominciate a scomparire le lucciole. Il fenomeno è stato fulmineo e folgorante. Dopo pochi anni le lucciole non c'erano più. (Sono ora un ricordo, abbastanza straziante, del passato: e un uomo anziano che abbia un tale ricordo, non può riconoscere nei nuovi giovani se stesso giovane, e dunque non può più avere i bei rimpianti di una volta). Quel «qualcosa» che è accaduto una decina di anni fa lo chiamerò dunque «scomparsa delle lucciole»".

[1]Tra questi si ricordano alcuni prodotti del gruppo di ricerca dell'Università di Tor Vergata: S. Poretti, *La costruzione*, in *Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, a cura di F. Dal Co, Milano, Electa, 1997, pp. 268-293; T. IORI, *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Roma, Edil-stampa, 2001; S. Poretti, *Storicità dell'ingegneria strutturale*, «Area», 57, luglio/agosto 2001, pp. 2-3; T. Iori, *Un sogno lungo tre chilometri. La lunga storia del ponte sullo Stretto di Messina*, «Area», 59, novembre/ dicembre 2001, pp. 6-19; T. Iori, S. Poretti, *Pier Luigi Nervi's works for the 1960 Rome Olympics*, Atti del IV Congresso nazionale di "Historia de la construcción", Edicion Santiago Huerta, Madrid, 2005, pp. 605-614; T. Iori, *L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia*, in *Teoria e Pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli*, a cura di G. Mochi, vol. 2, Ravenna, 2005, pp. 763-772; S. Poretti, *Un tempo felice dell'ingegneria italiana. Le grandi opere struttu-*

rali dalla ricostruzione al miracolo economico, «Casabella», 739-740, 2005-2006, pp. 6-11; R. Capomolla, *Il ponte sul Basento, ovvero l'invenzione di una forma "ancora senza nome"*, ivi, pp. 12-19; T. Iori *L'ultimo ponte sul Tevere*, ivi, pp. 20-25; M. Marandola, *Il viadotto sul Polcevera. Un volteggio sulla città*, ivi, pp. 26-35.

[2]P.P. Pasolini, *Il vuoto del potere in Italia*, «Corriere della Sera», 1 febbraio 1975, ora in P.P. Pasolini, *Scritti corsari*, Garzanti, Milano, 1975.

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Aldo G. Ricci

Le fonti dell'Archivio Centrale dello Stato per la Storia dell'Ingegneria

La stessa natura istituzionale dell'Archivio centrale dello Stato ne fa la sede privilegiata per le ricerche dall'Unità ai giorni nostri in tutti i settori della storia nazionale, e quindi anche per la storia dell'ingegneria, in tutti i suoi aspetti: tecnici, professionali, operativi, e in tutte le sue specializzazioni dall'edilizia alle costruzioni navali, dall'aeronautica all'idraulica, senza tralasciare l'insegnamento universitario, i brevetti e così via.

L'Archivio centrale dello Stato ha infatti il compito di conservare e valorizzare, sotto il profilo culturale, i documenti di rilevanza storica non più necessari ai fini amministrativi, prodotti dagli organi centrali dello Stato (Presidenza del consiglio dei ministri, Ministeri, organi consultivi e giurisdizionali), a eccezione dei complessi documentari della Presidenza della Repubblica, del Parlamento, del Ministero degli affari esteri e di quello della difesa, che vengono, invece, conservati dagli stessi organi produttori nei propri archivi storici.

L'Archivio Centrale dello Stato è quindi l'equivalente italiano, con le proprie specificità, dei grandi archivi nazionali esistenti presso i Paesi con tradizioni storiche simili: dalle Archives Nationales francesi ai National Archives di Washington, dal Bundes Archiv tedesco al Public Record Office di Londra. Per la sua natura istituzionale, l'Archivio centrale dello Stato rappresenta quindi, da oltre mezzo secolo, il punto di riferimento obbligato per le ricerche sulla storia unitaria del nostro Paese, come testimoniano le migliaia di pubblicazioni, che hanno utilizzato i fondi archivistici conservate nella biblioteca.

Questi cenni generali sui compiti istituzionali dell'Archivio centrale dello Stato e sui fondi archivistici che conserva suggeriscono già implicitamente la tipologia di questa documentazione e quindi anche quella che può esservi reperita per le ricerche di storia dell'ingegneria.

Passando a una rassegna puntuale delle diverse serie, conviene prendere l'avvio da quei ministeri che hanno compiti istituzionali direttamente pertinenti il nostro settore di ricerca, per passare poi a quelli presso i quali tali compiti hanno rilevanza settoriale e concludere infine con le serie archivistiche relative a enti o privati. Per ogni fondo vengono descritte le competenze e la tipologia della documentazione. Inoltre vengono forniti i suoi estremi cronologici e i dati quantitativi.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI
CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI, 1816-1899, voll. 117, bb. 600

Il Consiglio deliberava sia collettivamente (Consiglio Generale) - per progetti di massima e per grandi opere - sia per Sezioni: queste erano inizialmente tre (con successive oscillazioni nel numero fino a cinque) e riguardavano l'edilizia, i ponti e le strade (I), le opere idrauliche (II), le ferrovie (III).
Si conservano i Registri dei verbali e pareri (1816-1867) e le serie relative sia alle sezioni del Consiglio che al Consiglio in adunanza generale: queste contengono, oltre ai pareri, anche relazioni sui progetti (1863-1899). Non sono invece inclusi allegati grafici.

CORPO REALE DEL GENIO CIVILE
Miscellanea (1850-1870)

Si tratta per la maggior parte di progetti (registri e materiale grafico) riguardanti la costruzione di strade nelle province dell'ex Regno sardo.

DIREZIONE GENERALE PONTI ACQUE E STRADE
Strade Nazionali, 1848-1871, bb. 485

DIREZIONE GENERALE PONTI E STRADE
Strade Nazionali, 1885-1902, bb. 178

Le attribuzioni della Direzione erano: studi e formazione di progetti, lavori di costruzione, adattamento e conservazione delle strade e di tutte le opere necessarie per l'attraversamento dei fiumi e torrenti. L'esercizio di tali attribuzioni era affidato dal lato tecnico agli ingegneri del Corpo reale del Genio civile. I fascicoli riguardano i diversi lavori (costruzione di nuovi tronchi di strade, lavori di manutenzione, costruzione o ricostruzione di ponti) e sono ordinati per provincia.

La documentazione comprende: carteggio amministrativo e contabile, relazioni sui lavori, certificati di collaudo, preventivi di spesa, rendiconti, computi metrici, materiale grafico relativo ai progetti (planimetrie, profili longitudinali, sezioni trasversali ecc.).

DIREZIONE GENERALE PONTI ACQUE E STRADE
- *Strade provinciali comunali e consortili, edifici demaniali, 1844-1869, bb. 95*

Interessa l'oggetto della ricerca solo la documentazione riguardante le strade comunali e provinciali (nel suo complesso la serie riguarda anche i piani di ampliamento e abbellimento degli abitati e i fabbricati pubblici): lavori di apertura, costruzione e manutenzione di strade provinciali, comunali e consortili comprese le opere relative all'attraversamento dei corsi d'acqua. Per la tipologia documentaria cfr. le serie delle *Strade Nazionali*.
- *Acque, 1840-1871, bb. 492*

Le competenze sul regime delle acque riguardavano i progetti e le opere di costruzione e conservazione dei canali demaniali, il regime dei fiumi, torrenti, laghi, canali, la difesa delle sponde, le opere di arginamento dei fiumi, la derivazioni di acque pubbliche.

I fascicoli relativi ai singoli affari e lavori sono organizzati per categorie generali secondo la provincia e il dipartimento fluviale. La documentazione, di

carattere amministrativo e tecnico, comprende materiale grafico.

- Porti e fari, 1830-1870, bb. 206

La Direzione generale ha ereditato per le province sarde i precedenti relativi al periodo preunitario.

La documentazione riguarda le opere di costruzione e manutenzione dei porti, dei fari e delle spiagge: scavi di bacini, canali di smaltimento, costruzione di argini, moli, darsene, scogliere artificiali, costruzione e manutenzione dei fari. I fascicoli riguardano singoli lavori e progetti e sono ordinati secondo i porti e la provincia di appartenenza.

La tipologia della documentazione è relativa a: carteggio amministrativo e contabile, relazioni degli ingegneri del Genio Civile, ispezioni, capitolati di appalto, relazioni di collaudo, progetti dei lavori e materiale grafico (piante dei porti, disegni di dettaglio relativi alle opere, profili e sezioni).

UFFICIO STRALCIO DEGLI ARCHIVI DEI LAVORI PUBBLICI (NAPOLI)

Archivio generale (Strade nazionali, Porti e fari, Opere comunali e provinciali, Affari generali), 1840-1865, bb. 314

La Direzione generale dei lavori pubblici di Napoli funzionò transitoriamente nelle province dell'ex Regno borbonico subito dopo l'Unità fino al 1863, quando le competenze esercitate rientrarono nell'ambito della Direzione generale ponti acque e strade, alle cui serie si rimanda per la descrizione del tipo di documentazione.

Si segnala la categoria E degli Affari generali riguardante il personale tecnico del Genio Civile (dove sono tra l'altro classificati 195 fascicoli personali degli ingegneri).

DIREZIONE GENERALE OPERE IDRAULICHE

Porti e opere idrauliche, 1872-1903, bb. 947

Costituita nel 1871, la Direzione generale delle opere idrauliche riunisce le competenze relative al regime delle acque (come la tenuta dei canali demaniali, l'irrigazione, la distribuzione delle acque pubbliche, la bonifica delle paludi) e alle opere marittime (porti, fari e spiagge). In questa serie la documentazione è della stessa tipologia di quella contenuta nelle precedenti serie delle *Acque* e dei *Porti e fari* della Direzione generale ponti acque e strade. La materia risulta frantumata in fascicoli (riconducibili alla provincia di pertinenza, ma non ordinati) relativi ai singoli affari, che possono essere di carattere più o meno tecnico o amministrativo.

Bonifiche, Prima serie, 1823-1870, bb. 158 e Seconda serie, 1823-1900, bb. 187

Le carte preunitarie sono relative esclusivamente al Regno delle Due Sicilie. La documentazione riguarda in massima parte le province meridionali, oltre qualche provincia del centro-nord, e nel suo complesso comprende: studi e progetti, lavori di rettificazione e inalveamento dei fiumi, prosciugamenti, perizie e collaudi, lavori di riparazione alle sponde, canalizzazioni, strade, rapporti

con le imprese, indennizzi, contenzioso sull'utilizzo delle acque.

DIREZIONE GENERALE EDILIZIA E PORTI

Divisione V

- Opere edilizie e governative per Roma, 1871-1916, bb. 238

Sistemazione del Tevere, costruzione del Policlinico, Monumento a Vittorio Emanuele, Palazzo di giustizia.

Lavori diversi appaltati alle imprese, fornitura di materiali, progetti e materiale grafico.

- Monumento a Vittorio Emanuele, Palazzo del Parlamento, Palazzo di giustizia, 1877-1922, bb.173

Monumento a Vittorio Emanuele, Palazzo del Parlamento, sistemazioni urbanistiche diverse, 1871-1928, bb. 87

Lavori diversi appaltati alle imprese, fornitura di materiali, progetti e materiale grafico.

DIREZIONE GENERALE VIABILITA' E PORTI

- Progetti stradali, 1914-1939, bb. 15

Progetti di sistemazione di strade ex militari e di apertura e costruzione di nuove strade ad opera degli Uffici provinciali del Genio Civile (Italia settentrionale). I progetti comprendono: relazione tecnica, materiale grafico (planimetria, corografia, disegni delle opere d'arte), computi metrici.

- Porti, 1903-1938, bb. 44

Progetti ad opera del Corpo Reale del Genio Civile nei porti di varie province: nuovi porti, scavo di bacini, costruzioni di moli ecc.

Carteggio, relazioni tecniche, perizie, computi metrici, materiale grafico (piante e planimetrie, profili, sezioni, dettagli, disegni delle opere d'arte).

DIREZIONE GENERALE ACQUE E IMPIANTI ELETTRICI

Progetti per la navigabilità di fiumi e canali, 1909-1939

Lavori di scavo e sistemazione di canali in varie province, porto fluviale di Roma e navigabilità del Tevere, canali navigabili e porti canali.

Progetti: perizie, relazioni tecniche, materiale grafico (piante, sezioni, disegni).

MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANTO DIREZIONE GENERALE DELLE MINIERE

I diversi fondi elencati conservano documentazione relativa a permessi e concessioni minerarie in genere. Sono inoltre presenti verbali e relazioni delle ispezioni del ministero sulle condizioni delle miniere ed sull'attività mineraria svolta dalle singole società, quindi potrebbe essere interessante per un approfondimento sull'ingegneria mineraria.

MINISTERO DELL'AGRICOLTURA INDUSTRIA E COMMERCIO

Direzione generale agricoltura 1860 1883 I versamento

<Miniere e cave> da b. 195 fasc 882 a b 204 fasc 1012

Direzione generale agricoltura 1860 1883 II versamento

<Mineralogia generale > da b. 183 a b

186 manca il numero dei fascicoli
<Miniere scoperte e concessioni> da b. 187 fasc. 1 a b. 217 fasc. 170
<Zolfare> b. 218 da fasc. 169 a fasc. 171
<Personale> b. 218 da fasc. 172 a fasc. 190
Direzione generale agricoltura 1860 1883 IV versamento
<Mineralogia pubblicazioni e varie > da b. 721 a b. 776 fasc. 323
<Servizio geologico e Scuola superiore delle zolfare > da b. 324. a b. 799 fasc. 445
Direzione generale agricoltura 1860 1883 V versamento
<Mineralogia generale pubblicazione e memorie> da b. 498 a b. 542 fasc. 245
Direzione generale agricoltura 1860 1883 VI versamento
<Miniere > da b. 393 fasc. 1 a b. 427 fasc. 396
Direzione generale del credito e della previdenza 1861 1893
<Società minerarie > da b. 10 a b. 12 fasc. 25
<Società minerarie > b. 28 da fasc. 12

Ex Ministero dell'Economia Nazionale
Direzione generale delle miniere
Divisione seconda miniere 1862-1927 bb.12 fasc. 80
Ex Ministero dell'Industria e del Commercio
Direzione generale delle miniere
Servizi amministrativi
1878-1956
<Permessi di ricerca mineraria> 1935-1952 bb. 65 fasc. 911
<Concessioni minerarie > 1900-1953 bb. 24 fasc. 109
<Pratiche varie (Ente zolfi, AMNI ecc) 1913-1951 bb. 27 fasc.25

MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO UFFICI ITALIANO BREVETTI E MARCHI
Serie Invenzioni 1855-1962 fasc. 620.000

I fascicoli delle serie sono nominativi per persona fisica o società. Sono presenti anche invenzioni relative ai diversi settori dell'ingegneria.

MINISTERO DELLE FINANZE
DIREZIONE GENERALE DEL DEMANIO

Le competenze di tale direzione sono state nel corso del tempo distribuite in numerose divisioni in continuo mutamento a causa dell'accrescimento delle stesse in seguito all'incremento delle competenze, e dei frequenti riaccorpamenti e suddivisioni. Tutto questo ha avuto conseguenze anche sulla tenuta degli archivi e sull'attribuzione dell'ufficio di provenienza delle carte, le quali seguivano la complessa articolazione delle vicende burocratiche. L'arco cronologico si snoda dal 1871 al 1990 ma il grosso delle carte riguarda il periodo che va dagli anni '30 agli anni '70 del 900.

In questa documentazione si trovano:

- *progetti* per la realizzazione, gestione e manutenzione di canali e corsi d'acqua artificiali, in quanto l'*Amministrazione dei canali demaniali d'irrigazione* è tra le tipiche

competenze dell'amministrazione demaniale;

- *progetti* per la costruzione di *alloggi per pubblici dipendenti*, anche questa tra le attività più rilevanti della Direzione generale, specialmente grazie all'impulso dato dalle leggi 1148/1955 e 60/1963.

AMMINISTRAZIONE AUTONOMA MONOPOLI DI STATO

Le competenze sull'esercizio del monopolio dei Sali e dei Tabacchi furono affidate alla Direzione generale delle gabelle del Ministero delle finanze nel 1865. Quando la struttura ministeriale si rivelò inadeguata a gestire le problematiche delle "Privative", nel 1927 fu creata l'Amministrazione autonoma, presieduta dal ministro delle finanze.

Nella documentazione conservata tra i fascicoli della *Divisione Patrimonio Immobiliare*, *Ufficio costruzioni e lavori* si trovano: *progetti* per la costruzione, manutenzione e ampliamento degli edifici necessari alle attività di competenza e anche le *relazioni* di valutazione e stima dei suoli edificatori degli ingegneri degli Uffici tecnici erariali, rilasciate in occasione di acquisti.

MINISTERO DEL TESORO

BANCA D'ALBANIA, SOCIETÀ SVEA; bb. 7

La serie descrive attraverso progetti, contratti, mandati di pagamento e corrispondenza, i lavori svolti dalla Società per lo sviluppo economico in Albania, negli anni 1927-1935.

I fascicoli riguardano i progetti e i lavori per la costruzione di tre caserme di fanteria a Tirana e a Scutari, un Ospedale civile e uno militare a Tirana, il completamento della villa e del palazzo reale a Tirana, le Scuderie militari a Scutari e il muro di cinta delle prigioni di Tirana.

Il personale tecnico italiano è costituito da ingegneri direttori dei lavori, mentre i progettisti sono ingegneri albanesi. Il rappresentante della SVEA in Albania era l'ing. Luigi Sottili.

MINISTERO DELLA PUBBLICA ISTRUZIONE (Il numero delle buste è relativo all'intera serie)

DIREZIONE GENERALE ISTRUZIONE SUPERIORE, BIBLIOTECHE E AFFARI GENERALI

Concorsi a cattedra, 1860-1896; bb. 43

Nella serie vi sono i fascicoli riguardanti i concorsi per le Scuole di Applicazione per ingegneri di Bologna, Napoli, Palermo, Roma, Torino e per l'Istituto tecnico superiore di Milano.

Il contenuto dei fascicoli non è sempre uguale. In alcuni casi si trova soltanto la copia della Gazzetta Ufficiale con il bando del concorso, in altri casi è conservata anche la relazione finale della Commissione e infine dopo il 1881 si trovano a volte i verbali delle commissioni.

DIREZIONE GENERALE ISTRUZIONE SUPERIORE

Divisione I, Concorsi a cattedra nelle università, Prima serie, 1911-1916; bb. 11

Nella serie vi sono i fascicoli riguardanti i concorsi per le Scuole di Appli-

cazione per ingegneri di Bologna, Palermo, Torino e per l'Istituto tecnico superiore di Milano, che contengono i verbali e la relazione finale della Commissione.

Divisione I, Concorsi a cattedra nelle università, Seconda serie, 1924-1954; bb. 506

Nella serie vi sono i fascicoli riguardanti i concorsi della Facoltà di Ingegneria. La documentazione contenuta nei fascicoli è abbastanza completa e comprende tutto l'iter del concorso. A partire dal 1927 ad ogni fascicolo è unita una serie di sottofascicoli uno per ogni concorrente.

DIREZIONE GENERALE ISTRUZIONE SUPERIORE, BIBLIOTECHE E AFFARI GENERALI

Archivio generale, Università e Istituti superiori, Osservatori, ecc.,1860-1881; bb. 154

Università e Istituti superiori: affari generali, concorsi a cattedre, libere docenze, ecc.

- Prima serie, 1882-1890; bb. 983
- Seconda serie, 1891-1896; bb. 488
- Terza serie, 1897-1910; bb. 480

In queste serie si trova documentazione sulle Scuole speciali, le Facoltà, l'istituzione di nuove cattedre, le libere docenze i concorsi, il personale, i locali, le spese per l'impianto di gabinetti scientifici, ecc.

Università, Scuole e Istituti superiori: costruzione di nuovi edifici,contratti e appalti per lavori, vertenze con le imprese costruttrici

Osservatori, 1870-1897; bb. 62

DIREZIONE GENERALE ISTRUZIONE SUPERIORE

Divisione I, Fascicoli personali dei liberi docenti,

- Prima serie, 1910-1930; bb. 350
- Seconda serie 1930-1950; bb. 522

Divisione I, Fascicoli personali dei professori ordinari

- Prima serie, 1900-1940; bb. 159
- Seconda serie, 1900-1940; bb. 172

Divisione II, Regolamenti delle università, assetto edilizio, ecc., 1908-1925; bb. 10

Divisione II, Legislazioni e statuti delle università 1923-1938; bb. 78

Divisione II, Leggi, regolamenti, statuti, esami, corsi, statistiche, tasse, studenti, ecc. 1925-1945; bb. 233

Divisione III, Leggi, assetto edilizio, bilanci, 1925-1945; bb. 30

Divisione III, Assetto edilizio, bilanci, dati statistici, 1935-1945; bb. 89

Divisione IV, Leggi, regolamenti, Opera universitaria, borse di studio, fondazioni, 1928-1948; bb. 146

Divisione IV, Leggi, congressi, convegni,1938-1955; bb. 145

Miscellanea delle divisioni prima, seconda e terza, Istituzione di nuovi corsi, riforma universitaria, regolamenti, 1918-1926; bb. 20

Miscellanea delle divisioni prima, seconda e terza, Congressi, concorsi, incarichi, fascicoli personali di professori ordinari e liberi docenti, 1929-1945; bb. 128

DIREZIONE GENERALE ISTRUZIONE UNIVERSITARIA

Divisione prima, Fascicoli personali

professori ordinari 3°versamento, 1940-1970; bb. 492
Ufficio speciale primo, secondo e terzo, Proposte di leggi, pubblicazioni, bilanci, scambi culturali, ecc., 1950-1967; bb. 53
Ufficio speciale primo, secondo e terzo, Accordi culturali, congressi,borse di studio, 1955-1970; bb. 145
Ufficio speciale primo, secondo e terzo, Congressi, bilanci, Opere universitarie, 1968-1972; bb. 37

Ispettorato generale per la ricerca scientifica, Divisione quinta, rapporti con il CNR,CERN e altri istituti di ricerca scientifica, 1964-1974; bb. 39
Ispettorato generale per la ricerca scientifica, Divisione decima, leggi, accordi di collaborazione, rapporti con il CERN, il CNEN e altri istituti di ricerca scientifica, 1967-1970; bb. 133

MINISTERO DELL'INTERNO
DIREZIONE GENERALE AMMINISTRAZIONE CIVILE
<Archivio generale (1904-1956, con docc. dal 1868)> 1904-1956 bb. 3086

L'archivio è ordinato in categorie triennali, tra le quali si trovano le seguenti voci:
15100.19 ingegneri e architetti;
15100.25 monumenti e opere d'arte;
15800.13 municipalizzazione;
16500 opere pubbliche.

Il Ministero dell'interno si occupava, in rapporto con le prefetture, di controllare l'applicazione delle leggi e dei regolamenti in materia, oltre che l'andamento dei lavori e il rispetto delle norme contabili.
<Podestà e Consulte municipali> 1926-1946 bb. 316

L'archivio è relativo ai fascicoli personali dei Podestà e tra gli allegati si trovano spesso volumi con descrizioni e foto delle opere di ingegneria pubblica realizzate durante il loro periodo di governo; oppure inchieste per opere pubbliche realizzate non rispettando le leggi e i regolamenti.
<Terremoto delle Calabrie 1905> bb. 35
<Comitato centrale di soccorso per i danneggiati del terremoto calabro-siculo 1908> bb. 512
<Terremoto della Marsica 1915> bb. 310

In queste serie si trova la documentazione relativa allo sviluppo della normativa in materia di ricostruzione con l'impiego del "cemento armato" corredata di opuscoli e articoli di ingegneri e imprenditori; inoltre si trovano suggerimenti per la prevenzione; bozzetti e progetti di case ed ospedali.

COMMISSIONE REALE PER IL CREDITO COMUNALE E PROVINCIALE
<Categoria15.800.13: Municipalizzazione dei pubblici servizi> 1901-1923 bb. 272

Questa serie comprende anche le carte della Commissione per le riforme dell'Ente Volturno, della Commissione per lo studio delle finanze di Roma e della Commissione reale per il risorgimento economico di Roma. Trattando della creazione della rete dei pubblici

servizi sul territorio del Regno, vi si trovano gli allegati grafici della realizzazioni di grandi opere, tipo: depositi di tramvai; depositi per le centrali del gas; la realizzazione di centrali elettriche; progetti di case popolari, ecc.

L'archivio è ricco di documentazione complementare: articoli e opuscoli di ingegneri relativamente alla realizzazione delle suddette grandi opere, che ben connotano e il dibattito scientifico e i livelli della ricerca e della tecnica.

DIREZIONE GENERALE DEGLI AFFARI DI CULTO, bb. 1452 e regg. 322 (1861-1954).

L'archivio, pervenuto in due successivi versamenti, è diviso in due parti: le bb. 1-253 (1861-1945) contengono fascicoli generali, posizioni generali e di massima, placet et exequatur, vescovi, episcopi, ragioneria centrale del Ministero delle finanze presso il Ministero di grazia, giustizia e culti, economati generali e personale degli economati, posizioni diverse, atti diversi ecc.; le bb. 254-1452 (1861-1954), della divisione autorizzazioni e tutela, riguardano atti la cui classificazione è fatta secondo le tre serie tradizionali, ovvero <Posizioni diverse>, <Enti> e <Roma>. La serie <Posizioni diverse> si riferisce agli enti dipendenti da associazioni religiose (monasteri, provincie, congregazioni, collegi ecc.), la serie <Enti> è relativa agli enti congruati o congruabili (benefici parrocchiali, mense vescovili), nonché alle chiese e ai seminari, la serie <Roma>, infine, riguarda tutti gli enti delle due precedenti serie, aventi sede nel territorio del comune di Roma.

Miscellanea di uffici diversi.

Pacchi contenenti fascicoli e registri (dai primi del '900, con precedenti risalenti alla seconda metà del secolo scorso, fino ai recenti anni '80).

L'archivio, versato nel 1994, sommariamente quantificabile in quanto non ordinato e sprovvisto di strumenti di corredo, comprende documenti della direzione generale degli affari di culto, relativi alla divisione interventi assistenziali e alla divisione autorizzazioni e tutela, e della direzione generale del fondo per il culto e del fondo di religione e beneficenza nella città di Roma. Per quanto concerne la direzione generale del fondo per il culto, la documentazione riguarda l'erogazione di congrue parrocchiali (integrazioni dello Stato qualora il reddito del beneficiario risulti insufficiente per il proprio sostentamento), contributi per restauri di edifici di culto, sussidi straordinari a favore di sacerdoti, religiose e comunità ecclesiastiche ed una serie di decreti, divisi per anno e numerati per ogni anno, di concessione di assegni ai sacerdoti da parte del direttore generale. Una parte dei fascicoli si riferisce al fondo di beneficenza e religione nella città di Roma, che attraverso il relativo consiglio d'amministrazione esplicava per la capitale gli stessi compiti che il fondo per il culto svolgeva per il restante territorio italiano. L'archivio comprende, infine, documentazione molto recente della direzione generale degli affari dei culti, sorta dalla fusione delle preesistenti di-

rezioni generali degli affari di culto e del fondo per il culto, stabilita dall'art. 2, quinto comma, del D.P.R. 24 lug. 1977, n. 617. La nuova direzione generale ne ha altresì assorbito le rispettive competenze: i fascicoli riguardano, infatti, benefici parrocchiali (erogati dalla divisione congrue), restauri di edifici di culto, sussidi a favore del clero, nonché a privati cittadini particolarmente bisognosi.

DIREZIONE GENERALE DEL FONDO PER IL CULTO,
serie <Cappellanie e Collegiate>, bb. 7000 ca. (1855-1929), elenco di versamento parziale, serie <Corporazioni Religiose>, bb. 1700 ca. (1855-1929), elenco di versamento.

La documentazione di entrambe le serie, versate nel 1997, tuttora in fase di condizionamento, riguarda il periodo che intercorre tra il 1855 e il 1929 circa, in cui venne ad operare la legge del 15 ago. 1867, n. 3848, sulla liquidazione dell'asse ecclesiastico.

Le carte documentano il nuovo rapporto che si instaurò tra lo Stato italiano e la Chiesa cattolica, dando conto sia delle modalità di attuazione della normativa di riferimento e della complessità delle operazioni compiute, sia della consistenza del patrimonio incamerato e degli oneri gestionali di cui lo Stato si fece carico.

DIREZIONE GENERALE SANITÀ PUBBLICA**,** serie 1882-1915, 1910-1920, e 1896-1934, nelle categorie: 20183 "malaria", 21000 "inchieste sanitarie" , 20900.1 "risanamento", 20900.55 "ospedali" sono conservati documenti, pareri su progetti relativi alla costruzione di: acquedotti, fognature, opere idrauliche, cimiteri, ospedali, opere di risanamento ambientale.

DIREZIONE GENERALE CARCERI E RIFORMATORI, AFFARI GENERALI, 1896-1905, bb 373.

I Fascicoli di possibile interesse sono compresi nel titolo 101- Opere e restauri (parte I, anni 1896-1900, bb. 28-41, 58-65,133, 139-153) e nel titolo 1°- Costruzione e manutenzione di fabbricati. Contratti e contenzioso (parte II, anni 1901 - 1905, bb. 212-217,233-240,260-268, 291-299,308-311).

I fascicoli sono organizzati per anno e per citta sede del carcere.

Riguardano interventi di restauro agli edifici,lavori di manutenzione agli impianti, costruzione di nuovi edifici o ampliamento dei preesistenti.

Contengono la documentazione relativa alla approvazione e/o liquidazione dei lavori. Possono essere presenti capitolati d'appalto, relazioni degli Uffici tecnici del Genio Civile, pareri dell'Ufficio tecnico esistente presso la Direzione generale.

MINISTERO DELLA SANITÀ,
Istituto superiore della sanità, Laboratorio di ingegneria sanitaria, sono conservati i pareri degli ingegneri del laboratorio su costruzione di ospedali, acquedotti, inquinamento industriale, per gli anni 1935-1980.

DIREZIONE GENERALE OSPEDALI

Sono conservati progetti di nuove costruzioni, ampliamenti e ristrutturazioni di ospedali. La documentazione, ordinata per provincia, comprende relazioni, calcoli e disegni.

Sono inoltre conservati documenti sulle apparecchiature sanitarie. Anni 1947-1978.

MINISTERO DI GRAZIA E GIUSTIZIA
DIREZIONE GENERALE ISTITUTI DI PREVENZIONE E PENA
Archivio generale, Affari generali, buste 978.

La maggior parte della documentazione va dal 1905 al 1938 con alcuni documenti risalenti al 1867.

La serie conservala corrispondenza amministrativa relativa alla gestione dei singoli istituti carcerari: ispezioni, affari del personale, detenuti e per quel che concerne la ricerca in oggetto, costruzione e manutenzione di fabbricati. Si trovano allegate piante dei singoli carceri, relazioni del Genio civile con disegni, computi metrici e stime relative ai progetti di trasformazione, riparazione e costruzione di nuovi edifici carcerari.

Istituti carcerari, fabbricati 1932-1940

Si tratta di una busta unica con fascicoli intestati a carceri, riformatori, manicomi giudiziari, in risposta a una circolare ministeriale del 1932 inviata a tutti gli istituti in occasione del decennale del regime fascista. Si richiedeva per questa occasione informazioni sui lavori eventualmente eseguiti nei singoli istituti carcerari, di manutenzione ordinaria o straordinaria o relativi a nuove costruzioni.

Si possono trovare oltre alle relazioni sullo stato dell'edificio, piantine disegni e fotografie di alcuni istituti carcerari e relazioni di ingegneri del genio civile sui lavori da eseguire.

In aggiunta a questa documentazione di carattere tecnico è presente una copia della relazione del ministro di grazia e giustizia del 1940 inviata al duce e al ministero dei lavori pubblici sulla opportunità della costruzione di nuovi stabilimenti carcerari, con allegato lo schema del disegno di legge relativo.

MINISTERO DELLA MARINA

La documentazione comprende diverse serie nelle quali si trovano fascicoli comprensive di progetti, relazioni etc. di ingegneri meccanici o inventori senza alcun titolo accademico relativi alla costruzione della flotta militare. Attraverso questa documentazione si ha un quadro del passaggio dall'artigianato all'industria e da una concezione empirica del manufatto a una concezione in cui prevale il sapere scientifico e tecnologico. Interessante è il ruolo giocato nell'evoluzione tecnologica dall'amministrazione della Marina, e in particolare dall'alta e media ufficialità (ammiragli e capitani di vascello). In particolare si segnala la serie archivistica "Uffici Diversi (1861-1884)", le cui sottoserie "Dir. Gen. Del Personale e Servizio Militare" (bb. 9-41), "Dir. Gen. Del Materiale" (bb.44-70) e "Dir.

Gen. Artiglieria e Torpedini" (bb. 71-83) conservano diversi fascicoli relativi alla costruzione delle corazzate italiane, utensili, armi e munizioni di bordo. Per il periodo successivo, si segnalano le sottoserie archi-vistiche Div. Artiglieria e Armamenti (bb. 1-272), "Div. Armi Subacque e Materiale elettrico" (bb.273-442), "Div. Contabilità, Artiglieria e Armamenti" (bb.512-1071), le quali conservano oltre la documentazione specifica alle costruzioni navali, anche la documentazione relativa all'invenzione e progettazione di nuovi tipi di armi, di fari, di collegamenti telegrafici con cavi sottomarini; e ancora, progettazione di porti, darsene e di stabilimenti militari. Nondimeno,di rilevante interesse documentario sono le direttive "strategiche" della stessa amministrazione della Marina in merito a tali progetti e agli aspetti di carattere amministrativo legati ad essi, contenute negli stessi fascicoli in discorso. Stessa documentazione conservano anche le serie del fondo archivistico della DIREZIONE GENERALE COSTRUZIONI NAVALI: "Divisione Costruzioni navali (1893-1905)", bb. 384, "Divisione Esercizio delle macchine (1889-1907)", bb. 141; e "Acciaierie Terni (1884-1898)", bb. 25.

MINISTERO DELL'AERONAUTICA
Direzione Generale del Demanio

Documentazione relativa all'ingegneria civile è conservata nel fondo archivi-stico, in particolare nelle serie "Costruzioni d'Aeroporti (1931-1948)" (inv. 41/14), bb. 1-107, "Ufficio Studi. Progetti di ampliamento e modificazione di aeroporti (1929-1953)" (inv.41/16.1), bb. 1-18 e "Ufficio Studi. Relazioni tecniche per progetti d'aeroporti (1931-1952)" (inv. 41/16), bb. 1-35. Si tratta prevalentemente di progetti di ingegneri del Ministero o di alcune società di costruzione nazionali ed estere relativi ai progetti di aeroporti sia nel territorio nazionale sia nelle terre d'oltremare (Africa italiana, Albania). Queste serie archivistiche conservano, inoltre, le pratiche di espropriazione di immobili (terreni e fabbricati) per dar seguito alla costruzione degli aeroporti e di sistemazioni urbanistiche.

Gli stessi fondi archivistici conservano documentazione inerente all'ingegneria meccanica, in particolare la serie "Dir. Gen. Costruzione e Approvvigionamenti, Disegni di velivoli e accessori di bordo (1918-1941)", bb. 1-154. Si tratta di documentazione relativa alle progettazioni di aerei e di accessori di bordo proposte dalle maggiori industrie italiane (Fiat, Breda, ecc,), corredati da materiale cartografico (piante, prospetti, sezioni). Anche in questi fondi archivistici, come quelli del Ministero della Marina, è conservata la documentazione relativa alle "strategie" politico-amministrative in relazione agli obiettivi pratici prefissati.

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE SERIE COMITATI
Comitato di ingegneria anni 1929-1965
bb. 12

Il Comitato di ingegneria costituto il 10 gennaio 1929 e poi riformato il 24

agosto 1933 è suddiviso in sezioni :
Costruzioni aerodinamiche,
Costruzioni civili,
Costruzioni elettriche,
Costruzioni idrauliche,
Costruzioni meccaniche
Costruzioni navali.

Il Comitato collaborava con la Commissione Internazionale Grandi dighe Sottocomitato italiano – Commissione Internazionale ricerche sperimentali sulle opere idrauliche.

Il Comitato di ingegneria era impegnato in ricerche con la Commissione di studio presso i reparti del Comitato civile, aeronautico, elettrotecnico, idraulico e altre commissioni: Commissione calcestruzzo precompresso 1946, Commissione cemento armato 1946, Commissione opere idrauliche 1945, Commissione opere portuali 1945, Commissione ponti metallici 1931, Commissione ponti su strade ordinarie fino al 1945, Commissione vibrazioni meccaniche.

Inoltre tra le serie del CNR sono presenti carte di Istituti che facevano parte dell'Ente come il Centro microonde, Centro Studi per l'elettrofisica 1945-1965, Istituti per le prove sui materiali e sulle costruzioni. La documentazione delle commissioni è relativa in genere agli anni 1929 -1965 ed è costituita da verbali del comitato, studi, ricerche e corrispondenza fra i maggiori professori di ingegneria del periodo. Per il periodo successivo il materiale non è ancora disponibile perché non riordinato.

Inoltre nell'archivio del CNR è presente anche molta documentazione relativa all'ingegneria spaziale in relazione ai progetti spaziali San Marco (satellite per la misurazione della densità dell'atmosfera), progetto Sirio e Italsat (satelliti per le telecomunicazioni).

Fra i progetti finalizzati del CNR è presente il Progetto Finalizzato Trasporti del 1988.

SOCIETA' GENERALE IMMOBILIARE – SOGENE

La Società generale immobiliare di lavori di utilità pubblica e agricola fu fondata a Torino il 1 settembre 1862. Lo scopo sociale prevedeva che la Società potesse operare in qualunque campo e su tutto il territorio nazionale e anche all'estero.

Nel 1880 la Società trasferisce la sua sede a Roma. Nel 1945 costituisce la Società generale per lavori e pubbliche utilità (Sogene) cui viene trasferita l'esecuzione di opere edilizie, industriali e di pubblica utilità. Negli anni della ricostruzione l'attività si allarga da Roma alle principali città italiane e nel decennio Sessanta si espande anche all'estero.

Nel dicembre 1977, mediante fusione tra la Società generale immobiliare e la Sogene, si costituisce la holding Società generale immobiliare – Sogene Spa. In data 21 gennaio 1988 l'Assemblea straordinaria degli azionisti ne delibera lo scioglimento e la messa in liquidazione.

L'archivio nel suo complesso copre un arco cronologico di oltre un secolo, dalla fondazione della Società nel 1862 alla sua liquidazione alla fine degli anni Ottanta del Novecento. La gran massa della documentazione si riferisce al pe-

riodo dal secondo dopoguerra in poi.

Tra le serie più interessanti per la storia dell'ingegneria, si segnalano:

Serie P/a – Cantieri dell'Ufficio di Roma, 1946-1980, bb. 138.

Documentazione prodotta dai cantieri di Roma (Casalpalocco, Olgiata, Belsito, Nomentano, Cassia ecc.), costituita dai progetti delle iniziative edilizie e dal carteggio tecnico e amministrativo.

Serie T/x – Ufficio di Roma. Direzione lavori, 1944-1969.

Contiene (oltre ai documenti relativi agli appalti e ai rapporti con i terzi) i documenti tecnici della Direzione dei lavori dei cantieri di Roma: progetti architettonici, progetti delle strutture portanti, progetti degli impianti (elettrico, riscaldamento, fognario), stime e computi metrici, disegni.

Serie U – Iniziative edilizie all'estero, 1959-1976, bb. 155.

Documentazione soprattutto amministrativa e in parte tecnica relativa ai lavori realizzati all'estero (tra questi, ad esempio, il Watergate a Washington).

Archivio Progetti (circa 10.000 disegni)

Comprende i progetti architettonici e strutturali delle iniziative realizzate a Roma, in Italia e all'estero.

Dal 1950 in poi la SGIS è impegnata, oltre che nell'edilizia civile, nella realizzazione di grandi lavori come: complessi industriali (Italsider di Taranto), impianti nucleari (centrale di Caorso), autostrade (Catanzaro, viadotto della Fiumarella; autostrada Catania-Palermo, autostrada del Brennero), lavori marittimi (bacino di carenaggio di Genova).

AGENSUD EX CASSA DEL MEZZOGIORNO

E' conservata la documentazione degli organi decisionali: verbali e delibere del Consiglio di amministrazione e del Comitato esecutivo, disposizioni presidenziali, e loro allegati (1950-1993). Manca totalmente materiale grafico.

OPERA NAZIONALE PER I COMBATTENTI

1919-1978 bb.598

Ente di diritto pubblico creato nel 1917 nell'ambito dei progetti di riassetto economico in agricoltura e soppresso con D.P.R. 24 luglio 1977 n. 616, ebbe un ruolo di primo piano tra gli artefici della bonifica integrale. Per svolgere i compiti istituzionali costituì l'*Ufficio tecnico* e la testimonianza di questa attività è rappresentata dalla documentazione della *serie Progetti* dove sono raccolti i fascicoli che riguardano gli interventi di bonifica svolti sui diversi comprensori. Tra questi progetti si trovano anche quelli che riguardano la fondazione delle cinque città dell'Agro pontino.

ARCHIVI PRIVATI

- *Archivio Riccardo Morandi*; 650 bb.; 1200 rotoli di disegni originali e in copia; 43 bb. di fotografie, diapositive e lastre.

Riccardo Morandi (1902-1989), ingegnere e docente universitario. La sua attività è stata dedicata specialmente allo

studio e alla applicazione del cemento armato. Ha lavorato in Italia e all'estero, tra le sue opere più rilevanti l'aeroporto Leonardo da Vinci a Fiumicino con la progettazione degli hangar, i viadotti per l'autostrada di Genova, il ponte Amerigo Vespucci a Firenze. All'estero ha progettato tra l'altro il grattacielo Peugeot a Buenos Aires e il ponte sullo Storm River. L'archivio, dichiarato di notevole interesse storico nel 1992 e in seguito depositato presso l'Archivio centrale dello Stato, contiene disegni, documentazione allegata ai progetti, fotografie e diapositive, materiale a stampa.

- *Archivio Alberto Jona*; 13 bb. e 15 scatole

Alberto Jona (1904-1992), ingegnere. Laureato in ingegneria meccanica nel 1924 al Politecnico di Torino. Nel 1928 fu assunto dalla FIAT, rappresentò l'azienda all'Esposizione internazionale aeronautica di Berlino e alle manifestazioni per la Coppa Scheider . Collaborò quindi alla progettazione del motore FIAT A.6. Nel maggio del 1930 si trasferì presso la C.M.A.S.A., azienda dello stesso gruppo FIAT con sede a Marina di Pisa. Nel 1932 si trasferì a Milano per lavorare all'Ufficio ricerche della Olivetti.

Dal 1933 cominciò a lavorare in proprio a progetti aeronautici. Progettò tra l'altro il biplano da addestramento denominato J.6, la cui costruzione fu affidata alla impresa Piero Magni Aviazione, presentato nel 1935 al I salone areonautico di Milano.

Nel 1937 si trasferì a Roma e nel 1938 e si arruolò volontario in Aeronautica. Aveva nel frattempo progettato e brevettato diversi aerei da combattimento e da turismo, dotati di notevoli innovazioni tecniche.

Dal 1938 abbandonò la progettazione per dedicarsi alla consulenza aziendale e tra il 1941 e il 1945 collaborò in particolare con Adriano Olivetti. Il suo archivio, che contiene corrispondenza, disegni, pubblicazioni e documentazione tecnica relativa alla progettazione di aerei, è stato donato nel 2003.

Paola Capone

Problemi di 'ingegneria' in alcuni scritti di medicina medievale

È difficile oggi pensare che in un testo di medicina, o meglio di una branca della medicina, l'igiene, possano essere presenti suggerimenti per la migliore costruzione di una casa: eppure alcuni scritti di medicina medievale offrono inaspettate riflessioni su tale argomento. È anche raro che uno storico dell'arte moderna studi questi compendi: nel caso specifico è stata l'iconografia dei testi a stampa del *Regimen Sanitatis Salernitanum* ad aprire la strada verso ricerche intrecciate. Questo testo, del quale non si conosce l'autore, è comunemente attribuito ad Arnaldo di Villanova, il grande filosofo, fisico e medico catalano, che insegnò a Napoli agli inizi del XIV secolo e che fu medico di Bonifacio VIII. Scritto in varie fasi, verso i primi decenni del XIV secolo, del *Regimen Sanitatis Salernitanum* si conoscono tre versioni: quella a maggiore divulgazione con solo 365 versi, le altre, pubblicate dal De Renzi[1], con 2130 e 3520 versi.

La versione breve si presenta come una *Regola della salute* che raccoglie la sintesi di tutti i principi igienici delle scuole greca, araba e salernitana a cui si aggiunge tutto ciò che si è andato costituendo in forma di sapere popolare, con numerose norme di igiene, elementi di botanica, di agricoltura, di alchimia, di magìa, di astrologia, di religione corredato anche da un *commentum* esplicativo. È un manuale di igiene, destinato a tutti gli uomini che vogliono prevenire la malattia e conservare la salute, con la salvaguardia dell'esercizio quotidiano e delle funzioni del corpo. Nelle sue pagine si affrontano i problemi legati ai bagni, alla nutrizione, al giusto rapporto di opposti come il moto e il riposo, il sonno e la veglia, senza tralasciare l'equilibrio dei sentimenti: sono i «sei elementi non naturali» del galenismo, presenti già nei primi versi. "Questo scrisse al re anglicano/L'ateneo salernitano/Se dai mali vuoi guardarti/Se vuoi sano ognor serbarti/Le rie cure da te scaccia,/ Di frenar l'ira procaccia:/ Sia nel ber nel mangiar parco:/ Quando al cibo hai chiuso il varco,/ Lascia il desco, e il corpo avviva: / Del meriggio il sonno schiva:/ Mai non



stringere a fatica/L'intestin né la vescica./ Tutto ciò se ben mantieni/Dì vivrai lunghi e sereni./ Se non hai medici appresso,/ Farai medici a te stesso/Questi tre: mente ognor lieta,/ Dolce requie, e sobria dieta.».

La diffusione del poema fino al XIX secolo, testimoniata da duecentoquarantasei edizioni, è evidentemente legata alla sua utilità, giacché il successo editoriale normalmente risponde a bisogni reali. In questo senso si può affermare che le regole salernitane soddisfano due esigenze importanti: da una parte, nelle versioni integrali, sono un compendio di tutta la medicina e, in quella breve, un insieme di regole riferite all'igiene e alla terapeutica esemplificata: queste riflessioni giustificano la loro diffusione e popolarità tra persone di ogni tipo.

È necessario, però, chiarire su che cosa si basava l'igiene che è innanzi tutto prevenzione della malattia. Questa antica disciplina ha le sue origini nella Grecia classica dove, per la prima volta, i precetti dietetici appaiono completamente separati dalle considerazioni religiose o magiche. Il mondo antico dedica, infatti, interi studi all'igiene come disciplina medica: il più importante è rivolto alla dietetica, influenzata dai precetti del pitagorismo, un insieme di regole di vita che si legano alla purezza rituale di questa religione[2] . Altri capitoli dell'igiene classica rimandano anche a considerazioni legate all'esperienza empirica, come mangiare in eccesso, esporsi al freddo o non dormire abbastanza. Vi sono, però, ulteriori implicazioni derivate dalla speciale valutazione dei Greci sullo stato di salute che, oltre ad essere influenzato direttamente dai progressi compiuti dalla medicina, dipende anche dalle capacità di elaborare le proprie conoscenze in ambiti differenti. L'igiene è fisiologia applicata e, dunque, è legata alle regole igieniche, ma subisce l'influenza anche di altri fattori di carattere collaterale che si inseriscono nel mutamento di queste regole. Il progresso tecnico è il più importante di questi fattori e i *Regimina*, spesso, ne sono una testimonianza. Un esempio palese è l'attenzione che viene dedicata ai fattori abitativi: saper costruire una casa vuol dire avere possibilità di isolarsi meglio dal freddo e allo stesso tempo di godere della luce e della ventilazione, ciò vale anche per i tessuti che permettono di proteggersi dagli eventi atmosferici. Entrambi sono indicatori polisemici, perché se da una parte sono in stretta connessione con le capacità tecniche, dall'altra influenzano anche le regole igieniche.

Alla luce di queste poche riflessioni, l'igiene appare come una disciplina complessa della quale vanno ricercate le esili tracce iniziali negli ampi capitoli della medicina.

La maggior parte dei *regimina sanitatis* iniziano l'elenco degli elementi fondamentali per mantenere la salute con l'azione dell'aria. Tuttavia questa regola non è generale: ciò potrebbe ascriversi all'influenza della tradizione greco-araba dalla quale dipendono gli scritti latini. Nel *Regimen sanitatis* di Galeno, l'aria, infatti, non è considerata

come un elemento determinante e nei trattati di Avicenna, Averroè e Razi, la sua posizione nello schema generale è variabile. Nel *Canone* è inglobata da Avicenna nella Dottrina quinta della *fen* terza del libro primo, dopo gli altri elementi che compongono il regime e nella Dottrina seconda della Summa prima, al capitolo undicesimo; da Averroè è posta nel capitolo XVII del libro sesto del *Colliget* e da Razi semplicemente non è considerata. Al contrario, Haly Abbas nella *Pantegni* studia l'aria dopo aver analizzato, in modo generale, le *sex res non naturales*, aria-ambiente, cibo-bevande, moto-riposo, sonno-veglia, escrezione-assimilazione, infine passioni dell'animo, stabilendo il prototipo seguito più ampiamente dagli autori latini.

Tale condizione può essere collegata anche all'equivocità del termine *aer*. Da una parte, è uno dei quattro elementi essenziali nella costituzione del mondo, insieme alla terra, all'acqua e al fuoco; per cui s'integrerebbe con il primo dei «sette elementi naturali» - elementi, temperamenti, umori, parti, facoltà, funzioni e spirito. D'altra parte, l'aria corrisponde anche all'ambiente nel quale vive l'essere umano; in questo caso, è la prima delle *sex res non naturales*. Questa ambivalenza può giustificarne la mutevole collocazione negli scritti arabi e latini e la conseguente posizione nei trattati d'igiene del tempo**.**

I medici medievali, nel considerare l'aria come il primo degli «elementi non naturali» seguono la tradizione ippocratica che dà grande importanza alla catastasi o configurazione cosmica, come elemento determinante della salute dell'individuo. L'idea di aria, infatti, ingloba un insieme di fattori legati dalla comune appartenenza all'ambiente che circonda l'uomo. Per questa ragione, insieme all'aria in senso stretto e ai venti, sono studiate anche la climatologia, la geografia fisica e tutto ciò che in modo diretto forma l'ambito nel quale si muove l'uomo.

L'aria, o se si vuole l'ambiente, può essere modificato per due tipi di fattori: alcuni intrinseci e altri estrinseci. I primi sono relativi alle alterazioni della sua composizione o delle sue qualità, gli altri dipendono da influenze esterne che, secondo Arnaldo di Villanova, sono quattro: le stelle, vale a dire gli astri, i minerali, le piante e gli animali. Nei *regimina sanitatis*, però, si esclude ogni azione del mondo celeste sull'uomo: non ci sono in questi trattati i riferimenti astrologici come conseguenza di un'azione diretta degli astri sul corpo umano. E' frequente trovare esempi del loro influsso sulla terra, sugli animali e sulle piante, ma non compaiono mai allusioni al corpo umano.

L'aria, dunque, è l'elemento essenziale per la vita e anche i *regimina sanitatis* sottolineano la sua funzione imprescindibile sul corpo umano, indicando le due azioni che esercita sull'organismo. La prima è il controllo dell'equilibrio del calore innato, fonte principale del benessere, impedendo in questo modo che si consumi il più importante dei quattro umori dei quali è composto ogni organismo[3], l'umidità radicale, necessaria per conservare la vita; la se-

conda è la purificazione e l'eliminazione dei fumi prodotti dalle combustioni fisiologiche.

Il commentatore del *Regimen Sanitatis Salernitanum*, si esprime con molta chiarezza, legando entrambe le azioni con i movimenti di sistole e diastole del cuore[4]. Attraverso la diastole il cuore attira a sé l'aria necessaria per la sua refrigerazione e attraverso la sistole si espellono i fumi che possono danneggiare il cuore o gli spiriti vitali che in esso hanno sede.

L'intima relazione dell'aria con il cuore e con gli spiriti vitali, basilari per le funzioni del corpo, è all'origine della grande attenzione che i medici medievali suggeriscono a ciascuno nel valutare l'aria nella quale si sceglie di stabilire la propria abitazione, se si vuole essere sani. D'altra parte, non bisogna dimenticare che le malattie pestilenziali sono causate da alterazioni dell'aria.

Nel commentario stampato degli Egenolff, una famiglia di editori di Francoforte che ha pubblicato per circa due secoli, XVI e XVII, questo testo, mutandone il titolo in *De Conservando bona valetudine*, come nella maggior parte dei *Regimina*, sono elencate le quattro caratteristiche per poter definire l'aria «optima et habitabilis»[5]: purezza, luminosità, integrità e lontananza da luoghi infetti e fetidi.

È dunque necessario, per chi voglia vivere sano, cercare *in primis* un luogo nel quale l'aria sia pura. Ma in cosa consiste questa purezza? Su questo argomento l'unanimità dei *regimina sanitatis* è totale, giacché la fonte comune di tutti è il *Canone* di Avicenna. Si considera aria pura quella le cui sostanze non siano mescolate a nessun vapore strano, né a fumi o qualsiasi altra cosa cattiva. Di quest'aria si dice che è buona o pulita. Altre condizioni per assicurare la salubrità del luogo sono che sia chiaro e luminoso, in opposizione al torbido e allo scuro (*nebu-losus*), e che sia ventilato. A tutto ciò va aggiunta, inoltre, una preferenza per un'aria temperata; vale a dire, quella nella quale non predomini nessuna delle quattro qualità complessionali: calore, freddezza, secchezza e umidità; questa è l'aria della primavera, come la più prossima e adeguata alla complessione degli spiriti e del sangue**.**

Va evitata, nella scelta del luogo nel quale vivere, anche la vicinanza di un bosco fitto, dove gli alberi siano alti e, dunque, di ostacolo all'aerazione delle case limitrofe. Analoga limitazione, rispetto alla qualità, è per i luoghi nei quali crescono piante di cattivo odore e di sapore amaro o acre.

Nel regime salernitano compaiono in modo esplicito alcuni elementi negativi per la salubrità dell'aria: tra questi sono citati i vapori pestilenziali che emettono stagni e paludi e caverne profonde, l'inquinamento provocato da odori putridi di animali e gli effluvi emessi da fogne e latrine, dai fossi che raccolgono i resti delle cucine e soprattutto dalle tombe, dove si seppelliscono i cadaveri di uomini e animali. Al bando anche i luoghi dove crescono le verdure, soprattutto verze, ruchetta, cipolle, porri, agli e altre simili e dove ci sono alberi vischiosi,

di cattiva complessione o di cattiva sostanza, come il fico, il noce, il melograno e il sambuco. Tutto ciò può sembrare oggi strano, ma sin dall'antichità molti prodotti del mondo vegetale erano considerati farmaci più che alimenti.

Se si osserva con attenzione, la maggior parte di questi agenti negativi é legato all'odore intenso, che si relaziona con i processi di putrefazione. Nella letteratura antica e medievale è presente, infatti, un'associazione molto comune che lega buoni odori con buone sostanze. La positività dell'odore compare già nel *Corpus hippocraticum* e, per molti secoli, è qualifica della bontà o malvagità delle cose, punto di arrivo di ricerche finalizzate al reperimento di prodotti che hanno un intenso buon odore.

Alla luce delle prescrizione dei *regimina sanitatis* una domanda da porsi è relativa alla valutazione di una scelta abitativa preferenziale tra campagna e città. Ed è forse quest'ultima ad avere un punto a suo favore, se si considerano i luoghi europei dei quali tutti gli autori di questi testi sono abitanti e che, a partire dal XIII secolo, acquisiscono sempre più importanza**.** La negatività dei boschi, così abbondanti nel Medioevo, il pericolo che crea per la salute la vicinanza di certi alberi o verdure, profusamente estesi nelle terre coltivate, e il danno che possono esercitare sulla salute dell'uomo i cattivi odori prodotti dagli animali, o il pericolo di acque stagne, supportano quest'idea.

Nel galenismo latino medievale, si studiano anche nel capitolo sull'aria altre questioni relative all'igiene e allo stile di vita. Grande rilevanza viene data alla casa nella quale si vive e si trascorre la maggior parte del tempo, considerata il primo ambiente che circonda l'uomo. È necessario che essa sia edificata seguendo regole igieniche e, dunque, suggerimenti invitano non solo alla scelta dei luoghi, ma anche ad una selezione dei materiali adatti per la costruzione, alla disposizione delle finestre e all'altezza dei tetti. Nella piccola e semplice xilografia, posta in apertura di questa breve nota, che illustra il capitolo quattordicesimo di molte edizioni del *De Conservando Bona Valetudine* degli Egenolff, *De Aere*, una casa riempe tutto lo spazio con un alto tetto e finestre, la personificazione del vento e del sole completano la raffigurazione, sottolineando visivamente alcune delle condizioni necessarie per un'abitazione salubre.

In altri *Regimina*, è rivolta alla casa una normativa ampia, con elenchi dettagliati sui materiali di costruzione, sull'ubicazione delle stanze e sui servizi igienici. Una di esse, direttamente vincolata con la tradizione greca trasmessa dallo scritto ippocratico *Arie, acque e luoghi*, è la valutazione dei venti dominanti, che l'immagine di Egenolff, riportata in apertura di questo lavoro, sottolinea. Questa piccola e modesta incisione rimanda, infatti, anche ad altri suggerimenti "edilizi" presenti in ulteriori scritti medievali che, senza la lettura del *Commentario*, non avrebbero potuto essere percepiti.

Il primo ambiente che circonda l'uomo, dunque, è la casa nella quale vive e trascorre la maggior parte del suo tem-

po. Per questa ragione, oltre ad un'ubicazione igienica, per quanto riguarda la scelta del luogo, non va sottovalutata l'importanza dei materiali con cui è costruita, la disposizione delle finestre e l'altezza dei tetti. Arnaldo di Villanova nel suo *Speculum medicine*, includendo le case tra gli elementi artificiali, ne tratta vari aspetti: dai materiali alla forma, dalla scelta dei luoghi all'ampiezza.[6] Maino de Maineri insiste sulla insalubrità delle abitazioni appena costruite;[7] questa normativa sulle case nuove viene affrontata anche nei regimi di Gerardo de Solo[8] e di Angelo d'Aquila, quest'ultimo considera negativamente anche le abitazioni troppo vecchie.[9]

Tutti i regimi considerano negativamente l'ubicazione del domicilio in prossimità di laghi o stagni, per le connotazioni di putrefazione che si associano alle acque stagnanti, Maino specifica in più che il luogo non deve essere fangoso, né cenerognolo, né con cattivo odore, né limaccioso, né solforoso, né alluminoso e ribadisce che non devono essere siti nei quali siano stati sotterrati cadaveri, e nemmeno terra nella quale crescono erbe e alberi cattivi[10] .

Per quel che riguarda i materiali di costruzione, le case di mattoni, di pietra o quelle con pareti di calcina vengono considerate sempre più fresche rispetto a quelle costruite con legno o paglia.[11] Poco igieniche sono quelle costruite con pietra viva e gesso, accentuandosi questa negatività se anche il tetto è realizzato con questi materiali.[12] Le case alte o molto grandi permettono di respirare un'aria più pura, ma sono sempre più fredde rispetto a quelle più piccole e basse. L'abitare rasoterra, e soprattutto sotto il suolo, è considerato poco salutare perché l'aria in quei luoghi è sempre molto pesante.

Per Gerardo de Solo l'ideale è vivere al primo piano di una casa, *inter duo sollaria*, non molto bassa, con le finestre orientate verso est o nord.[13] Questa raccomandazione di abitare sopra il suolo, si trova anche nel *Regimen sanitatis ad regem Aragonum*, dove si avverte il re che, "nelle stanze che particolarmente si scegliessero per dormire, si deve procurare che l'aria non sia carica come succede in alcune case a forma di volta e che hanno poche finestre e piccole. Non è positivo che l'aria sia umida (*reumaticus*), come succede nelle abitazioni sotterranee e in quelle che non sono pavimentate. In queste abitazioni l'aria è troppo grossa e umida e quelli che dormono in esse soffrono di malattie alla testa e al petto, e diventano ottusi, pigri e assonnati, il cuore si stringe, l'alito si appesantisce, rendendo la respirazione difficile e patiscono afonie".[14]

Nello *Speculum*, con un linguaggio molto vivo che sembra narrare un'esperienza personale, forse vissuta in qualche ricevimento o in una grande manifestazione, Arnaldo mostra le stesse reticenze per le stanze che mancano di finestre o che le hanno molto piccole. Analogo valore negativo viene dato alla mancanza di aerazione per lunghi periodi. Tutto ciò rende l'aria sempre più pesante, soprattutto in abitazioni affol-

late che diventano simili a stufe, e procura malattie, per la putrefazione degli umori. Preferibile è stare sotto tende di campagna o in padiglioni, dove l'aria è più pura e più libera, giacché può passare attraverso i pori della tela.[15]

L'orientamento delle finestre è una questione importante per la ventilazione della casa. La normativa prescritta nei regimi è volta soprattutto a temperare l'ambiente e, allo stesso tempo, a facilitare la ventilazione. Per questa ragione, al mattino si consiglia di aprire le finestre rivolte verso levante. Quelle a ovest devono essere aperte nel pomeriggio; in questo modo, i raggi del sole possono entrare nelle stanze e correggere l'aria rendendola mite.

Un capitolo importante dei *Regimina* è dedicato alle acque. Maino sottolinea che la scelta del luogo ove collocare le case "non cada soltanto sul suolo abitabile, ma anche sull'acqua potabile, della quale ci serviamo in moltissimi modi, come ad esempio nel bere, nel lavarsi, nel cucinare altre vivande. Dobbiamo in primo luogo considerare che la fonte dell'acqua sia in una terra lodevole, non fetida né minerale. Inoltre è da considerare che non sia acqua stagnante e non corrente per terra sabbiosa o rocciosa o fangosa, fango non fetido né corrotto, e scorrano da oriente o settentrione, ma soprattutto da oriente. Le acque, infatti, che scorrono dal meridione e occidente non sono buone. Inoltre, le acque da preferire sono le acque che non distano molto dal luogo della loro origine. Le acque migliori, inoltre, devono essere discoperte dal sole e dai venti, devono essere quasi di sapore dolce .." Ed ancora Maino, è il solo che presti attenzione alle istallazioni sanitarie all'interno della case. Il medico milanese, si dimostra poco incline per le *camere private* o gabinetti di decenza, che considera vecchi e fetidi. Solo quelli che hanno un'installazione di acqua corrente, che permette una continua pulizia, meritano la sua approvazione.[16] Questo dato suscita un certo interesse, giacché permette di pensare all'esistenza di tali installazioni, a partire dal secolo XIV e, dunque, autorizza a supporre un'evoluzione considerevole nello sviluppo igienico degli edifici.

Queste testimonianze sono solo alcuni esempi che evidenziano, però, l'importanza di nuovi studi sulla scienza e le "tecnologie" medievali. I testi dai quali queste notizie possono essere ricavate, infatti, sono in genere compendi, composti in un'epoca nella quale i saperi non si erano ancora parcellizzati. Spesso, infatti, sono gli scritti di filosofia e di medicina, considerata "secunda philosophia" a contenere queste preziose informazioni che oltre ai lavori di paleografi e filologi devono aprirsi a studi complessi e competenze intrecciate, messe a servizio di altre discipline, in questo caso dell'ingegneria.

[1] S. De Renzi, *Collectio Salernitana ossia documenti inediti, e trattati di medicina appartenenti alla Scuola medica Salernitana,* raccolti e illustrati da G. e T. Henschel, C. Darenberg e S. De Renzi, premessa la Storia della Scuola e pubblicati a cura di Salvatore De Renzi, voll. I-V, Forni Editore, Bologna 1967 (Biblioteca di Storia della Medicina, II.1) [Riprod. facs. dell'ed. Dalla tipografia del Filiatre-Sebezio, Napoli 1852-1859] e Id., *Storia documentata della Scuola medica di Salerno*, Ferro, Milano 1967 (Ars medica antiqua, 2) [Riprod. facs. dell'ed. Nobile, Napoli 1857]. *Collectio Salernitana ossia documenti inediti, e trattati appartenenti alla Scuola medica Salernitana,* cit., vol. V, pp. 1-104.

[2] A. Delatte, *Études sur la littérature pythagoricienne*, Edouard Champion, Paris 1915; M. Detienne, *I giardini di Adone,* Einaudi, Torino 1975.

[3] L'integrità dell'organismo è legata all'equilibrio delle quattro qualità primigenie: il caldo, il freddo, il secco e l'umido, che gli antichi greci chiamano ÷ñÞáóéò, i medievali *complexio*.

[4] Verum quo praedictorum exactior noticia habeatur, sciendum est, aerem pro valetudine tuenda, duobus modis esse necessarium. Primo, quidem ob refrigenationem cordis,. Secundo vero, ob expulsionem fumosarum superfluitatum, spiritum et calorem innatum molestantium. *De Conservanda Bona Valetudine Opusculum Scholae Salernitanae, ad Regem Angliae, versibus conscriptum: Cum Arnoldi Novicomensis, Medici atque Philosophi celeberrimi, brevissimis ac utilissimis Enarrationibus. Et haec omnia à barbarie, atque infinitis, quibus scatebant, mendis, tam accuratè repurgata, ut iam quasi novam faciem induerint, citraque offensionem legi possint; Opera atque Studio Iohannis Curionis, atque Iacobi Crellii. Accessere de electione meliorum Simplicium, ac Specierum Medicinalium, Rhytmi M. Cathonis Cremonensis. Item S. Augustini Concio, de vitanda ebrietate, Carmine reddita.* Cum privilegio Imper. Franc. Franc *[ofurti]*, Apud Chr. Egen *[olphum,]* M. D. LI. (in ultima pagina), cap. XIV, p. 35.

[5] *Ibidem.*

[6] Artificiala vero in terra locata et aerem immutancia manifeste sunt mansiones que differentiant materia et forma et situ quantitate et incolatu: Materia quippe: Namquae de pura terra, vel lapidibus,aut lateribus et cemento sunt, frigidum reddunt aerem: quae vero de lignis, et paleis, calidum: Quia si solum mansionis pavimentum fuerit lapidibus, aut lateribus, et cemento, purior quidam erit, sed valde frigidus mansionis aer. Terrenum autem pulverulentum reddit et pulmoni nocivum. Arnaldo de Villanova, "Speculum medicine" in *Arnaldi de Villanova. Haec sunt Opera Medica Omnia*, Lugduni 1509, fols. 1-55v.

[7] Amplius nullo modo dormiendum nec diu morandum est in dominibus novissime edificatis et specialiter si sint in lapidibus vivis et de plastris. Et specialiter si copertura immediata sit plastrum vel lapides vivi, Maino de Maineri, *Compendium regiminis sanitatis ad dominum Antonium de Flisco*, Manoscritto Latino 873 (XV), fols: 1r.-34r., Parigi Biblioteca dell'Arsenale.

[8] Gerardo di Solo*, Regimen sanitatis*, Manoscritto Latino 5486 (XV), fols. 34r-36v, Vienna Biblioteca Nazionale.

[9] Ideo non inhabitet domum terrenam nec noviter constructam aut valde antiquam. Angelo di Aquila, *Regimen compilatus ab Angelo de Aquila,* Manoscritto Latino 10420 (XV), fols. 1r-44r, Parigi Biblioteca Nazionale.

[10] Non enim debet esse terra cum eligitur habitationis lutosa nec cinerosa, nec fetens, nec limosa nec super quam virus metalli sit superans, nec sulphurea, nec aluminosa, nec in qua sint mortuorum cadavera, nec malis herbis nec arboribus fecondata. Maino de Manieri, *op. cit*., fol. 3r.

[11] Nam que de pura terra vel lapidibus aut lateribus et cemento sunt, frigidum rendunt aerem quam vero de lignis et paleis. Arnaldo de Villanova, "Speculum medicine", cit., c. 13, pag. 6r.

[12] Queste affermazioni sono contenute nello scritto di Maino de Manieri, riportato nella nota 6, e di Angelo de Aquila che aggiunge "aut cuis pars sit testudo lapidea"(*op. cit*., fol. 91r).

[13] Nec bassa sed sit inter duo sollaria cuis finestra fuit a parte orientis vel septentrionis, Gerardo de Solo, *op. cit*., fol. 34v.

[14] Arnaldo de Vilanova, *Arnaldi de Villanova Opera Medica omnia*, Garcìa-Ballester, M. R.

McVaugh ed., Vol. 10.1, *Regimen sanitatis ad regem Aragonum. [Estudi introductori]*, ediderunt Luis García-Ballester et Michael R. McVaugh et praefatione et commentariis catalanis hispanisque instruxerunt Pedro Gil-Sotres, adiuvantibus J. A. Paniagua et L. García-Ballester, Publicacions de la Universitat de Barcelona, Barcelona 1996, pp. 48-57.

[15] Quorum si mansio spiraculis caruerit velut testudinosa vel forte permanserit obturata impurus et grossus efficitur mansionis aer et gravis in spirando sentitur. Et si a pluribus frequentetur celeriter calefit et estuosus efficitur ut in stuffa, egrisque corporis residentibus ibi precipue de sordidis et putrefactis humoribus cito corrumpitur propter hoc igitur sub tentoriis et papilionibus extra purior est liberior aer etenim spirare potest undique propter raritatem panni. Arnaldo di Villanova, "Speculum medicine", cit.,fol. 6r.

[16] Nullo modo eundum est ad emittendum egestiones ad cameras privatas antiquas et fetidas. Unde laudo quod nullomodo accedano ad cameras privatas nisi sint tales quod per conductus aquarum sepissime depuretur. Maino de Manieri, *op. cit*., fol. 5r.

Maria Teresa Russo

Il bisogno di filosofia nella formazione dell'ingegnere. Evoluzione storica e risvolti antropologici

1. *La sintesi di sapere scientifico e umanistico nell'*artifex polytéchnes

La formazione ideale dell'ingegnere dell'antichità la troviamo tratteggiata da Vitruvio, che nell'introduzione al I libro del *De re architectura*, la considera un equilibrio di teoria e di pratica, dove convergano le *lettere*, il *raziocinio* e l'*esercizio della mano*. L'elenco di Vitruvio comprendeva disegno, geometria, storia, filosofia, musica, medicina, diritto, astrologia e astronomia[1]. Alla preparazione dell'architetto, secondo Vitruvio, *"*[...] *concorrono gli apporti culturali di molte scienze e l'esperienza delle altre arti. Esiste infatti una pratica ed una teoria dell'architettura. La pratica consiste nel continuo esercizio di una attività manuale nei confronti di un qualsiasi materiale, per plasmarlo nella forma progettata. La teoria è, invece, quella capacità tecnica e metodologica che si concreta nella progettazione dell'opera. Pertanto quegli architetti che procedettero empiricamente, senza una adeguata formazione scientifica, non poterono acquistare fama e prestigio pari al loro impegno, mentre quelli che si sono affidati unicamente alla conoscenza teorica non hanno saputo concretare la loro arte. Coloro che , invece, ebbero sicuro possesso dell'uno e dell'altra* […] *realizzarono i loro scopi e ottennero facilmente autorità nel loro campo*"[2].

Tale unità tra tecnica e arti liberali, sarà la cifra dell'*artifex polytechnes* rinascimentale.

Lorenzo Ghiberti scrive nel 1450: "*Conviene che allo scultore, etiamdio el pictore, sia ammaestrato in tutte queste arti liberali: Grammatica, Geometria, Philosophia, Medicina, Astronomia, Prospectiva, Istorico, Notoria, Teorica disegno, Aritmetica*"[3].

In un noto saggio sull'arte rinascimentale, trattando della figura dell'*artifex* nel Rinascimento, André Chastel fa notare che il termine "artista" in quell'epoca non esisteva[4]. Invano lo si cerca negli scritti di Leonardo o anche del Vasari, che invece utilizza l'espressione "artefice del disegno" per chi "praticava le arti visive", mettendo in luce l'importanza che si assegnava alla tecnica e al carattere "operativo" di un'attività che si orientava insieme al bello e all'utile. Una delle caratteristiche più interessanti di questi *artifices* era la poliedricità: la figura dell'*artifex polytéchnes* è esemplarmente incarnata da Michelangelo, Giulio Romano, Verrocchio e altri. Nella figura dell'*artifex polytéchnes* si esprime l'unità dell'attività tecnico-artistica, indicata dal Vasari con il termine, quanto mai complesso, di "arti del disegno"[5]. Per Michelangelo, infatti, il disegno era qualsiasi attività dove si esercitasse l'intelligenza, la

ratio, fosse nella costruzione di case, nella navigazione o nello studio delle stelle. Il termine stesso *ingeniator* aveva due significati: il fatto che l'artefice svolgeva la sua attività con genialità e che geniali erano gli artifici da lui creati (*ingenia*)[6]. Questi ingegneri rinascimentali combinavano studi di tipo pratico -le tecniche di costruzione- a studi teorici, come la musica e la geometria, sforzandosi di utilizzare questi a sostegno degli obiettivi pratici. Non sorprende, pertanto, che l'architetto o ingegnere sia nel Rinascimento il rappresentante per eccellenza dell'arte-scienza, dove convergevano capacità e competenze speculative, immaginative e pratiche. L'esperto dell'*ars aedificandi* è, in un certo senso, l'uomo completo descritto da Pico della Mirandola, che è stato creato come un essere capace di dominare la natura. Giannozzo Manetti, nel *De dignitate et excellentia hominis*, afferma che la grandezza dell'uomo si manifesta nella sua capacità di costruire, attività elogiata anche da Ficino, come quella che rende chi la pratica quasi "deus in terris"[7].

Leon Battista Alberti è una figura paradigmatica di tale poliedricità. Autore di opuscoli morali di grande rilievo, egli sostenne sempre la necessità di una formazione che combinasse la teoria con la pratica, scrivendo addirittura una satira sull'inutilità delle lettere sganciate dalla vita[8]. Nel trattato sulla pittura (1436), egli scriveva: "*Sed cupio pictorem* […] *in primis esse virum et bonum et doctum bonarum artium" / "Ma piacerammi sia il pittore* […] *uomo buono e dotto in buone lettere" (De pictura*, III 52). Anche all'epoca di Alberti vi erano nuove tecnologie, soprattutto nel campo dell'ingegneria civile, per le quali la necessità di nuove competenze non si considerava comunque separata dalla conoscenza filosofica. Nota A. Grafton, nel suo saggio su L. Battista Alberti: "Quando, nel 1400, i lavori di costruzione del duomo di Milano s'interruppero, ad esempio gli architetti coinvolti nel progetto s'impegnavano in accesi dibattiti pubblici su quale forma di arco fosse più resistente. Entrambe le fazioni misero in chiaro di considerare impossibile uno svolgimento rigoroso di tali discussioni senza ricorrere alla matematica e alla filosofia naturale aristotelica"[9].

Leonardo, pur definendosi "omo sanza lettere", cioè ignorante della lingua latina e greca, ebbe una conoscenza, sia pur indiretta, della filosofia del Ficino e la sua convinzione che le proporzioni matematiche costituivano la divina struttura delle cose derivò dalla sua frequentazione con Luca Pacioli, il frate matematico imbevuto delle dottrine neoplatoniche diffuse a Firenze. Il disprezzo di Leonardo per i letterati non derivava, pertanto, da un rifiuto del sapere umanistico, ma dalla sua attenzione alla "sperienzia", che -come nota E. Garin- "non è, o almeno non è soltanto, appello all'esperimento, ma significa, innanzitutto, un polemico appello ai naturali principi di contro a chi si smarrisce negli 'accidental vestiti'[10].

Figlio di un mugnaio, Andrea di Pietro sarebbe forse rimasto un abile ed

intelligente artigiano, capace di disegnare portali e monumenti funebri, ma non sarebbe diventato il famoso architetto Andrea Palladio, senza la formazione culturale resa possibile dall'amicizia con lo scrittore vicentino Gian Giorgio Trissino. Trissino fu determinante per Palladio non solo perché lui stesso fu un dilettante d'architettura molto dotato e perché ebbe un ruolo determinante nel raccomandarlo agli altri patrizi vicentini durante i primi anni della sua attività. L'aspetto più importante è dato dal fatto che molto probabilmente fu Trissino a guidare Palladio nelle sue prime letture di Vitruvio. Il che dovette essere di grande aiuto all'architetto, per acquisire una cultura di ampio raggio ed assimilare testi dove sapere teorico e pratico, scientifico e umanistico, si fondevano armonicamente[11].

2. *La professionalizzazione dell'ingegnere e la progressiva separazione tra "le due culture"*

La fondazione della prima scuola d'ingegneria che può chiamarsi tale avviene a Parigi nel 1747, la cosiddetta *École des Ponts et des Chaussées*, che segna l'inizio della professionalizzazione dell'ingegnere e contemporaneamente l'avvio di quel processo di specializzazione, che condurrà alla netta separazione della formazione tecnica da quella umanistica. A fianco ad essa, sorgerà a Parigi, nel 1783, l' *École des Mines*, sempre con lo scopo di formare ingegneri civili[12].

Le altre scuole di ingegneria, sorte in Francia più o meno in quegli anni, hanno invece una finalità militare. Si tratta dell'*École Royale du Génie*, nata nel 1748 nella cittadella di Mézières, dell' *École des élèves du corps d'Artillerie*, sorta nel 1756 e dell' *École pour les élèves ingénieurs de la Marine*, nel 1765.

Più tardi, in pieno periodo del Terrore, su proposta dell'ingegnere Jacques Lamblardie, con il decreto del 21 ventoso anno II (11 marzo 1794), fu stabilita l'organizzazione di una nuova *École centrale des travaux publics*, di durata triennale, le cui materie di base erano la matematica e la fisica. Questa scuola, dipendente dal Ministero dei Lavori pubblici, doveva formare i futuri funzionari dei lavori pubblici e gli insegnanti di scienze esatte; i primi docenti furono nomi prestigiosi della scienza francese, come Gaspard Monge, Pierre Hachette, Joseph Louis Lagrange. La creazione dell'*École centrale des travaux publics* obbediva ad una strategia culturale e politica assieme. Da una parte, intendeva configurare, attraverso una scuola unica d'ingegneria, in modo più completo la preparazione dell'ingegnere, non finalizzandola esclusivamente a scopi bellici; dall'altra intendeva togliere potere alle scuole militari, i cui interessi erano sempre maggiori[13]. Tale progetto non poteva non incontrare opposizioni all'interno del governo. A causa degli eventi politici del Terrore, il timore che la scuola potesse essere soppressa motiva, su proposta di Lazare Carnot, membro del Comitato di Salute Pubblica, a trasformarne il nome e le finalità. Con la legge del 15 fruttidoro

dell'anno III (1° settembre 1795), nasce, pertanto, la *École Polytéchnique*, sotto la giurisdizione del Ministero dell'Interno e orientata a formare, oltre agli ingegneri civili, anche gli ufficiali d'Artiglieria e, più tardi, tutti coloro che intendessero esercitare una libera professione che richiedesse la conoscenza della fisica, della matematica e della chimica. Ispirata a una disciplina di tipo militare, l' *École* doveva dunque servire a formare ingegneri civili e militari indispensabili per il rilancio produttivo del paese e per le sue esigenze belliche[14].

Napoleone Bonaparte conferirà all'*École Polytéchnique* lo statuto di collegio militare, che conserverà per oltre due secoli[15].

In Italia, specifici piani di studio per la professionalizzazione degli ingegneri furono introdotti su imitazione delle *Écoles* francesi, all'indomani dell'arrivo delle truppe napoleoniche, ma all'interno delle facoltà di Fisica e Chimica[16]. Le origini dei primi *Politecnici*, quello di Milano e di Torino, risalgono invece all'applicazione della Legge Casati. Il 13 novembre 1859, infatti, era stata promulgata la Legge Casati sulla Pubblica istruzione, che sarebbe stata poi estesa a tutto il regno dopo l'unificazione, ispirata ad una rigida separazione tra cultura classica e cultura tecnica. L'istruzione classica aveva come scopo "ammaestrare i giovani in quegli studi mediante i quali si acquista una cultura letteraria e filosofica che apre l'adito agli studi speciali che menano al conseguimento dei gradi accademici nelle Università dello Stato" (art. 188), mentre l'istruzione tecnica consentiva di "dare ai giovani che intendono dedicarsi a determinate carriere del pubblico servizio, alle industrie e alla condotta delle cose agrarie, la conveniente cultura generale e speciale" (art. 272)[17]. La legge Casati sanciva, per gli studi di ingegneria, una suddivisione dei corsi universitari in due stadi: il primo di preparazione teorica, svolto dalle Università, il secondo, invece, demandato a scuole specialistiche che era necessario creare. Nascono così la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri a Torino e l'Istituto Tecnico Superiore a Milano.

A Milano, già nel 1838 esisteva la "Società d'incoraggiamento d'arti e mestieri", con lo scopo di "migliorare le arti utili e le manifatture". Nel 1863 viene fondato l'Istituto Tecnico Superiore, ben presto conosciuto come "Politecnico", sotto la guida di Francesco Brioschi. Nel 1865, viene inaugurata la sezione speciale per gli architetti civili. Si definiscono così le due aree di competenza dell'Ateneo: l'architettura e l'ingegneria.

La preparazione impartita, di durata quinquennale, era unicamente tecnico-scientifica. Una vernice di formazione umanistica era rappresentata da due insegnamenti, se si esclude quello di storia dell'architettura, divenuta poi storia dell'arte, per gli ingegneri civili: l'insegnamento di una lingua straniera e quello di letteratura italiana, la cui cattedra fu ricoperta da Alfredo Panzini, fino al 1917. Ma entrambi gli insegnamenti ben presto divennero facoltativi e non avevano che una funzione deco-

rativa[18]. In realtà, la preparazione, caratterizzata da un'estrema specializzazione, priva di visione generale, finirà per produrre la figura professionale di "un tecnico specialista ad alto livello, ma molto settoriale"[19].

A Torino, il 18 aprile 1800, era stata decretata l'apertura dell'Università Nazionale e istituita una scuola di Architettura, nonché la prima Scuola di Disegno per gli Artisti Industriali e la prima Scuola di Misuratori. Nel 1859, in applicazione della Legge Casati, viene creata la Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri, che formerà gli ingegneri civili. Il Regio Politecnico di Torino nascerà come istituzione con la legge n. 231 dell'8 luglio 1906. Anche la preparazione del Politecnico di Torino ha un esclusivo carattere tecnico-scientifico. La presenza di alcune materie umanistiche -come l'economia politica e le materie giuridiche- non deve trarre in inganno: si trattava di insegnamenti totalmente marginali, il cui esame era di notoria facilità[20]. Di questa netta separazione era consapevole la stessa cultura scientifica torinese: il matematico Fubini, professore stabile alla Scuola d'Ingegneria, non esitava ad affermare che la filosofia, come "insieme di sofismi", non interessava al futuro ingegnere, che "non si abbandona a vaghe disquisizioni", ma si prepara per affrontare e risolvere criticamente i diversi problemi[21].

Come si può notare, soprattutto in Italia, la tradizione della formazione ingegneristica si muove su un duplice binario: quello della specializzazione e quello della statalizzazione[22]. Se le prime scuole d'ingegneria in Francia procedevano dalle corporazioni professionali ed erano relativamente indipendenti dal potere statale, non sarà così per l'*École Polytéchnique*. Agli inizi del Novecento, nell'ambito dei progetti di riforma dell'istruzione secondaria, è significativo che in Francia avrà luogo un acceso dibattito per la proposta di riforma presentata dal ministro Léon Berard, che mirava alla netta separazione tra insegnamenti umanistici e insegnamenti tecnici. La riforma venne approvata nel 1923, ma nel 1925 fu nuovamente modificata, per ristabilire un'uguaglianza tra studi classici e studi tecnico-scientifici[23].

Più evidente fu il fenomeno in Italia, dove il processo di accentramento dello Stato unitario passerà anche attraverso la statalizzazione di tutta l'istruzione. Per quanto riguarda la specializzazione, il rigido dualismo della legge Casati sgretolerà qualsiasi resto di unità dei saperi, dando vita non solo alla separazione tra le cosiddette "due culture", ma assegnando alla nozione di competenza un esclusivo spessore tecnico.

3. *L'inversione di tendenza: la filosofia della tecnica come esigenza dell'ingegneria*

Paradossalmente, la tendenza alla specializzazione nella formazione tecnica comincia a invertirsi a partire dal XX secolo, proprio grazie allo sviluppo della tecnica. E' in questo periodo che si cominciano, infatti, a porre in

modo pressante problemi di carattere etico e antropologico relativi all'agire tecnico. I primi ad usare esplicitamente l'espressione *filosofia della tecnologia* saranno proprio alcuni ingegneri con interessi filosofici. Essi appartengono a quella corrente sviluppatasi nella seconda metà del Novecento, dopo la pubblicazione del saggio di Simon Moser, *Zur Metaphysik der Technik*[24] e la creazione, nel maggio del 1856, della società professionale *Verein Deutscher Ingenieure.* Basta ricordare i nomi dell'ingegnere meccanico russo Peter K. Engelmeier (1855-1941), dell'ingegnere chimico tedesco Eberhard Zschimmer (1873-1940) e di Friedrich Dessauer (1881-1963), antesignano di quello che oggi definiremmo un ingegnere biomedico.

P. K. Engelmeier fu tra i primi a riprendere l'espressione "filosofia della tecnica", utilizzata per la prima volta dal geografo e filosofo tedesco Ernst Kapp, nel 1877, facendola sua in una comunicazione presentata al IV Congresso Mondiale di Filosofia, del 1911. Engelmeier sarà poi autore di un saggio di filosofia della tecnica, dove esponeva tra l'altro alcune considerazioni sulla responsabilità sociale dell'ingegnere[25].

E. Zschimmer, ingegnere chimico piuttosto ignorato, a motivo dell'adesione al nazionalsocialismo tedesco, fu autore di un saggio in cui difendeva la tecnica dai suoi detrattori, presentandola neo-hegelianamente come espressione "della libertà di fronte alla materia"[26].

F. Dessauer, filosofo e dottore in fisica applicata, dopo la seconda Guerra Mondiale progettò una fabbrica di apparecchi di raggi X. Autore di un saggio di filosofia della tecnica[27], egli difende il valore della conoscenza tecnoscientifica, che, grazie all'ingegneria, determina un nuovo modo di esistere nel mondo.

Notevole importanza per il dialogo tra ingegneria e filosofia ha avuto la società professionale tedesca *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI), ricostituita nel 1947 dopo la II guerra mondiale. Essa, nel 1956, ha promosso un Comitato di carattere professionale denominato *Mensch und Technik*, che ha dato un grande impulso agli scambi culturali tra tecnici e filosofi, in vista di una riflessione congiunta sugli scopi e le implicazioni dell'agire tecnico[28].

Una tappa importante in questa progressiva consapevolezza della necessità di tornare all'unità tra i saperi è la "Carta della Transdisciplinarità". Redatta il 6 novembre del 1994, è stata firmata ad Arràbida (Portogallo) da Basarab Nicolescu, Edgar Morin e Lima De Freitas. Nell'intenzione dei suoi firmatari, la *Carta* vuole esprimere la disponibilità di tecnici e scienziati del nostro tempo a condurre la scienza e le sue conquiste oltre i confini ove un sapere settoriale tenderebbe a rinchiuderle. Come viene precisato nel preambolo, la motivazione è anche di natura antropologica: "Tenendo presente che l'attuale proliferazione delle discipline accademiche e non accademiche conduce ad una crescita esponenziale del sapere, cosa che rende impossibile lo sguardo globale all'essere umano".

Questo compito include anche una dimensione etica, perché, in un'epoca di grandi progressi della conoscenza, la mancanza di dialogo e di circolazione dei saperi accresce la disuguaglianza fra quelli che posseggono tali conoscenze e coloro che ne sono sprovvisti[29].

Può essere interessante riportare il testo di due articoli, l'articolo 3 e il 5: "La transdisciplinarità è complementare all'approccio disciplinare; essa fa emergere dal confronto delle discipline l'esistenza di nuovi dati, che fanno da giunzione o snodo fra le discipline stesse; essa ci offre una nuova visione della Natura e della Realtà. La transdisciplinarità non cerca il dominio fra più discipline, ma l'apertura delle discipline a ciò che le accomuna e a ciò che le supera"(art.3).

E ancora: "La visione transdisciplinare è decisamente aperta, nella misura in cui essa 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).

4. *Il bisogno di filosofia nel curriculum dell'ingegnere*

In questo ultimo decennio, il bisogno di filosofia nella formazione ingegneristica sta spingendo diversi Paesi a introdurre nel curriculum delle facoltà di Ingegneria discipline come l'etica, l'antropologia, la letteratura, addirittura l'estetica. È significativo che proprio l'*École Polytéchnique* abbia, dal 1976, inserito tra le sue strutture un *Département Humanités et Sciences Sociales* (HSS), promosso per integrare la formazione tecnica e scientifica con quella umanistica[30].

Negli Stati Uniti sta emergendo diffusamente, a partire dagli anni Novanta, l'esigenza di integrare con studi umanistici la formazione dell'ingegnere[31]. Poiché la tecnica oggi non rappresenta più una semplice riserva di strumenti dei quali l'uomo si serve per la propria utilità; ma è piuttosto un processo dinamico che ha dato vita ad una nuova visione del mondo, essa sta modificando anche la percezione che l'uomo ha di se stesso. L'esigenza da più parti reclamata della cosiddetta *human-centred technology* richiede, allora, il recupero di categorie come *uomo* e *umano*, delle quali si rischia di smarrire l'autentico senso, nonché della categoria di *responsabilità etica*.

Il ricorso alle Scienze umane, le cosiddette *Humanities*, non rappresenta, pertanto, un supplemento decorativo, ma costituisce un orizzonte irrinunciabile ove collocare qualsiasi agire tecnico, perché non sia soltanto *dell*'uomo, ma anche, sempre, *per* l'uomo.

Le proposte più concrete interessano pertanto soprattutto l'inserimento di discipline come l'antropologia e l'etica. Si sta attingendo a filosofi del Novecento, come ad esempio Hans Jonas e Hannah Arendt, per elaborare categorie interessanti allo sviluppo di un'antropologia e di un'etica dell'ingegneria.

H. Jonas ha sviluppato estesamente il cosiddetto *principio responsabilità*, applicandolo all'agire tecnico del mon-

do contemporaneo, che ha profonde differenze con quello antico e moderno. L'uomo rischia oggi di trovarsi in balia della tecnica, anziché dominarla, per cui deve cominciare a riflettere su alcune questioni di carattere etico, cruciali non soltanto per lui, ma anche per le generazioni future[32].

H. Arendt ha criticato con acume l'utilitarismo proprio di una certa tecnologia contemporanea, che sta plasmando una visione del mondo, osservando che esso ha in se stesso la sua condanna. Se l'utilitarismo considera ogni fine come destinato a divenire mezzo per qualche altro fine, "rimane preso nella catena interminabile dei mezzi e dei fini senza arrivare mai a un principio che giustifichi la categoria di mezzi e fini, cioè dell'utilità stessa. L'espressione "al fine di" è diventata il contenuto di "in nome di". In altre parole, l'utilità posta come significato genera l'assenza di significato"[33]. Per questo, la sfida più urgente che la tecnica deve affrontare è interrompere il circuito perverso dei mezzi e dei fini e risalire a un fine che sia "fine in se stesso", che non possa essere usato "in funzione di". Prosegue la Arendt: "solo in un mondo strettamente antropocentrico, dove colui che usa, cioè l'uomo stesso, diventa il termine ultimo che interrompe la catena interminabile dei mezzi e dei fini, l'utilità in quanto tale può acquistare la dignità del significato"[34].

La *National Academy of Engineering* (NAE), degli Stati Uniti, nel *Meeting* annuale del 2000, riflettendo sulle sfide poste alla formazione ingegneristica dal terzo millennio, identificava nella *engineering ethics* l'aspetto più emergente, di cui tener conto nella preparazione professionale, a motivo "dell'enorme impatto degli ingegneri sugli individui e sulla società"[35].

Negli standard educativi fissati dall'*Accreditation Board of Engineering* (ABET)[36], appare sempre più prioritario l'invito a preparare professionisti "tecnicamente competenti ed eticamente sensibili"[37].

La categoria chiave di tale formazione etica è la nozione di "responsabilità professionale", che è il risultato di un complesso di obiettivi così sintetizzati: "*Teaching engineering ethics [...] can achieve at least four desirable outcomes: a) increased ethical sensitivity; b) increased knowledge of relevant standards of conduct; c) improved ethical will-power (that is, a greater ability to act ethically when one wants to)*"[38].

Passare dalle intenzioni alla realizzazione pratica richiede tuttavia dei tempi tecnici: negli Stati Uniti, sono ancora una minoranza le facoltà di Ingegneria che hanno incluso corsi di Etica nei loro piani di studio[39]. Nonostante l'esito nettamente positivo di tale inserimento, bisogna superare da un lato innegabili difficoltà di *budget*, dall'altro alcune perplessità sulla reale possibilità di integrare tali corsi con gli altri e sui metodi di insegnamento da usare.

Anche in Europa, seppure con esiti concreti più lenti, sta affiorando la stessa sensibilità, come emerge dalle relazioni tenute nel 2002, in occasione del trentesimo congresso della *European*

Society for Engineering Education (SEFI)[40]. Oltre a vari interventi, un'intera sessione è stata dedicata al tema "*Awareness of Ethical & Communication Issues in the Education of the Reanissance Engineer*".

Già nel 1998, nel corso del congresso di Helsinki, la SEFI si era fatta promotrice di un *working group* sul tema "Ethics in Engineering Education", per dare attuazione alle proposte espresse l'anno precedente, durante il congresso di Cracovia.

Non basta, tuttavia, l'aggettivo *etica*, per garantire un contenuto univoco all'educazione che si intende fornire. L'educazione etica può, infatti, essere impostata in modi molto diversi, a seconda dell'interrogativo a cui intende dare risposta. Se si orienta a rispondere soltanto agli interrogativi sulle regole da osservare e sui limiti oltre i quali non ci si può spingere, l'approccio sarà di un'etica tipo procedurale, ispirato in definitiva a un modello di razionalità tecnica. L'etica diverrebbe così una sorta di prontuario, una cassetta degli attrezzi per risolvere dilemmi e situazioni di emergenza, spesso facendo ricorso al ragionamento che si limita a calcolare la differenza tra costi e benefici. Oppure s'identificherebbe con un codice deontologico la cui validità sarebbe comunque condizionata alla visione di persona e di lavoro che lo ispira e relativa alla comunità all'interno della quale il codice sia formulato.

L'impostazione sarà, invece, diversa, se l'interrogativo etico fondamentale riguarda il significato stesso dell'agire professionale, ossia lo sforzo di definire cosa s'intende per un *buon* ingegnere. A cosa ci si riferisce quando si usano genericamente termini come "professionalità" o "coscienza professionale"? Essi indubbiamente rispecchiano non soltanto un'efficienza tecnica, ma quella che è stata definita come un'*efficienza soggettiva integrale,* ossia la coerenza dell'attività professionale con la totalità del proprio progetto di vita [42].

Tale necessità di formazione antropologica ed etica appare ancora più importante laddove l'ingegneria è applicata alla medicina, come nel caso delle facoltà di ingegneria biomedica. L'applicazione della tecnologia alla medicina sta facendo innegabilmente raggiungere traguardi un tempo solo sognati, sia nel campo della diagnosi che della terapia. Tuttavia, non vanno ignorati i pericoli, che riguardano, sinteticamente, il deficit di umanizzazione che una medicina *hig tech* può comportare, se non si riesce a conciliare la funzione tecnica con il significato, ossia la dimensione professionale con quella umanistica[43].

La tecnologia applicata alla medicina, come ha notato il filosofo H. Jonas, pur comportando un evidente progresso, ha contribuito gradualmente a modificare l'indiscutibile bontà etica dell'arte del guarire, giacché gli scopi che i nuovi mezzi tecnici rendono possibili possono essere totalmente diversi da un tempo e anche quelli tradizionali possono essere ottenuti con metodi nuovi. "La "fattibilità" che soprattutto i più nuovi e i più ambiziosi di questi scopi e

di queste vie ci offrono e che concernono in particolare l'inizio e la fine della nostra esistenza, il nostro nascere e il nostro morire, toccano questioni ultime del nostro essere uomini: il concetto di *bonum humanum,* il senso della vita e della morte, la dignità della persona, l'integrità dell'immagine dell'uomo (religiosamente l'*imago dei*)."[44]

L'esperienza di alcune facoltà di ingegneria biomedica[45], di inserire nel curriculum discipline come l'antropologia e l'etica riferite particolarmente alle questioni della salute e della cura riflette l'esigenza di garantire non una *curing society* tanto tecnicizzata quanto impersonale, ma piuttosto una *caring society* sempre a misura d'uomo.

[1] Cfr. Vitruvio, *De architectura*, 1.1.3.
[2] *Ibidem*.
[3] L. Ghiberti *Commentarii*, Firenze, Giunti, 1998, p. 46.
[4] Cfr. A. Chastel, Art et humanisme à Florence au temps de Laurent Le Magnifique, Paris, PUF, 1982.
[5] Cfr. E. Garin, *L'uomo del Rinascimento*, Bari, Laterza, 1988, pp. 237-269.
[6] Cfr. H. Verin, *La gloire des ingénieurs*, Paris 1993, pp. 19-42.
[7] Cfr. E. Garin, *L'uomo del Rinascimento*, p. 257.
[8] Si veda l'opera latina del 1428 di. L. Battista Alberti, *De commodis litterarum atque incommodis*, Firenze, L. S. Olschki, 1976.
[9] A. Grafton, *Leon Battista Alberti. Un genio universale*, Roma-Bari, Laterza, 2003, p. 106.
[10] E. Garin, *La filosofia. Dal Rinascimento al Risorgimento*, vol. II, Milano, Vallardi, 1947, p. 97.
[11] Cfr. A. Palladio, *Quattro libri dell'architettura*, Venezia, De Franceschi, 1570.
[12] Cfr. B. Belhoste, *Les origines de l'École Polytechnique*, in « Histoire de l'éducation », 42, 1989, pp. 13-54.
[13] Cfr. J. Langins, *La préhistoire de l'École polytechnique*, in «Revue d'Histoire des Sciences », 44, 1991, pp. 61-89.
[14] Cfr. J. P. Callot, *Histoire et prospective de l'École polytechnique*, Paris, Lavauzelle, 1993.
[15] Cfr. J. Langins, La République avait besoin de savants: les débuts de l'École Polytechnique, Paris, Belin, 1987.
[16] Cfr. *Bollettino delle leggi della Repubblica italiana*, Milano, Regia Stamperia, 1802, pp. 295-308.
[17] Cfr. G. Talamo, La scuola dalla legge Casati all'inchiesta del 1864, Milano, Giuffrè, 1960.
[18] Cfr. G. B. Stracca, *La formazione ingegneristica nel Politecnico di Milano*, in *Il Politecnico di Milano nella storia italiana*, Bari, Cariplo-Laterza, 1898, pp. 349374.
[19] *Ivi*, p. 273.
[20] Cfr. B. Bongiovanni-F. Levi, *L'università di Torino durante il fascismo. Le facoltà umanistiche e il Politecnico*, Torino, Giappichelli, 1976, pp. 195-196.
[21] Cfr. *Ivi*, pp. 196-197.
[22] Si tratta di un processo che interessa in generale l'istituzione universitaria europea, tra Ottocento e Novecento. Si veda G. Tanzella Nitti *Passione per la verità e responsabilità del sapere*, Casale Monferrato, Piemme, 1998, pp. 39-44.
[23] A questo dibattito prese parte anche il filosofo Henri Bergson, con due interventi: *La place et le caractère de la philosophie dans l'enseignement secondaire* (1902) e *Les études gréco-latins et la reforme dans l'enseignement secondaire* (1922) : si veda M. T. Russo (a cura di), *Educazione, cultura,scuola in Henri Bergson*, Roma, Armando, 2000.
[24] Cfr. S. Moser, *Zur Metaphysik der Technik*, in *Metaphysik einst und jetzt*, Berlin, De Gruyter, 1958, pp. 231-294.
[25] Cfr. P.K. Engelmeier, Filosofia Tekniki,

Mosca, 1912.

[26] Cfr. E. Zschimmer, Philosophie der Technik: vom Sinn der Technik und Kritik des Unsinns über Technik, Jena, E. Diederichs,1914.

[27] Cfr. F. Dessauer, Philosophie der Technik. Das Problem der Realisierung, Bonn, F. Cohen, 1927. Trad. it: Filosofia della tecnica, Brescia, Morcelliana, 1945.

[28] Cfr. C. Mitcham, *Philosophy of Technology in Germany*, in "Technology and Society", 4, 1993, pp. 329381.

[29] B. Nicolescu-E. Morin-L De Freitas, *Carta della transdisciplinarità*, Convento da Arràbida, 6 novembre 1994. Cfr. B. Nicolescu, *La Transdisciplinarité. Manifeste*, Paris, Éditions du Rocher, 1999.

[30] Nel sito del *Département* la presentazione mette in luce tale ricerca di unità: "C'est sur cette ligne de dialogue et d'échange que se tiennent aujourd'hui les formations et enseignements dispensés par le département. Et ceci non comme une sommation à contester les évidences, certitudes ou modèles des sciences exactes, mais au contraire comme une invitation à les mettre en perspective avec les données fondamentales de l'histoire des hommes, des structures du corps social ou plus simplement de la personnalité et de la créativité des individus qui les inventent, s'en emparent, en usent et les transforment" (Cfr. www.enseignement.polytechnique.fr/hss/presentation/ind ex.html).

[31] L'obiettivo di questi insegnamenti è così sintetizzato: "Humanities courses should furnish our students with the opportunity for personal reflection on the communal and personal meanings of the central ideas of culture […] the humanities should provide the student with self-knowledge, the skill of critical thinking and the ability and desire to be a productive member of the community" (J. B. O' Neal, The humanities and their effect on engineering education, in "Communications Magazine IEEE", vol. 28 (12), 1990, pp. 30-35).

[32] CFr. H. Jonas, Il principio responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica, Torino, Einaudi, 1990.

[33] H. Arendt, *Vita activa. La condizione umana*, Milano, Bompiani, 2000[8], pp. 110-111.

[34] *Ivi*, p. 111.

[35] Cfr. Wm. A. Wulf, *Engineering Ethics (Editorial)*, in "The Bridge", n. 3, vol. 32, 2002, p. 1. L'intero volume della rivista, organo ufficiale della NAE, è dedicato al tema.

[36] Cfr. *ABET Engineering Criteria 2000*, consultabile online in www.abet.org .

[37] Cfr. J. Herkert, *Continuing and Emerging Issues in Engineering Ethics Education*, in "The Bridge", n. 3, vol. 32, 2002, pp. 15-19. Si veda anche J. Herkert, *Engineering ethics education in the USA: content, pedagogy and curriculum*, in "European Journal of Engineering Education", n. 25, 2000, pp. 303-313.

[38] M. Davis, *Teaching ethics across the engineering curriculum*, in "Online Proceedings of International Conference on Ethics in Engineering and Computer Science", marzo 1999. Consultabile online: http://onlineethics.org.

[39] Cfr. W. E. Lee, *Humanities Awareness: A Comparison Between Honors Program and Traditional Undergraduate Engineering Students*, in *Proceedings of the 2002 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*, Washington D. C., ASEE, CD-ROM, Session 1089.

[40] Si veda M. Rabins, *Teaching engineering ethics to undergraduates: why? what? how?*, in "Science and Engineering Ethics", 4, 1998, pp. 291-302.

[41] Cfr. C. Borri (a cura di), *The Renaissance Engineer of Tomorrow*, Florence 8-11 September 2002, Firenze, Edizioni Polistampa, 2002. Si veda, in particolare: G. Street, *Literature as Means of Teaching Ethics to Science and Engineering Students*, pp. 26-27; M. T. Russo, *Teaching Humanities in the Curriculum of Biomedical Engineering*, p. 56.

[42] Cfr. R. Escolà-J.I. Murillo, *Etica para ingenieros*, Navarra, EUNSA, 2000, p. 290.

[44] Cfr. P. Donati, *Il problema dell'umanizzazione nell'era della globalizzazione tecnologica*, in *The Humanization of care in the age of advanced technology*, Roma, EDIUN, 2000.

[45] H. Jonas, *Tecnica, medicina ed etica. Prassi del principio responsabilità*, Torino, Einaudi, 1997, p. 6.

[46] Ad esempio, la facoltà di Ingegneria Biomedica dell'Università "Campus Bio-medico" di Roma prevede dal 1998 tre insegnamenti di carattere filosofico: Antropologia della tecnica, Etica generale, Etica applicata.

Fausto De Mattia, Felicita De Negri

Ingegneri e istituzioni alla fine del XVIII secolo

Il 10 aprile 1784 il Primo segretario di Stato, marchese della Sambuca, rendeva noto con un dispaccio la decisione del re Ferdinando IV di dispensare il marchese Cavalcanti e i "cavalieri deputati" dai loro incarichi relativi alla costruzione delle nuove strade del Regno; tale incombenza veniva attribuita a una Giunta formata da tre ingegneri[1]. Il marchese Cavalcanti ricopriva in quel momento la carica di luogotenente della R. Camera della Sommaria, mentre gli altri destinatari del provvedimento, i "cavalieri deputati", erano potenti feudatari; sicché questo dispaccio -già noto in verità ma, sino ad oggi, poco considerato- avrebbe estromesso rappresentanti della nobiltà di toga e di spada da un settore di rilievo, come quello delle strade, promuovendo al loro posto semplici "borghesi", in forza della competenza loro riconosciuta nel ramo. A quanto ne sappiamo, è la prima volta che un organismo di forte rilievo istituzionale -quale era nel sistema di antico regime una Giunta- viene costituita non da magistrati (i famosi togati) ma da tecnici; ed è la prima volta che il mestiere di ingegnere si vede proiettato ai vertici dello Stato. Infatti la Giunta dei tre ingegneri "corrispondeva" con il Governo del re direttamente e non più attraverso i magistrati, fino ad allora soli interlocutori ufficiali del sovrano. Tradizionalmente, la mediazione fra il lavoro degli ingegneri e le decisioni governative era stata prerogativa della R.Camera della Sommaria e per essa di un Giunta, detta appunto "di Ponti e strade", che era composta dal luogotenente della stessa Camera, da uno dei presidenti di quel potentissimo tribunale in veste di commissario e dal procuratore, all'epoca chiamato avvocato fiscale del patrimonio. Nel 1784 assistiamo dunque al tramonto di una Giunta di togati e al sorgere di una Giunta di ingegneri.

Come si vede, l'antico regime nutriva una larga fiducia nel sistema delle Giunte, emanazioni "abbreviate" -così si esprimono le fonti coeve- di organismi pletorici per composizione e competenze quali la Sommaria e quindi strumenti in teoria più snelli e agili di intervento, sia nel campo amministrativo sia in quello giudiziario. Ma poi, anche nel concreto operare delle giunte, il problema sorgeva proprio dalla commistione fra amministrazione e giurisdizione che rappresentava il tratto caratterizzante delle istituzioni di antico regime. E dunque l'elemento di autentica novità che si intravede dietro la nascita della Giunta degli ingegneri è proprio l'emergere di un concetto di separazione dei due poteri: ad essa veniva affiancata un'altra Giunta, detta "dei siti reali", questa sì togata, alla quale spettava in esclusiva il contenzioso. Per la verità, alla seconda Giunta erano attribuite anche incom-

benze di gestione contabile, in modo che i cordoni della borsa (soprattutto il delicato settore degli appalti o "partiti") rimanessero comunque nelle salde mani dei magistrati, nel nostro caso il presidente Nicola Maria Vespoli. Nondimeno, si potrebbe difficilmente sottovalutare l'importanza del dispaccio del 1784 che attribuisce ad alcuni personaggi qualificati come ingegneri, e non -ripetiamolo- a togati, l'onore e l'onere di discutere con il Segretario di Stato la "direzione, condotta e buon governo" delle principali opere pubbliche nel Regno.

Numerose sono, nell'Archivio di Stato di Napoli, le attestazioni documentarie delle tante Giunte chiamate nel corso di tre secoli ad occuparsi dei settori più diversi: posta, lotto, teatri, regi forni, allodiali (si chiamavano così i feudi di cui era titolare Carlo di Borbone in quanto erede dei Farnese e dei Medici, nonché quelli devoluti allo stato per mancanza di eredi diretti legittimi nelle famiglie feudali titolari), tutti ebbero una Giunta competente ad amministrarli e, nello stesso tempo, a fare giustizia in materia. Vi furono Giunte di stato -per la c. d. materia di stato come lesa maestà, spionaggio, cospirazione- Giunte create per la riforma generale dello Stato -quella detta degli abusi, sola a fregiarsi del titolo di suprema, che si occupò più che altro delle questioni relative alla soppressione della Compagnia di Gesù-, una, importantissima, di Sicilia per riferire al re di tutti gli affari di quel Regno, e perfino una -di cui si rimpiange la perdita della relativa documentazione- incaricata di occuparsi dei conti della Casa Reale, che avrebbe grande interesse per gli studiosi di storia dell'arte. Anche il costruendo Albergo dei poveri ebbe la sua giunta, della quale vennero chiamati a far parte Ferdinando Fuga, prima e Luigi Vanvitelli, poi. E a proposito di tali partecipazioni tecniche a Giunte togate va detto che siamo indirettamente informati del fatto che fin dal 1749 alla Giunta di ponti e strade era stato ammesso anche un ingegnere, anzi colui che all'epoca rivestiva la carica di ingegnere maggiore del regno, Francisco Lopez Varrio; un'ammissione peraltro non priva di ambiguità e che finì col creare, come vedremo, notevoli tensioni fra tradizionali detentori del potere, i vecchi magistrati della giunta, e nuovi arrivati, i tecnici. Nel 1761, ad esempio, i membri togati della giunta, Baldassarre Cito, luogotenente, Domenico Cardillo, commissario e Carlo Mauri, avvocato fiscale, lamentarono in una consulta al re l'affronto loro arrecato dall'assurda pretesa di Giovan Battista Bigotti, capo del Corpo degli ingegneri militari, di essere considerato nell'ordine delle precedenze come un componente a pieno titolo della Giunta stessa "quando chè la sua incumbenza altra non è se non di dar lumi alli di Lei Ministri in quello che riguarda la sua perizia, non essendoli stata dalla Maestà del re Catolico neppur comunicata facoltà di votare negli affari concernenti la sua perizia"[2]. Sappiamo quanto all'epoca avessero importanza le questioni di precedenza, intorno alle quali le alte cariche del regno erano disposte ad

ingaggiare furibonde dispute in punto di diritto. In questo caso, appariva del tutto inconcepibile agli occhi dei magistrati che Bigotti, un "fuori casta", potesse fregiarsi del titolo di *ministro*, grazie al quale si sarebbe elevato ben al di sopra del rango spettante ad un ingegnere, fosse pure il comandante del Corpo degli ingegneri militari. La risposta non del tutto chiarificatrice del sovrano spinse il più oltranzista dei togati, il commissario Cardillo, a rassegnare le dimissioni dalla Giunta, e in effetti, a giudicare dall'ordine delle firme apposte sulle successive relazioni, sembra che le proteste dei magistrati non avessero ricevuto soddisfazione.

La Giunta di cui faceva parte il collerico Cardillo aveva alle sue spalle un'esistenza quasi bicentenaria, essendo certamente in attività sin dal viceregno del famoso Perafan de Ribera, duca di Alcalà (1559-1571), al quale è collegato un momento di grande fervore nelle opere pubbliche e, in particolare, il rifacimento delle strade del Regno, cui fu destinata una specifica imposizione. È noto come a tale fervore seguisse un lunghissimo periodo di abbandono protrattosi per tutto il secolo XVII, fino all'arrivo di Carlo; di conseguenza anche l'attività della Giunta, seppure ci fu, rimane avvolta nelle tenebre.

Un caso diverso da quello appena descritto ed anzi apparentemente opposto -pur avendo come protagonista il medesimo ingegner Bigotti- si verificò a riguardo di un'altra Giunta anch'essa di importanza fondamentale nella gestione delle opere pubbliche, quella dei Lagni, in realtà, al di là del nome, incaricata di quasi tutte le bonifiche messe in cantiere nel regno e persino coinvolta nell'iniziativa del "real passeggio" alla marina di Chiaia. Nel 1767 Bigotti che, non sappiamo da quando, ne faceva parte con diritto di firma, venne estromesso per dare luogo all'utilizzo, in chiave puramente operativa, di un ingegnere camerale, quindi di un civile. Sembra anzi che lo spirito del provvedimento fosse proprio quello di avvicendare gli ingegneri militari -il cui intervento nei lavori a carico della Giunta dei lagni veniva giudicato superfluo- con ingegneri civili[3]. Considerato che questi ultimi erano denominati "camerali" proprio perché dipendenti dalla Sommaria, si potrebbe ipotizzare una sorta di rivincita del marchese Cavalcanti, luogotenente della Camera, sul Corpo degli ingegneri militari: questa volta i togati riescono a liberarsi della loro fastidiosa ingerenza, rimpiazzandoli con dei meri esecutori. Il che ci porterebbe a tracciare una linea di demarcazione, all'interno della categoria degli ingegneri, fra militari e camerali, dei quali solo i primi, strutturati in un corpo, possono vantare un profilo istituzionale ben definito, tale da consentire loro una posizione di indipendenza nei confronti della Sommaria, che certamente era preclusa ai secondi.

Al di là del momentaneo insuccesso, l'apporto militare all'attività degli ingegneri rimane comunque rilevantissimo, come è testimoniato dalla stessa Giunta creata nel 1784, che era costituta da militari per i due terzi. Vennero in-

fatti chiamati a farne parte, gli ufficiali del corpo Giuseppe Capri e Antonio Winspeare; da quest'ultimo -va sottolineato- ci viene uno dei primi esempi di carriera costruita sull'esercizio del mestiere dell'ingegnere, che nel suo caso sarebbe stata coronata dalla nomina a preside. Il terzo componente della Giunta era invece l'ingegnere camerale Lorenzo Jaccarino, scelta in un certo senso obbligata considerati i suoi trascorsi, sui quali è opportuno soffermarci, per l'interesse rivestito dal suo cursus honorum. Già molti anni prima, nel 1769, infatti, al medesimo Jaccarino erano stati affidati incarichi in precedenza attribuiti alla Giunta di ponti e strade e precisamente la cura di tutte le strade definite "reali cammini", essenzialmente quelle che conducevano alle reali cacce; e sempre Jaccarino, che aveva evidentemente ben meritato, fu poi destinato a succedere alla stessa Giunta di ponti e strade in tutte le sue residue incombenze quando, nel 1771, si venne nella determinazione di sopprimerla per la sua scarsa efficienza[4]. Il nostro ingegnere, nella veste di *ispettore generale alle strade*, rappresenta così l'anello di congiunzione fra la plurisecolare Giunta dei ponti e strade, con i suoi poco solerti magistrati, e la nuova Giunta di direzione o "dei tre ingegneri", con i suoi tecnici fattivi e volenterosi, anche se non sempre capaci di farsi valere in un contesto politico ed economico comunque sfavorevole alle grandi iniziative. Vale la pena di sottolineare che l'inedito incarico di ispettore generale fa di Lorenzo Jaccarino il primo ingegnere napoletano che, in quanto tale, abbia conseguito una posizione di potere nel chiuso apparato burocratico napoletano, appannaggio pressoché esclusivo del ceto togato.

La Giunta degli ingegneri ebbe -ahimé- vita breve. Istituita, come abbiamo visto, nel 1784, fu abolita nel 1798. Ma una valutazione della sua efficacia, in funzione anche del periodo di effettiva attività, richiede che il giudizio venga formulato in relazione ad un intervallo di tempo di soli otto anni, contro i quattordici della sua durata ufficiale. Il 1792, infatti, è l'anno fatidico in cui comincia la guerra europea, che si prolungherà per ventitré anni. A partire da quella data, Ferdinando IV ordinò la generale sospensione delle opere di costruzione stradale e l'attribuzione dei relativi fondi al bilancio del settore militare. Tra il 1792 e il 1798 la Giunta è, di fatto, un fantasma, al più incaricata della mera manutenzione; ed anche quest'ultimo settore viene pesantemente condizionato dalle magre risorse del bilancio statale, in un contesto interno e internazionale sempre più cupo. Ciononostante, negli ultimi due anni della sua esistenza, l'organismo, almeno formalmente, si arricchisce di nuovi componenti, arrivando a contarne non più tre ma quattro. Al posto di Winspeare (promosso preside) e di Capri (deceduto), sono stati chiamati a farne parte Francesco Sallent e Santi de Ferdinando, anche essi ingegneri militari, a testimonianza della dichiarata volontà governativa di preservare la presenza militare in seno alla Giunta. Senonché, a quanto sembra, i

due militari non furono mai effettivamente operativi, venendo assorbiti in ben altre occupazioni (e si capisce, considerati i tempi). Il quarto membro della Giunta è invece un "civile", l'ingegnere Carlo Pollio[5]; e dal momento che per Jaccarino, ormai molto avanti nell'età, non risulta più possibile svolgere alcuna concreta attività, proprio su Pollio finisce per ricadere l'intero carico- per quanto esiguo in termini finanziari- delle strade. Come già l'anziano collega, anche Pollio, per un paio di anni, può fregiarsi dell'appellativo di "ispettore generale", quasi a sancire un ritorno agli anni settanta del secolo, quando un solo tecnico -allora Jaccarino- doveva fronteggiare impegni che avrebbero richiesto ben altra mobilitazione di risorse umane. Non sorprende allora che qualche decennio più tardi, Afan de Rivera e la sua scuola, nella battaglia ideale contro i trascorsi istituzionali "pre-francesi", ignorassero questa breve esperienza di fine settecento, considerandola implicitamente tanto poco significativa da non meritare neanche un accenno polemico.

Il ruolo istituzionale degli ingegneri, già così sensibilmente ridimensionato, non sopravvive alla gravissima crisi che attanaglia il Regno; come se la oscillante fiducia riposta dal governo nella categoria si rivelasse ancora troppo fragile per reggere di fronte all'emergenza. Si preferisce così ripiegare su formule più note. Nel 1798 l'esperimento della Giunta di tecnici viene definitivamente liquidato a favore di una Soprintendenza delle strade guidata da un notabile, peraltro non di spicco, il marchese della Valva, uomo della feudalità minore6. La sua nomina sembra sia giustificata dalla buona prova che il marchese ha dato nel promuovere i lavori di una strada destinata ad unire il cammino di Calabria, all'altezza di Eboli, con la Puglia, attraverso l'alta Basilicata. Un'opera strategicamente interessante, che però si sarebbe fermata, qualche anno dopo, fra Venosa e Lavello, alimentando perciò malevoli insinuazioni da parte di quanti vollero vedervi solo un'utile via di comunicazione alle terre del suo costruttore.

Alla vigilia della rivoluzione repubblicana, l'epoca degli ingegneri al governo appare comunque conclusa. Sappiamo invece che, trascorsi solo dieci anni, sarebbe nato il Corpo di ponti e strade e la battaglia per riportare gli ingegneri al governo avrebbe ripreso il suo corso, con alterne vicende. Gli ingegneri del secolo XIX - primo Carlo Afan de Rivera - non furono mai generosi verso i colleghi di antico regime. Eppure la storia della loro progressiva e controversa ascesa sociale e, più ancora, istituzionale era cominciata proprio grazie a questi ormai dimenticati predecessori: Lorenzo Jaccarino, Giuseppe Capri, Antonio Winspeare.

[1] ASNa, *Direzione Generale di Ponti e strade*, Giunta e Soprintendenza delle strade, 184.
[2] ASNa, *Segreteria di Azienda*, a. 1761, Diversorum.
[3] ASNa, *Direzione Generale di Ponti e strade*, III serie, b. 10, reg. 87, f. 1v.
[4] ASNa, *Direzione Generale di Ponti e strade*, b. 1, inc., foll. 1, 51.
[5] ASNa, *Direzione Generale di Ponti e strade*, Giunta e Soprintendenza delle strade, Reali Dispacci, s.n.
[6] ASNa, *Direzione Generale di Ponti e strade*, Giunta e Soprintendenza delle strade, Reali Dispacci, s.n.

Alfredo Buccaro

Nascita e tradizione dell'Architettura per gli Ingegneri nella Scuola napoletana di Ponti e Strade

Sulla scorta di studi recenti[1] , è oggi possibile affrontare più approfonditamente le problematiche relative allo sviluppo della disciplina architettonica nell'ambito della Scuola di Applicazione fondata a Napoli in età napoleonica, seguendone gli esiti, oltre l'Ottocento, fino alla prima metà del secolo scorso. Più in generale, gli aspetti concernenti la formazione e lo sviluppo, in età contemporanea, della figura dell'ingegnere nell'ambito del Mezzogiorno possono essere indagati attraverso il ricco repertorio storico-bibliografico che costituisce oggi il patrimonio della sezione "Libri antichi" della biblioteca della Scuola, ereditata dalla Facoltà di Ingegneria, nonché mediante la cospicua documentazione presente nei fondi dell'Archivio di Stato di Napoli[2] .

Come è noto, tale vicenda seguì di pari passo, nel più vasto ambito europeo, il progresso delle tecniche costruttive e dei nuovi materiali che lo sviluppo industriale ampiamente favorì, portando di fatto alla separazione di due figure professionali, l'architetto e l'ingegnere, un tempo coincidenti. Quando, all'alba dell'età moderna, cominciò a delinearsi il ruolo dell'architetto distinto da quello del capomastro, sorse naturale anche la differenziazione tra una progettazione meramente tecnica, specie nel campo delle opere pubbliche o militari, e quella con più marcato carattere architettonico, segnatamente di committenza reale, nobiliare o religiosa. Si diffusero allora definizioni del tipo di "architetto vulgo ingegniero" o di "architetto, o sia l'ingegniero che discorre", nel senso che la gente comune, non fruendo delle opere auliche, ma solo delle pubbliche infrastrutture fatte dai cosiddetti "ingegneri", l'architetto non sapeva neppure chi fosse. Eppure si trattava, nella maggioranza dei casi, della medesima persona.

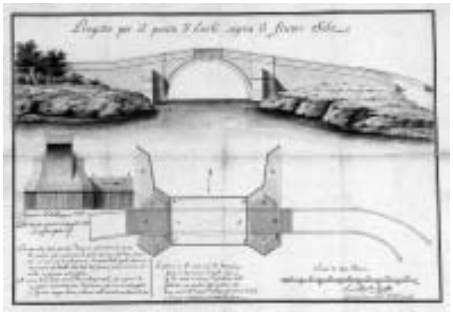


Fig. 1 - L. Vanvitelli, Progetto del Ponte sul fiume Sele, 1758. Napoli, Archivio di Stato

Luigi Vanvitelli fu, in ambito napoletano, l'ultimo grande architetto prima della nascita delle scuole di ingegneria, quella militare e, poi, quella di Ponti e Strade, prima, cioè, della grande rivoluzione tecnico-scientifica e didattica che a partire dalla Francia investì tutta Europa nel giro di mezzo secolo, fino all'istituzione delle scuole politecniche in

età napoleonica e alla conseguente diffusione degli insegnamenti di Durand. A Vanvitelli, alla sua figura di artista a tutto tondo, l'*École Polytechnique* sostituì quella di un professionista cui veniva affidata la maggioranza degli incarichi pubblici, restando limitata l'attività dell'architetto quasi esclusivamente alla sfera privata. Così, mentre le accademie si trovarono sempre più irretite in diatribe stilistiche che avrebbero presto portato alla sterilità dell'eclettismo, gli ingegneri considerarono l'architettura civile uno dei tanti campi in cui essi erano abilitati a svolgere attività progettuale e di ricerca applicata.

Le basi essenziali su cui nel 1809 fu istituto a Napoli da Gioacchino Murat il Corpo degli ingegneri di Ponti e Strade



CORPO REALE
DI PONTI, E STRADE.

CONCORSO PER L'AMMISSIONE DELLE ALUNNE.

AVVISO

Fig. 2 - Bando per l'ammissione alla Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, 1812. Napoli, Archivio di Stato

e, nel 1811, la relativa Scuola di Applicazione sul modello francese, erano destinate a caratterizzare fin oltre l'Unità il bagaglio di conoscenze degli allievi ingegneri, cui, agli esami di ammissione, era richiesta tra l'altro una buona conoscenza della lingua italiana e francese scritta e parlata, oltre a quella del latino, delle materie storico-letterarie e della storia dell'arte. Se i primi docenti della Scuola, come del resto i primi ingegneri del Corpo, furono di fatto architetti, perché ancora nessuno era dotato del titolo ufficiale di ingegnere, proprio l'impostazione da loro data alla Scuola favorì la formazione di una figura completa di *scienziato-artista*, secondo la definizione di Carlo Afan de Rivera, direttore generale del Corpo e ispiratore della politica borbonica delle opere pubbliche per circa trent'anni. È quanto si evince anche dalle prove d'esame e dai libri di testo: se da un lato si registra un costante aggiornamento tecnico, anche grazie ai viaggi periodici in Francia, Inghilterra e altri paesi europei, dall'altro, in materia di architettura, alle riedizioni dei più noti trattati cinque-seicenteschi si accompagnavano quelli dei contemporanei Milizia, Navier, Rondelet, Durand, Bélidor, che risultavano adatti all'apprendimento dei metodi di progettazione delle nuove tipologie dell'edilizia pubblica richieste dallo stato borghese. È anche vero, d'altra parte, che dal punto di vista stilistico i modelli adottati nella Scuola di Applicazione restarono, tranne rari casi, ancorati a un ristretto repertorio di stereotipi neoclassici.


LA SCIENCE

DES INGÉNIEURS,

PAR BÉLIDOR.

A PARIS,

Fig, 3 - Frontespizio de La Science des Ingénieurs *di B. Forest de Bélidor, Paris 1813*

Che ancora per tutto l'Ottocento questi professionisti conservassero la duplice veste di *scienziati-artisti* è dimostrato dal fatto che molti di loro ricoprirono nello stesso tempo il ruolo di ingegneri del Corpo di Ponti e Strade e di architetti negli organi preposti alla cura e all'abbellimento della capitale. Tra essi, in età preunitaria, il più importante fu certamente Giuliano de Fazio, autore di saggi in materia di progettazione delle opere pubbliche che si diffusero presto in tutta Europa, come i suoi studi per l'impianto panottico delle carceri o quelli sui porti flegrei di età romana, di cui ripropose la struttura nei suoi progetti di nuovi scali nel Regno, secondo un programma di "archeologia idraulica". Nei decenni della Restaurazione gli ingegneri napoletani rafforzarono le proprie peculiarità in campo architettonico, gradualmente orientate, però, verso gli aspetti più specificamente tecnologici e strutturali: si pensi ad esempio a Luigi Giura, autore dei primi ponti di ferro italiani e Ministro dei Lavori Pubblici nel 1860.

Si comprende allora come da un lato la crescente crisi dell'architetto, dall'altro l'evoluzione durandiana della nozione di architettura come scienza in cui la vera decorazione debba derivare dalla disposizione più conveniente ed economica degli elementi costruttivi, rafforzassero la convinzione che il titolo di ingegnere includesse di fatto quello di architetto. Addirittura sotto Ferdinando

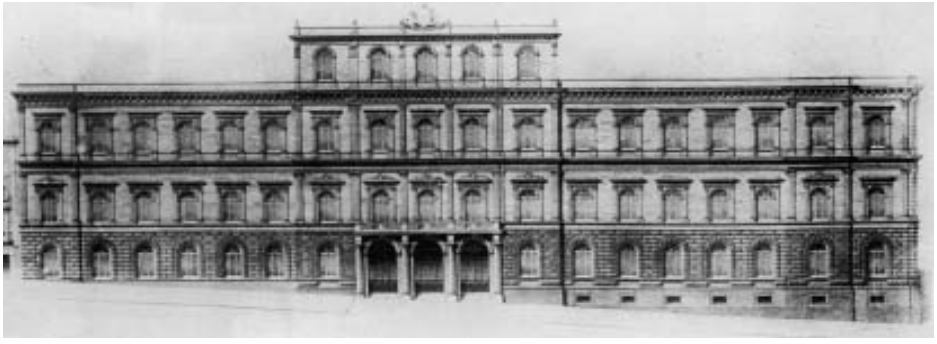


Fig. 4 - Prospetto della R. Scuola d'Ingegneria su via Mezzocannone, 1934. Università di Napoli Federico II, Bibl. Facoltà di Ingegneria

II fu concessa gratuitamente agli ingegneri diplomati presso la Scuola di Applicazione la laurea in architettura rilasciata dall'Università.

Dopo l'Unità la Scuola napoletana fu adeguata nell'impostazione didattica al modello torinese e a quello padovano, che negli anni '70-'80 ricevettero l'impronta di importanti personalità, quali quelle di Giovanni Curioni e Daniele Donghi. A partire dal 1876 nella Regia Scuola d'Ingegneria di Napoli furono stabiliti due corsi, l'uno per ingegneri per così dire 'integrali', l'altro per soli architetti, più 'leggero' nelle materie scientifiche. Proprio in quegli anni, del resto, la separazione delle due figure e dei relativi corsi di studio fu sancita anche nei congressi degli ingegneri e architetti del 1875 e del '77.

Nell'ambito dell'ordinamento didattico della Scuola napoletana nell'ultimo quarto del secolo possiamo trarre conferma della connotazione sempre più specialistica delle conoscenze di architettura poste alla base dei programmi di insegnamento. In tal senso riteniamo emblematica la vicenda relativa all'introduzione e allo sviluppo della nuova disciplina dell'*Architettura Tecnica*, che avrà come principali riferimenti, fino a tutto il primo dopoguerra, le ricordate esperienze torinese e padovana, mantenendo una collocazione didattica a metà strada tra le scienze dell'architettura e quelle dell'ingegneria, ma assumendo quale metodologia di base una concezione sempre più tecnica e 'tipologica' della progettazione.

È noto come, già prima dell'Unità, alla separazione sempre più marcata tra le competenze prettamente 'artistiche' dell'architetto e quelle sempre più tecnico-specialistiche dell'ingegnere facesse riscontro in molti casi, nelle scuole di ingegneria, l'affidamento dell'insegna-

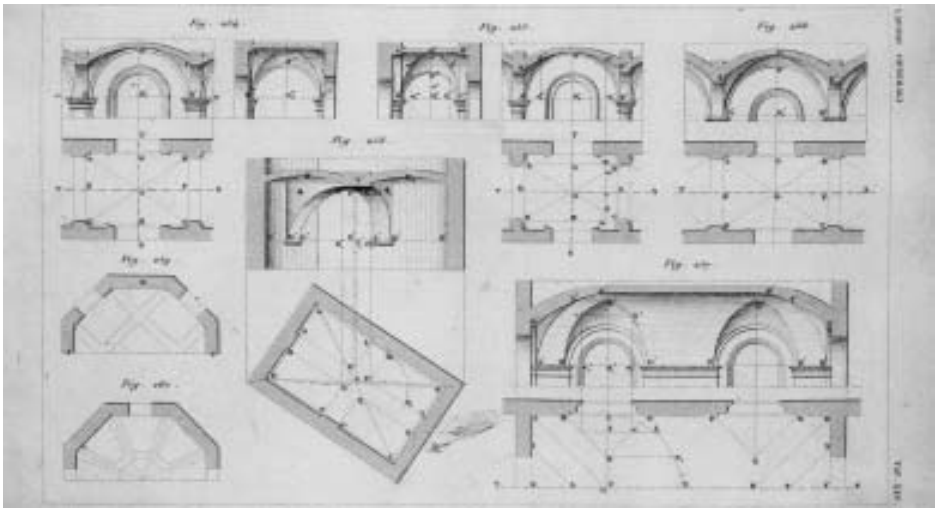


Fig. 5 - G. Curioni, Raccolta di progetti di costruzioni in terra e muratura*, tav. XXV, allegata a Id.,* L'Arte del fabbricare*, Torino 1881*

mento dell'architettura a professori delle accademie di Belle Arti. Così, specie negli ultimi decenni del XIX secolo, se da un lato la diffusione di nuovi materiali e metodi costruttivi pose sempre più all'attenzione degli operatori le questioni relative ai caratteri strutturali della progettazione, dall'altro questi ultimi non sembravano ancora giocare un ruolo 'ufficiale' sotto il profilo strettamente architettonico, affidato in generale all'applicazione, 'in superficie', degli apparati propri del repertorio eclettico-storicistico. Risulta quindi naturale come l'unica strada per rendere l'insegnamento dell'architettura da destinarsi agli ingegneri strumentale al grado di preparazione tecnica e professionale richiesto fosse quella di coniare un'architettura *pratica* – come in principio si chiamò – atta a fornire a quei tecnici, impegnati ordinariamente in ambito civile, gli strumenti più semplici della progettazione, ivi inclusi quelli riguardanti gli aspetti decorativi. Di conseguenza anche nei programmi didattici cominciò a manifestarsi la frattura tra i temi dell'architettura aulica, detta *superiore* o *generale*, e quelli dell'edilizia, definita *architettura pratica* o *tecnica*, specificamente affidata agli ingegneri e volta alla sperimentazione di nuovi metodi e materiali: la nuova disciplina compare dunque per la prima volta all'interno dei manifesti degli studi della Scuola dell'ex capitale del Mezzogiorno nel 1880[3].

Di fronte a tale dicotomia, persino figure di docenti di grande levatura – da Basile a Donghi – che costituirono nelle scuole d'ingegneria il *trait d'union* con la più pura tradizione architettonica, preferirono tenersi su posizioni non ben definite[4]. A ciò va aggiunta la confusione che, a partire dal 1920, susciterà l'istituzione delle scuole superiori di architettura, con il preciso intento di formare l'architetto 'moderno', artista e tecnico nel contempo, dotato di precipue conoscenze storiche e stilistiche: ciò, oltre a rafforzare le vecchie posizioni delle accademie, avrebbe presto condotto all'equivoco della destinazione delle scuole di ingegneria all'insegnamento di un'architettura, per così dire, di rango inferiore, destinata a professionisti 'tuttofare' di prevalente formazione 'manualistica'[5].

I libri di testo presenti nell'antica biblioteca della Regia Scuola di Ingegneria di Napoli mostrano, proprio a partire dagli anni '80, una particolare attenzione volta ai caratteri costruttivi, alle tecniche e ai materiali relativi alle diverse categorie di opere, oltre all'utile illustrazione dei metodi di calcolo e verifica di resistenza dei vari tipi di strutture in rapporto alle più recenti esperienze nel campo della scienza delle costruzioni. Sin dall'inizio la manualistica di marca torinese si distinse per l'ampia diffusione avuta in Italia, proprio a partire da quell'importante polo scientifico e didattico che fu la Scuola del capoluogo piemontese.

La famosa opera in sei volumi di Giovanni Curioni, dal titolo *L'Arte del Fabbricare*, pubblicata a Torino in ben undici edizioni dal 1864 al 1884, fu all'epoca il testo di costruzioni più noto in ambito accademico. Al clamoroso suc-

cesso del manuale contribuì sia il prestigio di Curioni, figura di primo piano all'interno della Scuola di applicazione sabauda dal 1861 al 1887, sia la qualità dei contenuti e l'efficacia divulgativa del testo. L'appendice all'opera, dal titolo *Raccolta di progetti di costruzioni in terra e muratura*[6], dimostra come sia possibile progettare organismi architettonici di una certa complessità componendo in maniera opportuna gli elementi costruttivi studiati singolarmente ne *L'Arte del Fabbricare*. Le tavole della *Raccolta*, peraltro, funsero da base per la realizzazione, a cura dei tecnici della scuola torinese, dei modelli didattici poi acquistati anche dall'omologa istituzione napoletana tra il 1873 e il '94; questi ultimi sono significativi non solo per la bellezza e la straordinaria accuratezza tecnica, ma soprattutto perché consentono di cogliere con immediata evidenza gli aspetti tecnici dell'insegnamento dell'architettura sullo scorcio dell'Ottocento[7]. Questi plastici possono essere considerati quali sussidi didattici 'tipologici', in quanto non riproducono mai interi edifici, ma illustrano gli elementi *semplici* di un'architettura: utilizzando queste tipologie elementari gli allievi ingegneri avrebbero acquisito, come affermava Durand, «la capacità di ben comporre tutti gli edifici, anche quelli di cui non avessero mai sentito parlare».[8]



Fig. 6 - R. Scuola d'Ingegneria di Napoli, Sala dei modelli e calchi, 1934. Università di Napoli Federico II, Bibl. Facoltà di Ingegneria

A Napoli sin dal 1887 l'insegnamento di quella parte delle costruzioni avente stretta attinenza con gli edifici civili fu affidato nella Scuola al docente di Architettura. Infatti la cattedra di Costruzioni Civili, fino ad allora coperta da Federico Travaglini, fu abolita, dandosi al suo assistente Raffaele Folinea l'incarico dell'insegnamento di Architettura Tecnica: Folinea, già professore onorario nel Real Istituto di Belle Arti, all'inizio degli anni '90 figura quindi nella Scuola «pareggiato in Disegno di Architettura e incaricato dell'insegnamento di Architettura Tecnica». A lui si deve in effetti la prima vera organizzazione della disciplina, di cui fu titolare fino al 1924.[9]

La ricerca teorica di Folinea, oltre a comprendere studi minori in materia di estimo e di statica dei fabbricati in muratura, ha il suo esito più significativo nel *Riassunto delle lezioni di Architettura Pratica per gli alunni del 2° corso della R. Scuola d'Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli*, pubblicato a Napoli nel biennio 1891-92.[10] Il testo è di grande interesse per un verso perché registra i principî dell'insegnamento dell'architettura così come si erano affermati nelle scuole di ingegneria italiane a partire dal modello della École Polytechnique di Parigi e, per altro verso, perché esprime un tentativo

originale dell'autore di superare l'eclettismo storicistico che aveva caratterizzato l'insegnamento del suo predecessore, proponendo un approccio alla progettazione radicato nella tradizione scientifica della Scuola napoletana e aperto, nel contempo, agli stimoli innovativi dell'architettura europea. Folinea definisce il campo d'interesse dell'architettura civile facendo corrispondere alle diverse destinazioni d'uso degli edifici altrettante categorie progettuali; in tal modo egli stabilisce un legame di continuità con i principî di Milizia, che erano stati un riferimento costante nell'insegnamento dell'architettura sin dai primi anni della fondazione della scuola. Nella parte iniziale l'autore si ispira nuovamente ai principî di «composizione per elementi» propugnati da Durand: se gli «elementi» delle costruzioni sono il punto di incontro tra discipline architettoniche e strutturali, lo studio delle loro possibili combinazioni in 'parti' più complesse definisce un campo di specifico interesse della progettazione architettonica[11].

Con l'Unità il titolo conseguito presso la Scuola d'Ingegneria di Napoli era stato reso abilitante alla professione grazie all'integrazione di un corso propedeutico istituito presso la facoltà di matematiche dell'Università (1863); in seguito, nel 1905, la Scuola di Applicazione era stata sostituita dalla Scuola Superiore Politecnica, in cui erano state riunite la Scuola di Ingegneria e quella di Architettura, lasciandosi attivo presso l'Istituto di Belle Arti il solo insegnamento di Disegno[12]. Nel 1935 la Scuola Politecnica si scinderà nuovamente nelle Facoltà di Ingegneria e di Architettura, restando di fatto irrealizzato a Napoli il modello del politecnico, istituito invece a Torino e a Milano.

Alla figura accademica e all'azione didattica di Camillo Guerra, docente di Architettura Tecnica e di Composizione Architettonica tra il 1940 e il '60, sono legati i successivi sviluppi dell'insegnamento dell'*architettura per gli ingegneri* nella Scuola napoletana. In uno scritto del 1923[13] Guerra avverte l'esigenza di una più solida preparazione artistica nelle scuole di applicazione: a fronte, infatti, dell'istituzione delle scuole di architettura, nulla si era fatto per attrezzare meglio, sotto tale aspetto, quelle di ingegneria, essendo ormai tempo che gli ingegneri adeguassero le proprie conoscenze «allo scopo di esercitare l'Arte del costruire con bellezza». In un altro articolo apparso sul «Giornale d'Italia» il 28 giugno 1923, dal titolo *Gli architetti e gli ingegneri… cani e gatti*, Guerra torna sull'argomento[14], osservando come, a fronte dell'introduzione presso le scuole politecniche di sempre più numerose specializza-zioni, per ingegneri industriali, meccanici, chimici, elettrotecnici, aeronautici, ecc. e, nel campo dell'architettura, dell'istituzione delle scuole superiori di architettura, la 'generica' e onnicompren-siva laurea in Ingegneria Civile non avesse più alcun senso, essendo divenuta sproporzionata e ridondante di nozioni tecniche: per Guerra andava abolita, affiancando alle altre specializza-zioni una «scuola specializzata del moderno in-

gegnere di ponti e strade e quella del moderno ingegnere architetto», cui si potesse accedere solo con un'adeguata preparazione umanistica[15]. Un decennio più tardi, nella premessa alle *Esercitazioni e Composizioni di Architettura degli allievi dei tre corsi civili del R. Istituto Superiore d'Ingegneria di Napoli nell'anno 1934-1935*[16], Guerra nota la necessità di assicurare agli allievi ingegneri «una buona preparazione nel disegnare ed una conoscenza dell'arte nostra, che li metterà certamente alla pari dei laureati delle scuole di Architettura: non essendo stato ancora introdotto nell'ordinamento un corso di storia dell'architettura (che, come sappiamo, vedrà la luce solo mezzo secolo più tardi), il ridisegno dei monumenti del passato, dall'età greca all'Ottocento, avrebbe almeno assicu-rato una soddisfacente conoscenza delle opere dell'antichità. Infine nel 1945, ormai forte di un'esperienza decennale di insegnamento, nella prima parte della sua *Architettura Tecnica*[17] Guerra mostrerà di prendere finalmente le distanze dall'eclettismo storicistico e da una 'progettazione per elementi giustapposti' ancora assai diffusa. Su questa scia l'Architettura Tecnica si svilupperà nel secondo dopoguerra, acquisendo un ruolo significativo nel bagaglio formativo degli ingegneri, nel quadro di una graduale maturazione dei principî di unità della formazione professionale in materia architettonica. Recentemente, nell'occuparmi di Luigi Cosenza, ingegnere e vero protagonista dell'architettura del Razionalismo italiano nel Mezzogiorno, di cui nel 2005 abbiamo celebrato il centenario della nascita con una giornata di studi a Napoli, ho potuto constatare come, dopo Guerra, anche Cosenza sostenesse, a fronte dell'avvenuta separazione delle professioni, non solo l'esigenza di maggiori competenze storico-critiche da parte degli ingegneri, ma, finalmente, la sintesi delle due figure in quella, più antica, dell'*ingegnere architetto*, snaturata nel corso di un secolo dal sempre più accentuato tecnicismo degli ingegneri come dal vuoto decorativismo degli architetti.

Con riferimento, infatti, ai rapporti e alle polemiche tra le scuole di ingegneria e quelle di architettura, Cosenza scriverà nel 1950: «Diversità di idee e di indirizzo solo apparenti, nei loro aspetti di prevalenza della tecnica o dell'arte, ciascuno teso ad integrare, a proporzionare, ad orientare i propri metodi di insegnamento, traendo suggerimenti dalle esperienze dell'altro, per tendere in ultimo al comune obbiettivo di formare dei tecnici che abbiano i requisiti morali e culturali per assolvere al loro delicatissimo compito»[18]. L'insegnamento dell'architettura deve quindi mirare a mettere in condizione gli allievi di «pensare correttamente da scienziato e da artista»: è, in pratica, anche il programma culturale e didattico che da cui nasce la sua idea per la nuova sede della Facoltà, ispirata all'antica scuola politecnica fondata a Napoli dai francesi. Parlando allora di architetto e ingegnere, Cosenza sottolinea più volte la necessità di formare tecnici completi: «Lo sviluppo critico degli studi storici

ed artistici giova alla formazione culturale degli architetti, l'ampiezza delle conoscenze nel campo delle tecniche più svariate pone nelle mani dell'ingegnere strumenti di inestimabile valore per modellare un'opera nello spazio. Ma una formazione completa non sarà possibile né all'uno né all'altro, se essi quei mezzi non li possederanno tutti, se non sapranno vederli in una sintesi…»[19].

Oggi, pur prendendosi atto della nascita di sempre nuovi specialismi nel campo dell'ingegneria – dall'elettronica alla informatica al gestionale – in ambito architettonico si sta assistendo ad un recupero, di cui siamo fermamente convinti, dell'originaria integrità della figura professionale, recupero che ha avuto esito nell'istituzione della nuova laurea in *ingegnere-architetto*: non solo si avverte l'esigenza di restituire all'ingegnere lo spessore culturale che caratterizzò le prime scuole di applicazione, spogliandolo dell'etichetta tecnicistica attribuitagli con la nascita delle specializzazioni, ma di considerare l'inopportunità di una distinzione tra un'architettura degli architetti e una degli ingegneri, che ha annullato in tanti casi il contributo di questi ultimi all'architettura, lasciando di loro pertinenza la cosid-detta 'edilizia' e compromettendo di fatto l'unicità stessa dell'opera architettonica.

Non si tratta di tornare all'originaria identità o, se si vuole, alla confusione dei ruoli, ma semplicemente di recuperare le radici storiche e tutta la componente umanistica della professione, chiaramente emergente sia da quelli che furono gli strumenti di apprendimento e formazione degli ingegneri fino al primo dopoguerra, sia dai loro elaborati progettuali, come dalle stesse opere realizzate.

[1] Sulla Scuola di Applicazione di Napoli si vedano in particolare: G. Russo, *La Scuola d'Ingegneria in Napoli. 1811-1967*, Napoli, E.S.I., 1967; A. Buccaro, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento*, Napoli, E.S.I., 1985; Id., *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Napoli, Electa Napoli, 1992; Id., *La Scuola di Applicazione di Ponti e Strade. Formazione e ruolo degli ingegneri nello Stato preunitario*, in Aa. Vv., *Civiltà dell'Ottocento. Architettura e urbanistica*, a cura di G. C. Alisio, Napoli, Electa Napoli, 1997; *Scienziati-Artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria*, a cura di A. Buccaro e F. De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003; *Dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*, a cura di A. Buccaro e S. D'Agostino, Benevento, Hevelius Edizioni, 2003.

[2] Si veda *Scienziati-Artisti*, cit., passim.

[3] Cfr. in proposito A. Buccaro, *L'insegnamento dell'Architettura Tecnica nella Scuola di Ingegneria di Napoli tra Otto e Novecento: l'influenza torinese e padovana*, in *Daniele Donghi, ingegnere polivalente e architetto del manuale*, *Atti del Convegno nazionale, Padova, 10-11-12 febbraio 2005,* a cura di G. Mazzi e G. Zucconi, Venezia, Ed. Marsilio, in corso di pubblicazione.

[4] Cfr. E. Mandolesi, *Cento anni d'insegnamento dell'architettura nelle scuole d'ingegneria*, in *Atti del convegno dei docenti di discipline architettoniche delle Facoltà d'Ingegneria, Trieste 13-15 giugno 1963*, Trieste, a cura dell'Istituto di Architettura e Urbanistica dell'Università, 1964, pp. 73-108.

[5] *Ivi*, pp. 88-89. Si vedano inoltre sull'argomento: L. Patetta, *L'architettura dell'Eclettismo. Fonti, teorie, modelli 1750-1900*, Milano, G.

Mazzotta editore, 1975, pp. 260-306; A. Buccaro, *I 'dettagli' di architettura nei manuali di ingegneria: l'eredità della biblioteca della Scuola napoletana di Ponti e Strade*, in *Architettura e arti applicate fra teoria e progetto. La storia, gli stili, il quotidiano 1850-1914*, a cura di F. Mangone, Napoli, Electa Napoli, 2005.

[6] G. Curioni, *Raccolta di progetti di costruzioni in terra e muratura. Tavole in folio ad illustrazione del volume quarto dell'Appendice all'Arte di fabbricare*, Torino, A.F. Negro Ed., 1881. Cfr. F. Viola, scheda in *Scienziati-Artisti*, cit., pp. 290-291.

[7] F. Viola, *Il sussidio dei modelli nella progettazione architettonica*, in *Scienziati-Artisti*, pp. 315-316. I modelli, oggi conservati presso il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università di Napoli Federico II, appartenevano ad una più ampia collezione conservata presso il Gabinetto di Costruzioni, nell'antica sede della Scuola nell'ex monastero di Donnaromita.

[8] F. Viola, *Il sussidio dei modelli*, cit., p. 316.

[9] Cfr. *R. Scuola d'Applicazione per gl'ingegneri*, pubbl. deliberata dal Consiglio Direttivo per l'Esposizione nazionale di Torino, Napoli 1898; G. Russo, *La Scuola d'Ingegneria*, cit., pp. 213, 242; F. Viola, scheda in *Scienziati-Artisti*, cit., pp. 292-294. Si veda pure C. Laneri, *Raffaello Folinea*, commemorazione fatta il 22 gennaio 1917, in *Annuario dell'Università di Napoli, a.a. 1918-19*, pp. 58-64.

[10] F. Viola, scheda in *Scienziati-Artisti*, cit., pp. 292-294.

[11] Folinea, alludendo proprio a Durand, chiama «ambienti» le unità spaziali minime presenti nell'architettura e, nella convinzione che «la buona riuscita di un edifizio dipende da molte cause fra le quali primeggia la pianta», dedica proprio allo studio degli schemi planimetrici una parte importante del corso. Al testo di Folinea venne ad aggiungersi quale sussidio didattico, a partire dal 1894, il noto *Manuale dell'Architetto* di Daniele Donghi, presente presso la biblioteca della Facoltà di Ingegneria di Napoli nelle varie edizioni stampate a Torino, fino a quella del 1925. Ci interessa qui notare come l'autore sottolineasse, sin dalla premessa, la necessità di un approccio didattico-disciplinare all'architettura basato su uno stretto rapporto tra scienza e arte. Ma, riguardo in particolare agli aspetti stilistico-decorativi, vi si ritrova un'impostazione ancora filologica e poco aperta al rinnovamento del linguaggio architettonico. E. Mandolesi, *Cento anni di architettura*, cit., pp. 89-92.

[12] Ricordiamo che, prima dell'Unità, tre differenti istituzioni impartivano l'insegnamento dell'architettura, ossia la Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, che formava i «tecnici», l'Istituto di Belle Arti, che formava gli «artisti», e l'Università, che conferiva la vera e propria laurea in Architettura, formando i professionisti abilitati a svolgere attività di periti giudiziari. Cfr. F. Mangone-R. Telese, *Dall'Accademia alla Facoltà. L'insegnamento dell'architettura a Napoli 1802-1941*, Benevento, Hevelius Edizioni, 2001, pp. 21-22; A. Buccaro, *Da «architetto vulgo ingegniero» a «scienziato artista»: la formazione dell'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, in *Scienziati-Artisti*, cit., p. 37.

[13] C. Guerra, *Polemiche per la specializzazione degli ingegneri in Architettura*, «Opuscoli di Architettura Tecnica», s.n. (1923-28).

[14] Si veda pure l'articolo dal medesimo titolo apparso sullo stesso quotidiano il 5 luglio 1923, poi in «Opuscoli di Architettura Tecnica», s.n. (1923-28).

[15] C. Guerra, *L'Architettura ed il senso estetico nel Genio Civile*, «Giornale d'Italia», ott. 1923, poi in «Opuscoli di Architettura Tecnica», s.n. (1923-28).

[16] Cfr. «Quaderni di architettura e di urbanistica napoletana raccolti dall'ing. C. Guerra», XXX (1935).

[17] C. Guerra, *Architettura Tecnica*, 3ª ediz., Napoli, R. Pironti editore, 1945, p. 13.

[18] L. Cosenza, *Esperienze di architettura,* Napoli, Macchiaroli, 1950, pp. 14-15.

[19] *Ibidem*, cit. in F. D. Moccia, *Luigi Cosenza scritti e progetti*, cit., p. 167. Sono in effetti le stesse conclusioni cui era giunto già un secolo prima, nel 1877, l'architetto Davioud, vincitore di un concorso bandito dall'Académie sul tema «L'unione o la separazione dell'ingegnere e dell'architetto», così esprimendosi: «L'accordo non diverrà mai reale, completo e fruttuoso finché l'ingegnere, l'artista e lo scienziato non saranno fusi insieme nella stessa persona». A. Buccaro, *I "dettagli" di architettura*, cit., p. 110.

Andrea Silvestri

La nascita delle Facoltà di Ingegneria e di Architettura in Italia

1. *Una premessa*

La formazione degli ingegneri e architetti italiani, fino alle riforme settecentesche, avveniva tramite il praticantato e lo svolgimento della professione; a Milano il Collegio degli ingegneri e architetti (1563) controllava la professione stessa e dopo il tirocinio "patentava" gli aspiranti, di famiglia che non avesse esercitato "arte vile o meccanica" per cinquant'anni.

La valorizzazione della preparazione teorica di base di ingegneri e architetti, con la discesa in Italia di Napoleone, comincia a essere affidata all'Università, in particolare alle Facoltà filosofiche cui afferivano le discipline matematico-fisiche; resta all'esterno il tirocinio pratico, mentre l'abilitazione finale alla professione è conferita dallo Stato (al quale, per esempio a Milano, passano le competenze del disciolto Collegio). Anche con la Restaurazione, l'Università resta il baricentro dell'istruzione tecnico-scientifica, nelle Facoltà matematiche che si rendono autonome da quelle filosofiche.

2. *I Politecnici di Torino e Milano*

Nel 1859, dopo la conquista della Lombardia da parte del Regno Sabaudo, si pone il problema di una soluzione unitaria di tipo universitario all'istruzione tecnica superiore: ne deriva – anche sotto l'egida della stretta collaborazione tra due influenti personaggi politici di estrazione appunto universitaria, il piemontese Quintino Sella (già coinvolto, a Torino, in un Regio istituto tecnico per l'"istruzione scientifica dei produttori industriali") e il milanese Francesco Brioschi (professore all'Università di Pavia, da secoli l'unica Università della Lombardia) – il Regio Decreto noto come Legge Casati. Nascevano a Torino la Scuola di Applicazione per gli ingegneri (1860), a Milano il Regio Istituto Tecnico Superiore (1863). Mi soffermerò sulla genesi delle Scuole torinese e milanese, perché i loro modelli costituirono il riferimento, tra analogie e differenze (in estrema sintesi, Torino secondo l'esempio francese di impostazione prevalentemente scientifica, Milano secondo l'esempio tedesco molto legato alle esigenze industriali e produttive), per le altre esperienze italiane di Scuole universitarie di ingegneria e architettura, pur nella situazione variegatissima (quanto all'assetto sociale ancor prima che universitario o tecnologico) degli stati preunitari ma anche dell'Italia unita.

2.1. *Torino*

2.1.1. *La Scuola di Applicazione*

Le peculiarità ambientali dello Stato sabaudo[1], così come l'originalità del suo modello amministrativo attento alla costruzione dei ceti dirigenti, sono rilevanti nella progressiva messa a fuoco della

figura dell'ingegnere. Le attività militari, il settore minerario-metallurgico, quello delle acque, i tecnici-amministratori con competenze viarie, i tecnici civili investiti anche di responsabilità in merito alla crescita architettonico-urbanistica, vanno inquadrati in un contesto privo di tradizioni quanto ai collegi professionali di ingegneri e architetti (al contrario che a Milano). La riforma dell'Università di Torino, che si riavviava nel 1720 dopo una lunga interruzione, accentua sì l'attenzione per l'esercizio delle professionalità, comprese quelle degli ingegneri e architetti, ma senza definire corsi di studio preliminari al progetto finale, corsi di studio che solo dopo un cinquantennio sarebbero stati precisati in modo articolato per agrimensori, misuratori, architetti civili e idraulici.

Con l'avvio di una timida industrializzazione, si giunge verso metà Ottocento, entro l'Università, a un corso di matematica che prevede le specializzazioni di ingegneria idraulica e architettura civile. A contatto poi con più decise forme di modernizzazione (ferrovie, trafori, porti, poste e telegrafi) e a fronte di progetti innovativi di riforme nella formazione tecnica superiore, si arriva all'istituzione nel 1852 del già citato Regio istituto tecnico le cui basi anche teoriche erano simili a quelle fornite dall'Università, con la quale infatti esistevano scambi di corsi e altre sinergie. Nel 1860 dal Regio istituto tecnico nasce la Scuola di Applicazione per gli ingegneri (degli ingegneri, si sottolinea, essendo gli architetti rifluiti nell'etichetta vincente), che presupponeva secondo il modello francese la formazione di base acquisita in Università: i due anni di applicazione devono infatti essere preceduti dalla laurea triennale in matematica.

2.1.2. *Il Museo industriale*

Nel 1862, sotto l'egida del Ministero di agricoltura, industria e commercio (non quello della Pubblica Istruzione cui afferiva la Scuola di Applicazione), è fondato a Torino, capitale del nuovo Stato unitario, il Museo industriale, come struttura – dotata di modelli e macchine secondo i noti esempi parigino e londinese – di aggiornamento tecnico ma ben presto impegnata nell'attività didattica, anche con la presenza qualificante di docenti non torinesi (per esempio Giovanni Codazza, che da Pavia aveva seguìto Brioschi a Milano, trasferendosi ben presto a Torino). La dialettica con la Scuola di Applicazione non è facile, anche se si cerca di mettere in comune dei corsi, con questa soluzione di fatto:



Fig. 1 – Una caricatura di Galileo Ferraris, proveniente dal suo archivio (ospitato al Politecnico di Milano)

gli allievi ingegneri civili e gli architetti frequentano prevalentemente insegnamenti della Scuola di Applicazione, gli ingegneri industriali (la cui laurea è formalizzata nel 1879) frequentano prevalentemente insegnamenti del Museo industriale.

La sensibilità ai problemi tecnologici industriali da Codazza si trasmetterà al suo allievo Galileo Ferraris, i cui interessi scientifici passeranno gradualmente dai capitoli più classici della fisica tecnologica (acustica, ottica, trasmissione del calore) al più nuovo e aperto settore elettrico, via via destinato ai grandiosi risultati della seconda rivoluzione industriale, con anche l'Italia in testa. Ferraris nel 1886 avvia un corso libero di Elettrotecnica, che avrebbe dato origine a quella Scuola superiore di Elettrotecnica i cui successi sarebbero sopravvissuti all'improvvisa scomparsa di Ferraris (1897), non senza proficui scambi con il mondo dell'industria (soprattutto l'avventura di un allievo di Ferraris, Camillo Olivetti), o con altre Scuole: Cesare Garibaldi, pure allievo di Ferraris, istituisce nello stesso 1886 un corso analogo a Genova (cfr. il successivo paragrafo 3.3); Luigi Lombardi si trasferisce da Torino a Napoli da dove Guido Grassi era passato a Torino per succedere a Ferraris, e Riccardo Arnò si trasferisce da Torino a Milano (Lombardi e Arnò sono anche loro allievi e assistenti di Ferraris); nella stessa occasione Ferdinando Lori si sposta da Roma a Torino; nel 1926 Giancarlo Vallauri, allievo di Lombardi a Napoli, succede a Torino a Grassi; più tardi, Rinaldo Sartori – laureato al Politecnico di Milano – da Genova passa a Torino, come pure, ancora dopo, il padovano Renzo Marenesi.

2.1.3. *Il Politecnico di Torino*

L'intraprendenza del Museo industriale (ma con tensioni all'interno, perché la gestione non era nelle mani dei docenti), la staticità della Scuola di Applicazione, le tensioni tra le due istituzioni e anche i malumori studenteschi, furono tutti elementi che favorirono la fusione delle due strutture e la fondazione (da tempo auspicata) del Politecnico di Torino (1906). Ne derivò solo allora (mentre a Milano, come vedremo, già dal 1875) il passaggio del biennio dall'Università al Politecnico, e l'istituzione delle figure professionali dell'architetto, e degli ingegneri civile, industriale chimico e industriale meccanico: entro quest'ultima sezione (in linea con una progressiva espansione dell'elettrotecnica praticamente in tutti gli indirizzi), nel 1915-'16 sarebbero partite le due distinte sottosezioni di meccanica e di elettrotecnica.

2.2. *Milano*

2.2. *L'istruzione tecnico-scientifico-professionale*

Milano e la Lombardia erano interessate da secoli al contributo determinante di ingegneri, architetti, geometri, idraulici, agrimensori, nei vastissimi campi di competenza: per esempio, edilizia pubblica e privata, gestione delle acque, conduzione di proprietà immobiliari e agricole, responsabilità in manifatture e opifici. A partire dal Cinquecento e dal rilievo del Collegio degli ingegneri e

architetti nell'abilitazione e nell'esercizio professionale, attraverso l'illuminismo (la riforma teresiana degli studi, ma anche le innovazioni del catasto, delle strade, dell'agricoltura) e poi attraverso le eredità della rivoluzione francese (l'istruzione dell'ingegnere incanalata nelle Facoltà filosofiche dell'Università, prima del tirocinio pratico), questa lunga storia era giunta progressivamente, ormai molto vicino alla nascita del Politecnico, alla maturazione di grandi dibattiti sui temi del ruolo, della formazione, del piano degli studi dell'ingegnere, ma più in generale della preparazione tecnico-professionale come elemento propulsore dello sviluppo del paese.

Innanzitutto, l'impegno di Carlo Cattaneo e della sua rivista "Il Politecnico"[2] era volto a valorizzare le "Arti produttive e salutari" accanto alle "Arti mentali" (per dirla con Cattaneo nella premessa alla prima serie del '39), ovvero le "arti utili" accanto alle "arti belle" (nel *Manifesto* della nuova serie del '59): lo scopo di diffondere ogni innovazione attinente lo sviluppo tecnico-scientifico e civile va di pari passo con la visione degli ingegneri come di coloro che, "iniziati nelle scienze matematiche e fisiche", hanno gli strumenti per affrontare l'"analisi di complicati problemi […] di gran numero e grande varietà"[3]: e questa dialettica tra formazione teorica di base e applicazioni rimandava al collega-mento organico del Collegio – nel Settecento di Frisi, Verri, Parini, Beccaria – con le scuole Palatine di Brera e i loro insegnamenti di fisica, di meccanica, di idraulica, di architettura civile, ecc.

Cattaneo e la sua rivista non erano soli. Nel 1838, ad esempio, per iniziativa di industriali e commercianti milanesi, poi con il sostegno dei ceti colti e produttivi, era nata la Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri, con la finalità di "migliorare le arti utili e le manifatture", ma ben presto attiva nell'avviare scuole tecniche, laboratori, pubbliche lezioni, premi. Per parte sua l'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere, di origine napoleonica, che patrocinava concorsi per "utili scoperte" e aveva un gabinetto tecnologico aperto alla città, nel 1848 promuoveva un progetto di riforma di tutto il sistema scolastico, in particolare di quello formativo degli ingegneri, che ebbe come relatore lo stesso Cattaneo, già da qualche anno peraltro coinvolto anche nella Società d'Incoraggiamento: i cardini del progetto erano indicati nella necessità di basi teoriche comuni, impartite dalla Facoltà di matematica dell'Università (a Pavia è proprio dell'anno prima, 1847, l'autonomia di tale Facoltà da quella filosofica), mentre a Milano si sarebbero dovuti creare dei corsi pratici di perfezionamento, differenziati a seconda del tipo di tecnico da formare.

2.2.2. *L'Istituto Tecnico Superiore*[4]

L'impegno governativo a Torino presso il Ministero della Pubblica Istruzione di Brioschi (professore di matematica applicata a Pavia), il suo legame con Sella e la Legge Casati del 1859 posero le premesse per la nascita del Regio Istituto Tecnico Superiore (il Politecnico di Milano, come ben prima della conquista ufficiale di tale denominazione –

1937 – fu chiamata la Scuola). La gestazione abbastanza lunga (l'inaugurazione avvenne il 29 novembre 1863) si giustificava con l'innovatività della proposta didattica.

A monte dei tre anni di specializzazione al Politecnico, un primo biennio doveva frequentarsi a Pavia o in altra Facoltà matematica del Regno: ma era conclamato il proposito del fondatore – un Brioschi influente e determi-natissimo – di istituire una scuola preparatoria propria del Politecnico, perché "siamo partigiani di scuole preparatorie e crediamo dannoso che questa parte d'istruzione venga data in stabilimenti che hanno altri fini" e cioè le Università, situate – per esempio in Germania, ma il riferimento a Milano rispetto a Pavia è sottinteso – in città "prive o quasi prive attualmente di movimento scientifico ed industriale", mentre i politecnici "si fondarono nelle città ove quel movimento era maggiore".

Un secondo punto sta molto a cuore a Brioschi: "L'insegnamento tecnico […] deve suddividersi in scuole speciali, il numero delle quali andrà aumentando col progredire delle applicazioni delle scienze"[5] . Come conseguenza, ecco l'altra grande novità milanese: accanto alla sezione tradizionale (sottratta alla Facoltà matematica pavese) per gli ingegneri civili, quella per gli ingegneri meccanici, un assoluto primato, che anzi nel 1873 allargò il suo campo d'azione divenendo sezione industriale, per tener conto delle esigenze delle industrie chimiche e metallurgiche da un lato, dall'altro della nascita e dei continui progressi dell'elettrotecnica. A quest'ultimo proposito, è del 1886-'87 la generosa donazione dell'industriale farmaceutico Carlo Erba[6] per la creazione dell'Istituzione Elettrotecnica che porta il suo nome, pressoché in contemporanea con il già menzionato corso libero di Elettrotecnica di Ferraris a Torino.



Fig. 2 – Alle origini del logo del Politecnico di Milano

Già nel 1865 era nata al Politecnico, con la collaborazione dell'Accademia di Belle Arti di Brera e con l'intervento diretto di due architetti prestigiosi come Boito e Beltrami, la sezione per gli architetti.

Ma soprattutto è importante il coronamento dei propositi di Brioschi, quando nel 1875 parte (con il contributo economico di Comune e Provincia) la Scuola preparatoria propria, autonoma dalle Università, e in significativa concomitanza è creato un Consorzio tra gli istituti milanesi di istruzione superiore (oltre al Politecnico, l'Accademia scientifico-letteraria, che diventerà la Facoltà di lettere e filosofia della futura Università

degli Studi di Milano, la cosiddetta «Statale»; le Scuole superiori di Agricoltura e di Veterinaria; l'Osservatorio Astronomico, l'Orto Botanico e il Gabinetto Numismatico di Brera) che ribadiva il rifiuto – essendone direttore autorevole quando non autoritario lo stesso Brioschi – dell'inferiorità dell'ingegneria.

3. *L'esportazione della legge Casati all'Italia unita*

Gli esempi di Torino e Milano forniscono il modello per la creazione delle altre Scuole italiane di Ingegneria e Architettura, talora su strutture autonome preesistenti (per esempio la Scuola di Applicazione di Ponti e Strade di origine murattiana a Napoli, 1811, o la Scuola degli ingegneri pontifici di Roma, 1817), spesso a partire dai corsi per ingegneri civili o architetti presenti entro le Facoltà matematiche, talora come nuovi insediamenti: questi ultimi, o consigliati da ragioni politiche (come nel caso della Sicilia appena liberata da Garibaldi, dove nel 1866 parte una Scuola di ingegneria a Palermo, peraltro sede universitaria – al contrario di Catania e Messina – solo dagli inizi del secolo XIX) o legati a particolari realtà industriali (come nel 1870 la Scuola superiore navale di Genova, in una situazione di grande espansione siderurgico-meccanico-cantieristica della città portuale).

Nel seguito darò solo qualche *flash*, come campione della suddetta casistica, riservando uno spazio appena più consistente – per dovere di ospitalità – ad una situazione specifica e affascinante come quella napoletana.

3.1. *La formazione degli ingegneri e degli architetti a Napoli*

Se storicamente gli ingegneri del regno di Napoli erano attivi nei settori militari, nella costruzione e gestione di strade, ponti, porti, bonifiche, canali, nell'edilizia e nell'urbanistica, ma anche nelle stime e perizie amministrativo-giudiziarie, il relativo percorso formativo poteva passare per la Facoltà matematica dell'università, per le scuole militari, per l'Accademia di Belle arti, ma per gli incarichi privati era sufficiente il praticantato in uno studio professionale, meglio se affermato e potente.

Il progetto francese del grande matematico Gaspard Monge (di cui si ricordano i lunghi soggiorni italiani – in particolare proprio a Napoli e a Roma – negli ultimi anni del Settecento), progetto grandioso e radicale, di un'École Polytechnique di base scientifica (in particolare matematica, fisica, chimica) che non faccia passare i tecnici nel mondo delle professioni direttamente dalle scuole settoriali dei Corpi di Stato, progetto poi temperato (nel nuovo clima storico) nel coordinamento tra l'École e i potenti Corpi di Stato, ebbe un'immensa eco anche fuori di Francia, e in particolare investì profondamente Napoli, che, "dopo la parentesi illuminista di Carlo di Borbone […] continuava a mantenere il suo collegamento […] con le maggiori capitali europee e […] ad essere attenta al dibattito scientifico, culturale e politico che si sviluppava nei paesi più evoluti"[7].

Sotto il dominio francese, un vasto lavoro di riordino o creazione di Corpi,

Accademie, Scuole (che investì per esempio il Genio, la Marina, la Scuola Militare) porta al nuovo ordinamento della pubblica istruzione varato nel 1811 da Murat. Le due strutture create nominalmente analoghe alle francesi, la Reale Scuola Politecnica e Militare, e la Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, non ne hanno la stessa chiara consequenzialità (formazione scientifica di base, e rispettivamente speciali-zazione per le varie tipologie di ingegneri), anzi la loro estraneità reciproca e le loro differenze di fondo favoriscono, con la caduta dei francesi, la fine della Scuola Politecnica. La Scuola di Applicazione ritorna così a un'impostazione più professionale, funzionale all'alimentazione del Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade, poco dopo guidato sulla strada della modernizzazione da Carlo Afan de Rivera con intelligenza e determina-zione[8]. Con l'Unità, nel 1861 la Scuola di Applicazione diventa "degli ingegneri del Genio Civile" e nel '63 "per gl'ingegneri", secondo lo schema – coordinato con il biennio impartito nell'Università – del Politecnico di Torino. L'attenzione per il Sud si era già manifestata nel 1860 nel progetto (divenuto effettivo nel 1866, come si è detto) una Scuola di ingegneria a Palermo, che però ancora nel 1884 era sprovvista di strumenti e laboratori.

Nel 1876 a Napoli si distinguono i corsi per ingegneri e per architetti, quest'ultimo più leggero e quindi meno qualificante, e senza rapporti con l'Istituto di Belle arti (al contrario di quanto accadeva con Boito a Milano o a Palermo con Basile)[9].



Fig. 3 – G. De Martino, Progetto del Politecnico Mussolini in Napoli (1935), Torre-Biblioteca

A proposito di ingegneri, dal 1879 Guido Grassi (laureato in Fisica a Pavia) tiene a Napoli il corso di Fisica tecnica, dal 1887 avvia un insegnamento di Elettrotecnica[10], e dal 1893 è Direttore della Scuola di Applicazione; nel 1898 Grassi passerà da Napoli a Torino per succedere a Ferraris, mentre poco dopo Luigi Lombardi – uno degli allievi di Ferraris – sostituirà Grassi a Napoli, e si trasferirà a Roma nel 1922 (a Torino, nel 1926, a Grassi succederà un allievo di Lombardi, laureato a Napoli, il famoso Giancarlo Vallauri). Anche grazie all'impegno di Grassi e Lombardi, nel 1903 nasce a Napoli una sezione industriale (con un altro parziale riequilibrio – che investe anche Palermo – della concentrazione al Nord delle Scuole di applicazione); nel 1905 la Scuola di Applicazione napoletana diventa Scuola Superiore Politecnica, la quale nel 1935 (come altrove in Italia, tranne che a Torino e Milano) è incorporata come Fa-

coltà di Ingegneria nell'Università. L'architettura napoletana, che fino a poco prima della seconda guerra mondiale vede protagonisti gli ingegneri anche delle vicende urbanistiche e architettoniche, tenterà di inserirsi nelle proposte d'istituzione di nuove scuole di architettura a Roma, Firenze, Venezia degli anni '10-'20, e di vincere l'ostilità nel 1928 del ministro della pubblica istruzione Giuseppe Belluzzo (professore al Politecnico di Milano e deciso sostenitore delle discipline tecniche): finalmente nel 1930 è istituita la Scuola superiore di architettura, senza neppure tentare – perdurando la contrapposizione con la Scuola di Ingegneria – la strada milanese o torinese del Politecnico autonomo, e le due Scuole sono annesse come distinte Facoltà all'Università**.**

3.2. *Il caso romano*

A Roma[11], prima del periodo napoleonico, la formazione universitaria degli ingegneri era praticamente inesistente. Anche grazie alla ripetuta presenza a Roma di Gaspard Monge, nel 1798 fu creato l'Istituto nazionale della Repubblica romana con le due classi scientifica e umanistica, e pressoché contemporaneamente fu istituita una Facoltà matematica anche per la preparazione di base dell'ingegnere (non a caso uno dei corsi previsti era denominato Scienza dell'Ingegnere).

Il progetto di una formazione universitaria e di una valorizzazione delle discipline scientifiche si trasferì con sostanziale continuità non solo all'Università imperiale (1809-1814) ma anche alle riforme universitarie del ripristinato stato pontificio, che culminarono tra 1824 e '25 nella fusione della Scuola degli ingegneri pontifici di Roma (nata nel 1817) con l'Università di Roma, creando un'unica sede per l'istruzione degli ingegneri (civili) e degli architetti.

Con Roma capitale la Scuola degli ingegneri fu annessa alla Facoltà di scienze fisiche e matematiche (ma nel 1874 c'era chi la includeva tra le scuole che offrivano "ben poco quanto ad opere moderne d'ingegneria, e molto meno quanto a fabbriche e stabilimenti industriali"), e tale rimase anche nel più generale riordino successivo della Scuola d'applicazione per gli ingegneri.

Già nel dicembre del 1886 era avviato il corso libero di Elettrotecnica (ufficiale nel 1891) da Guglielmo Mengarini, che nel 1891 sarebbe stato l'artefice della prima trasmissione industriale di energia elettrica in corrente alternata fra Tivoli e Roma.

Nello stesso 1891 tenne (per supplenza prima, poi come titolare) il corso di Fisica tecnica Moisè Ascoli, che nel 1911 succede a Mengarini per l'Elettrotecnica[12]: tra gli allievi o assistenti di Ascoli, segnalo almeno il già citato Ferdinando Lori (che da Roma passerà al Politecnico di Torino, poi a Padova, dove sarà Rettore dell'Università e Direttore della Scuola di Applicazione, e infine al Politecnico di Milano), e Giovanni Giorgi, famoso per il sistema di unità di misura elettromagnetiche.

Nel 1919-'20 parte la Regia Scuola Superiore di Architettura dell'Università La Sapienza di Roma, Facoltà nel 1935.

3.3. *L'atipicità del modello genovese*

L'importanza del porto di Genova, via via crescente – dopo l'esperienza francese – a partire dall'inclusione della Liguria nel Regno di Sardegna (1815), si affianca alla grande espansione siderurgico-meccanico-cantieristica (l'Ansaldo nasce nel 1853) fino a dimensioni comparabili con quelle delle nazioni più evolute. Anche l'esperienza dell'istruzione superiore nel settore navale e ingegneristico ha tratti particolari[13], i cui snodi più significativi ripercorro qui brevemente.

Per superare l'arretratezza navale dell'Italia, e a fronte dei successivi grandi interventi di potenziamento del porto di Genova, è avvertita l'esigenza di competenze aggiornate sia per la progettazione, conduzione e riparazione dei nuovi vettori navali, sia per la concezione e realizzazione delle opere di ampliamento portuale. Su pressione di politici genovesi, e con il sostegno di personaggi di levatura nazionale come Brioschi, nel 1870 è fondata la Scuola superiore navale: la formula è quella cara a Brioschi di un'autonomia dall'Università, che fornisce il biennio preparatorio solo fino al 1886, quando la Scuola affianca ai tre anni d'applicazione un proprio biennio – come al Politecnico di Milano già dal 1875, ma a Genova molto prima che altrove. Nello stesso 1886, più o meno contemporaneamente a Torino, Milano e Napoli, sorge a Genova un corso di Elettrotecnica, tenuto da un allievo di Ferraris, Cesare Garibaldi.

Nel 1903 si verificano gravi agitazioni studentesche, per le difficoltà di collocamento professionale: emer-gono anche il debole sostegno alla Scuola del mondo produttivo ligure e l'insufficienza delle dotazioni finanziarie, ma non decolla la trasformazione in Scuola di applicazione per ingegneri navali e meccanici. Anche in periodo bellico e subito dopo fallisce il progetto di un "politecnico di ingegneria" che risponda più in generale alle caratteristiche industriali della città, mentre la riforma Gentile del 1923 esclude dalla Scuola i diplomati degli istituti tecnici e nautici. Nel 1930 una contrapposizione tra la Scuola e l'Università, il cui rettore è sostenuto dal potere fascista, vede la Scuola perdere il biennio (che dovrà seguirsi presso una Facoltà universitaria di Scienze fisico-matematiche o presso una Scuola di ingegneria quinquennale), e in compenso l'aggiunta delle lauree in ingegneria civile e industriale; finché nel 1935 la Scuola scompare ed è assorbita nell'Università come Facoltà di Ingegneria.

3.4. *Qualche esempio di evoluzione di sezioni matematiche in Facoltà tecniche*

Mi limito a considerare tre realtà territoriali diverse, Padova, Bologna e la Toscana, le prime due dotate di una secolare tradizione universitaria ma con limitati sbocchi industriali, e l'altra caratterizzata da grossi interessi agricoli ma poi anche da consistenti lavori pubblici.

3.4.1. *Padova*

A Padova[14], dove precedentemente la formazione dell'ingegnere era affidata all'apprendistato o all'esperienza in

alcuni centri di competenza tecnica (l'Arsenale, il Magistrato delle acque), è nella seconda metà del Settecento che si avverte l'esigenza di un aggiornamento tecnico-scientifico entro l'Università, nell'Accademia delle belle arti, nelle nascenti e autonome Scuole di Architettura.

In epoca napoleonica (e poi nella Restaurazione) l'istruzione dell'ingegnere si incanala entro l'Università, in un corso quadriennale per ingegneri-architetti della Facoltà fisico-matematica (con tirocinio presso un ingegnere "patentato" e un esame finale di abilitazione) secondo tre direttrici già radicate in un territorio poco dotato di componente industriale: idraulica, meccanica, tecniche di costruzione.

Quando nel 1867 fu imposto il modello della legge Casati, ci si avvia verso la struttura (entro la Facoltà matematica) di un biennio preparatorio di natura matematico-fisica e di un triennio di applicazione nei suddetti settori, mentre dal 1875 il triennio farà capo alla neonata (ma sull'esempio di Milano e Torino, e anche ormai di Roma, Napoli e Palermo) Scuola di applicazione per gli ingegneri; nel 1908 parte il biennio autonomo.

Nel 1933 nasce il Regio Istituto Superiore d'Ingegneria, che nel 1935-'36 diventa Facoltà d'Ingegneria dell'Università. La tendenza alla specializzazione investe in epoca fascista anche Padova, con l'articolazione in tre indirizzi sia dell'ingegneria civile (edile, idraulica e dei trasporti), sia dell'industriale (meccanica, elettrotecnica, chimica).

3.4.2. *Bologna*

La tradizione agricola, le attività edilizio-urbanistico-architettoniche, i secolari lavori pubblici per risolvere i problemi idraulico-strutturali delle bonifiche (in particolare nel Delta del Po) si riflettevano nel Settecento nella classificazione degli ingegneri civili bolognesi in "Periti Idrostatici, Architetti, Agrimensori ed Agricoltori", con predominanza delle competenze professionali acquisite sul campo. Dopo l'esperienza francese che aveva avvicinato l'ingegneria alle Università, dopo che l'Emilia e la Romagna entrano a far parte del Regno Sabaudo, nel 1862 parte a Bologna un Corso pratico per gli ingegneri civili e architetti, con l'aggiunta – rispetto al corso di studi della Facoltà di Scienze matematiche – di pochi insegnamenti specifici e di due anni di praticantato.

Un R.D. del 1875 riconosce i corsi pratici impartiti sia a Bologna sia a Pisa "incompleti e insufficienti", li sospende, e costituisce in entrambe le sedi il solo primo anno della Scuola di applicazione nelle suddette Facoltà di Scienze matematiche[15] . La reazione bolognese si concretizza in un consorzio tra Comune, Provincia e altri Enti cultural-imprenditoriali, che nel 1877 avvia dentro la Facoltà matematica una "Scuola completa di applicazione per gli ingegneri", dotandola di una sede, di una preziosa biblioteca, di gabinetti didattico-scientifici e di collezioni; la Scuola passerà a carico dello Stato solo nel 1899.

Nel 1935 è inaugurata la nuova sede, la Scuola diventa Facoltà, e parte (con un ritardo indicativo del contesto agra-

rio ancora prevalente) la sezione industriale. Il primo preside di Facoltà è Giuseppe Sartori, laureato all'Istitu-zione Elettrotecnica Carlo Erba del Politecnico di Milano: l'elettrotecnica, comparsa a Bologna dal 1899, è ufficializzata da Luigi Donati (più tardi anche Rettore) nello stesso 1904 della laurea ad honorem a Marconi. Il biennio continuerà – con la frattura già più volte sottolineata – a essere svolto in Università, fino agli ultimi anni '60 anche sotto la spinta di un crescente numero di iscritti (mentre per molti decenni parecchi studenti emigravano a Milano o Torino).

3.4.3. *La Toscana*

Il governo leopoldino (con le sue spinte liberistiche e le provvidenze a favore dell'agricoltura e della grande proprietà fondiaria) adotta una struttura formativa incentrata sull'Università per i fondamenti teorici, e poi sul praticantato, secondo un modello che però non consente una grande indipendenza (di funzioni e di ruolo) all'ingegnere. Dopo la dominazione francese, e con relativa continuità, Leopoldo II nel 1825 crea tra l'altro un Corpo degli ingegneri di acque e strade e la relativa Sopraintendenza; gli ingegneri sono sempre più coinvolti nel progetto di grandi opere pubbliche, per esempio: bonifica maremmana, regolazioni idrauliche, nuove strade, interventi sul porto di Livorno. Circa la formazione, l'accesso al Corpo richiede la laurea in scienze matematiche applicate all'Università di Pisa, mentre dal 1845 il corso degli ingegneri avrà un piano di studi, che prevede anche, per due anni dopo la laurea, insegnamenti di disegno e architettura presso l'Accademia di Belle Arti di Pisa e poi di Firenze[16].

Dopo l'Unità, la vicenda dell'ingegneria toscana si incanala sostanzialmente nell'Università. In particolare, i corsi pratici per ingegneri e architetti avviati incompletamente all'università di Pisa (come a Bologna: cfr. qui 3.4.2) sono sospesi nel 1875 e inglobati nel solo primo anno della Scuola di Applicazione annessa all'Università. Questo primo anno di applicazione a Pisa rimarrà isolato sino al 1913, quando finalmente si concretizza la scuola per ingegneri in Toscana.

[1] Di A. Ferraresi cfr.: *Stato, scienza, amministrazione, saperi. La formazione degli ingegneri in Piemonte dall'antico regime all'Unità d'Italia*, Bologna, Il Mulino, 2004; *Nuove industrie, nuove discipline, nuovi laboratori: la Scuola superiore di elettrotecnica di Torino (1886-1914)*, in *Innovazione e modernizzazione in Italia fra Otto e Novecento*, a cura di E. Decleva, C. Lacaita, A. Ventura, Milano, Franco Angeli, 1995.

[2] Si veda ora *Da "Il Politecnico" di Cattaneo al Politecnico di Brioschi*, a cura di A. Galbani e A.Silvestri, Politecnico di Milano, 2003.

[3] C. Cattaneo, *Dell'agricultura inglese paragonata alla nostra* (1857), in *Saggi di economia rurale*, a cura di Luigi Einaudi, Torino, Einaudi, 1975.

[4] Cfr. almeno F.Lori, *Storia del R. Politecnico di Milano*, Milano, Tip. A. Cordani, 1941; *Il Politecnico di Milano 1863-1914*, Milano, Electa,

1981; *Il Politecnico di Milano nella storia italiana (1914-1963)*, Milano-Bari, Cariplo-Laterza, 1988 (2 voll.); *Francesco Brioschi e il suo tempo (1824-1897)*, progetto editoriale di C. Lacaita e A. Silvestri, Milano, Franco Angeli (3 voll.: 2000, 2000, 2003).

[5] Le citazioni che precedono provengono dalle due puntate sulla "Perseveranza" dell'articolo di Brioschi *Della istruzione tecnica superiore in alcuni stati d'Europa* (sono del 26 e 28 settembre 1863).

[6] Cfr. almeno P. Regoliosi-A. Silvestri, *L'Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba*, nel vol. II di *Il Politecnico di Milano nella storia italiana (1914-1963)*, cit. alla nota 4, vol. II.

[7] Cfr. V. Cardone, *La nascita della scuola napoletana di ingegneria nel contesto internazionale*, in *Dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*, a cura di A. Buccaro e S. D'Agostino, Benevento, Hevelius, 2003.

[8] Cfr. A. Di Biasio, *Il Corpo e la Direzione generale di Ponti e Strade: documenti sull'attività di Carlo Afan de Rivera*, in *Dalla Scuola di Applicazione…*, cit. alla nota precedente.

[9] Cfr. F. Mangone, *Gli studi di architettura e di ingegneria a Napoli tra XIX e XX secolo*, in *Dalla Scuola di Applicazione*..., cit. alla nota 7.

[10] Le vicende dell'ingegneria industriale napoletana, in particolare elettrotecnica, non sono esplicitamente oggetto del volume *Dalla Scuola di Applicazione…*, cit. alla nota 7. Solo qualche cenno sulle origini universitarie, e invece largo spazio alle applicazioni industriali documentate dall'archivio storico dell'ENEL di Napoli (con rilievo in particolare per la straordinaria attività della Società Meridionale di Elettricità, SME, anche grazie alla presenza di due autorevoli laureati del Politecnico di Milano, Giuseppe Cenzato e Angelo Omodeo), 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 e F. De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003.

[11] Cfr. L. Pepe, *La formazione degli ingegneri a Roma dalla Scuola politecnica centrale alla Scuola degli ingegneri pontifici*, in *Amministrazione, formazione e professione*, a cura di Luigi Blanco, Bologna, Il Mulino, 2004.

[12] Il naturale transito dalla fisica tecnologica all'elettrotecnica, che era di Ferraris, di Grassi, di Luigi Donati (v. 3.4.2), di Ascoli, fu anche di Alberto Dina (laureato al Politecnico di Milano), che compie questo stesso tragitto a Palermo, dove l'elettrotecnica entrò a far parte del curriculum di tutti gli allievi ingegneri dal 1907.

[13] Di M. E. Tonizzi cfr.: *Il "Politecnico del mare" alle origini della Facoltà di Ingegneria. La Regia Scuola Superiore Navale (1870-1935)*, "Atti della Società Ligure di Storia Patria", n.s. XXXVII/1, Genova, 1997; *Merci strutture e lavoro nel porto di Genova tra '800 e '900*, Milano, Franco Angeli, 2000.

[14] Si veda soprattutto M.Minesso, *Tecnici e modernizzazione in Veneto. La scuola dell'Università di Padova e la professione dell'ingegnere (1806-1915)*, Trieste, Lint, 1992.

[15] Cfr. C. Bucchioni, *L'Ottocento e la Scuola d'Applicazione per gli ingegneri di Bologna*, in *Il patrimonio librario antico della Biblioteca d'Ingegneria*, a cura di B.Brunelli, C. Bucchioni, M.P. Torricelli, Bologna, Biblioteca Centrale "G.P. Dore", s.d.; G. Cocchi, *Cento anni di Scuola di Ingegneria a Bologna*, in *L'Università a Bologna. Maestri, studenti e luoghi dal XVI al XX secolo*, a cura di G. P. Brizzi, L. Marini, P. Pombeni, Milano, Pizzi, 1988; G.C. Calcagno, *Un istituto per la formazione degli ingegneri: la «Scuola d'Applicazione» di Bologna,* in *Innovazione e modernizzazione…*, cit. alla nota 1.

[16] Cfr. D. Toccafondi, *Dall'esperienza del catasto alla Direzione dei Lavori di acque e strade. Gli ingegneri toscani nel quadro dell'evoluzione istituzionale post-napoleonica (1820-1848)*, in *Amministrazione, formazione e professione*, cit. alla nota 11.

Angela Marino

La scuola romana degli ingegneri pontifici

Nel percorrere la storia che ha condotto, in Italia, al rinnovamento della formazione e della pratica professionale dell'ingegnere, gli studi più recenti assumono come comune punto di partenza la stagione napoleonica, durante la quale è stato 'esportato' con criteri omogenei il 'metodo francese'; il che significa che sono stati immessi radicali mutamenti, imperniati soprattutto sulla riforma del funzionamento dello stato, con forti ricadute negli specifici ambiti disciplinari. Anche dopo la conclusione del dominio napoleonico, negli antichi stati le innovazioni saranno assunte come bagaglio moderno irrinunciabile, sia pur con esiti e criteri diversi.

All'inizio dell'Ottocento infatti -con impatto diverso sulle differenti realtà sociali e culturali- vengono impostati concretamente i termini dell'intervento dello stato nelle grandi opere pubbliche, e nella definizione delle professionalità adeguate a soddisfare una committenza di stato, che si differenzia definitivamente da quella di antico regime.

Lo Stato pontificio, di cui qui ci occupiamo, possiede, per la natura internazionale ed ecumenica di Roma, capitale del mondo cattolico, una tradizione assai solida, punto di riferimento di altre situazioni nazionali. Il ruolo di architetto del Popolo romano e le cariche previste nella organizzazione della corte e dell'amministrazione pontificia, godono di un indiscusso prestigio, e si caratterizzano per l'attitudine a coniugare strettamente l'aspetto formale con quello tecnico costruttivo, o ancora con le capacità idrauliche e paesaggistiche: basti ricordare la grande tradizione professionale di Carlo Fontana.

Proprio nella tradizione delle macchine e delle abilità tecniche derivate dal cantiere seicentesco, è da ascriversi il primo manuale sugli strumenti e le macchine, pubblicato da Nicolò Zabaglia nel 1743, con il titolo *Ponti e Castelli*[1], che consiste in un grande in folio con efficacissime tavole, corredate da lunghe ed esaurienti didascalie e da brevi testi. Personalità fuori dagli schemi, Zabaglia si colloca sia contro i saperi matematico accademici (punto di forza prima degli ingegneri militari e poi dei civili), sia contro la capacità inventiva degli architetti. Si proclama 'ingegnere', rivendicando per se una professionalità confrontabile con il genio inventivo dei grandi architetti; ma, nella introduzione alla sua opera, afferma di essere "privo di ogni lume di Matematiche e senza alcuna nozione di disegno", ed esplicità la sua polemica con i "Professori di ordine superiore", che con il loro sapere astratto non sanno trovare soluzioni adeguate ai concreti problemi della costruzione, della manutenzione, del restauro.

L'originalità di Zabaglia, a nostro avviso, consiste nel proporre una com-

petenza trasversale, tutta tecnica, lontana sia dalla semplice ripetitività delle tecniche tradizionali, sia dalla invenzione artistica. Tuttavia -e proprio questo gli conferisce il ruolo di cerniera fra vecchia e nuova professione - non si appella, come poi sarà inevitabile, all' autorità di un fondamento tecnico riconosciuto e condiviso, come faranno più tardi i professionisti di stato.

Una sorta di ' primato della ragion pratica', permea la singolare opera di Zabaglia. Ai tempi che verranno, egli cerca di consegnare, traendola dal grande cantiere barocco, la straordinaria perizia dei diversi tipi di artigiani, la prestanza anche fisica nell'attuare complesse operazioni, anche se, in senso stretto, non presentano contenuti tecnici particolarmente innovativi. Abilità necessarie sono richieste, ad esempio ai muratori che, per economizzare il legno necessario a strutture provisionali da terra, lavorano "gettando alcuni legni di traverso delle mura…che posano… in alcune cave fatte nelle mura", cioè in ponteggi in quota assicurati a buche pontate. O ancora gli abili *festajuoli*, che predispongono in luoghi inaccessibili gli apparati posticci per feste e cerimonie, servendosi solo di una scala allungabile. Ed ancora le complesse e difficili manovre che bisogna conoscere per il trasporto dei travertini, o dei vari tipi di carro per gli altri materiali da costruzione (che quasi sempre corrispondono ad unità di misura), indispensabili per assicurare ad un cantiere l'approvvigionamento adeguato. Gli utensili descritti sono semplici; bisogna saperli usare: la capra serrata o aperta per sollevare pesi, le traglie per far scorrere le corde, le bilance, l'argano. C'è poi la serie dei "castelli stabili", i ponteggi che sono stati adoperati nelle grandi fabbriche romane, dai lavori alle colonne Antonina e Traiana, al posizionamento della croce sull' obelisco Vaticano. Tuttavia, oltre alle macchine tradizionali, Zabaglia illustra quelle che ritiene innovative, che sono soprattutto legate alla basilica di S.Pietro; "artificio ac intelligentia construitur" le straordinarie ed ingegnose macchine che, secondo l'autore, consentono di appoggiare un ponteggio all' imposta della cupola di S. Pietro per lavorarvi all'interno, o consentirebbero di sostituire una colonna dell' emiciclo della piazza.

Il 'macchinismo' di Zabaglia aiuta a comprendere quanto fosse ritenuto importante e valido a Roma l'apprendistato nei cantieri; ciò trova un punto in comune con le esigenze ,apparentemente lontane, che muovono in epoca napoleonica le riforme dei lavori pubblici imposte dai francesi. Nei lavori di infrastrutturazione del territorio infatti -oltre agli aspetti di corruzione e di regolamentazione della spesa- viene notato quanto sia nociva la lontananza dal cantiere dei tecnici preposti ai lavori pubblici nello stato pontificio.

La Consulta straordinaria degli stati romani costituisce infatti, nel 1809, il *Bureau des Ponts et Chaussèes*, modellato sull' esempio francese[2]. Si è accennato alla particolarità della situazione romana, dove la rilevanza del ruolo dell' architetto ne aveva, in linea di princi-

pio, ampliato la figura di prestigio, includendovi anche le grandi fabbriche pubbliche ed i compiti di ingegneria che riguardano acque e strade; spesso, nella storia della professione romana, la grande committenza privata era stato il lasciapassare per i compiti di carattere pubblico. Nel momento in cui viene istituito il *Bureau*, la carica di Ingegnere capo è rivestita da una personalità di spessore come Andrea Vici; per le strade erano attivi circa una quindicina di architetti (essenzialmente dediti alle "misure e stime"), mentre solo un paio erano destinati a seguire i lavori in corso.

L' amministrazione francese mette in discussione soprattutto il meccanismo tecnico ed amministrativo, l'*iter* del progetto, la scarsa trasparenza degli appalti (l'architetto riscuoteva una percentuale sull' entità dei lavori, pari al 6%), e la mancanza di controlli sulla qualità dell'opera eseguita. Vengono unificate diverse competenze, disperse in differenti settori dell' amministrazione pontificia, dalla celebre Presidenza delle strade al Buon-governo; si crea una chiara struttura gerarchica con diversi livelli di responsabilità, si corrispondono buon i stipendi, abolendo invece la percentuale sui lavori.

La preoccupazione primaria dei francesi è rivolta alla necessità di migliorare la condizione delle strade, ma anche di rendere possibile la realizzazione di grandi opere infrastrutturali: regolamentazione delle acque, bonifiche, ponti e porti, così come le grandi opere pubbliche come le carceri, i cimiteri, i macelli. Le procedure per l'organizzazione del lavoro sono sicuramente protagoniste della opera di innovazione; appare secondario in questo momento modificare la formazione, e non sono negative le opinioni sulla capacità dei professionisti romani, qualcuno dei quali, semmai, viene mandato in viaggio di istruzione a Parigi per aggiornarsi. Il personale impiegato resta sostanzialmente lo stesso, ma cambia invece il rapporto con l'amministrazione, e l'impostazione della procedura, in cui alcuni passaggi della attuazione di un progetto facilitano la trasparenza: preventivi, attenta definizione dei lavori da eseguire, capitolati precisi, etc.

Gli ammnistratori sembrano soddisfatti delle innovazioni proposte, e sugli esiti che esse producono[3]. Tuttavia occorre considerare l'esito di questi strumenti un punto controverso, tenendo conto degli interessi in campo; infatti, alla conclusione del periodo francese, sia l'esperto e stimato Andrea Vici, che il più oscuro Andrea Carletti, responsabile del *Bureau*, testimoniano una situazione, malgrado tutti gli sforzi compiuti, assai poco mutata. Ma se, dopo la restaurazione, un impulso del tutto nuovo raccoglie gli elementi di modernità contenuti nella esperienza francese, credo si debba alla personalità complessa, dinamica, ed anche scomoda, del cardinale Ercole Consalvi, intelligente segretario di stato di Pio VII negli anni difficili dell' esilio. Consalvi è convinto che si debbano leggere i tempi , e salvare gli effetti dello "spirito" della rivoluzione francese. Malgrado la dichiarata contrarietà del blocco sociale reazionario, che si impone col ritorno del papa a

Roma e la restituzione dello Stato pontificio, Consalvi riesce a metter in campo alcune fondamentali riforme della pubblica amministrazione.

Fra esse, Consalvi (motu proprio di Pio VII) con la creazione nel 1817 del *Corpo di ingeneri di acque e strade, fabbriche camerali e militari*[4], raccoglie pienamente l' eredità francese, ma va anche oltre, poiché costituisce la *Scuola di applicazione*, nel 1817, che deve istituire una apposita formazione per il tecnico di stato; l'operazione avviene conte-stualmente alla riforma della Acca-demia di S. Luca, tradizionale sede per la formazione dell' architetto[5]. Una memoria preparatoria di monsignor Nicolai, esperto idraulico, ed altri documenti ci rendono partecipi dello spirito con cui viene impostato questo nuovo *curriculum* formativo, nel definire la denominazione e i contenuti delle cattedre; la durata dei corsi (un triennio per l'ingegnere, un biennio per l'architetto) è pensata come specializzazione con cui conseguire un diploma per accedere al Corpo degli Ingegneri pontifici , provenendo da una formazione di base scientifica[6]. Discipline di carattere specialistico, come le cattedre di idraulica e di costruzioni vengono istituite presso l'Accademia di San Luca.

La nuova possibilità di entrare fra i tecnici dello Stato è molto attraente, tant'è vero che nel 1818 si presentano numerosi candidati per la selezione ed il reclutamento dei 90 ammessi al Servizio di acque e strade, così come già nel 1810 molti architetti avevano chiesto , in base al *curriculum*, di entrare a far parte dei Lavori pubblici[7]. L'importanza pressocchè esclusiva data alla forma-



Fig. 1 - Roma, Archivio di Stato, rilievi dell' acquedotto dell' acqua Vergine eseguiti dagli allievi della Scuola di Ingegneria (1820)

zione scientifica, ed una certa chiusura del Corpo degli ingegneri verso gli stessi accademici dell'Ateneo romano, sembrano caratterizzare subito la nuova istituzione, che certamente tende a tenere il controllo sulle assun-zioni; una separatezza che si palesa nel 1818, quando il Rettore incontra resistenze al suo proposito di aggregare la Scuola di applicazione alla Sapienza, ma che si manifesta con chiarezza qualche anno dopo, quando nel 1824, la bolla *Quod divina Sapientia* imposta la grande riforma generale degli studi. La Riforma mostra, per l'epoca, notevoli aperture, ammettendo gli studi tecnici nell' Archiginnasio romano, i cui indirizzi erano quelli tradizionali ed elitari: teologico, legale, medico e filosofico. Ma è proprio il nuovo Corpo che invece di sentirsi 'nobilitato' dall'essere accolto nell'Ateneo, si mostra diffidente e riluttante, avendo sviluppato, probabilmente, una coscienza di sé tesa a rafforzare il valore tecnico e pratico della Scuola di applicazione. Il matematico Giuseppe Venturoli, direttore della Scuola, in una sua articolata memoria del 1825, chiarisce caratteri e peculiarità formative dell' ingegnere, poco prima che la Scuola venga aggregata (1826) all'Ateneo romano, ma con il controllo del Corpo sugli insegnamenti scientifici.

Per comprendere meglio questo punto, tuttora controverso, dei rapporti fra la *Scuola di applicazione* e le altre istituzioni di formazione romana, può essere utile riferirsi alla cultura ed al clima dell'Accademia di San Luca riformata, dove vengono insegnate le materie storico critiche e del disegno, secondo un indirizzo fortemente classico ed antiquario, così come Guattani impartisce l'insegnamento di Storia. Il carattere di questo insegnamento del resto influisce notevolmente sulle scelte per il restauro, campo nel quale la contesa fra archeologi ed architetti si fa spesso aspra, come testimoniano le note polemiche di Carlo Fea con Valadier a proposito della ricostruzione della basilica di San Paolo, o per i restauri del Colosseo.

Al tempo stesso, il valore dato allo studio della matematica, della geometria e della fisica, forse rende un po' astratta la formazione del nuovo ingegnere pontificio, che, pur studiando idraulica, topografia e facendo frequenti esercitazioni di campagna[8], non sembra avere l'addestramento ed il pungolo della ricerca sui materiali e sulle tecnologie, che non sono invece assenti nelle Ecoles francesi. Ipotizziamo quindi -ma andrà approfondito- una tendenza alla rigidezza nella Scuola di roma, che seleziona l'accesso solo per i giovani che provengono dagli studi tecnico- matematici.

È ancora da valutare l'operatività degli Ingegneri pontifici, misurata su quanto e come è stato realizzato. Sicuramente sul piano del rilievo e della misurazione, la Scuola fu molto attiva. Abbiamo notizia di molti lavori fatti dagli allievi della Scuola, relativi alle grandi ville romane, al Tevere, all'acquedotto dell' acqua Vergine, all'area archeologica centrale, e, forse, anche alle mura. Né è da dimenticare il contributo decisivo dato dagli ingegneri alla stesura, cominciata in periodo france-



Fig. 2 - Macchine e ponteggi usati nel cantiere, da N. Zabaglia, Ponti e castelli, Roma 1743

se, dello straordinario Catasto gregoriano. In Roma capitale, è a nostro avviso, ancora da valutare l'apporto degli ingegneri alla travagliata costruzione dei nuovi quartieri; ma , nel bene e nel male, il loro lavoro sommesso, forse un po' acritico, ci sembra componente essenziale nella configurazione urbana e nella veste architettonica eclettica della nuova capitale[9], dove l'ingegnere architetto Gaetano Koch resta protagonista di spicco. Si verifica tuttavia una crescente estraneità ed incomprensione fra l'ingegnere e l'architetto, quando, con l'Unità d'Italia, il problema della formazione si sposta a scala nazionale, ed appare necessario unificare contenuti e metodi; ma la istituzione dei Politecnici trova grandi difficoltà a definire i profili professionali. Intorno al 1860 Camillo Boito più volte interviene nel tentativo di chiarire sinergie e differenze fra l'ormai affermata figura dell' ingegnere e quella trascurata dell'architetto, che Boito continua a ritenere fondamentale.

Il problema della integrazione, a livello della formazione istituzionale, delle due figure, resta vivo ed aperto nei decenni conclusivi dell'Ottocento, ricco di polemiche e proposte[10], che la legge Boselli tenta di raccogliere, nel 1889, istituendo una Scuola superiore di architettura. Boito se ne dichiara isoddisfatto, e propone di chiamare architetti ingegneri gli allievi delle accademie che abbiano integrato la loro preparazione scientifica e possano conseguire l'abilitazione all' esercizio professionale.

L'ambiente romano, oltre al conflitto ingegneri e architetti, è permeato anche dell'incontro-scontro con gli archeologi, potenti ed agguerriti protagonisti della scena culturale, che condizionano l'ambito del restauro. Nei primi anni del secolo, l'associazionismo si fa specchio delle difficoltà formative e professionali. Gli ingeneri inaugurano una serie di pubblicazioni periodiche ("L'ingegnere italiano" e "Ingegneria") attraverso le quali ribadiscono l'indispensabilità del loro ruolo tecnico e esplicitano la volontà di contare di più; gli architetti si uniscono in una federazione nazionale in cui confluiscono le diverse articolazioni e tendenze presenti in campo culturale e professionale, e non si sottrae al cruciale confronto con il moderno. A Roma Giulio Magni presiede la Associazione dei cultori di architettura, nata nel 1905.

Queste brevi note si possono concludere, emblematicamente, nel 1919, quando -quasi a chiusura del dibattito ottocentesco- vengono istituite separatamente, ma con pari statuto legale, le Scuole superiori di ingegneria e di architettura, nucleo delle moderne facoltà. Gustavo Giovannoni, (ingegnere, ma

fondatore della facoltà di architettura) figura di assoluto rilievo del panorama culturale romano, nell' inaugurare, nel 1920, la Scuola di architettura, pronuncia un celebre discorso, proponendo la figura dell'"architetto integrale", che individua -come interazione fra i saperi tecnici ed artistici- una figura professionale che sappia fare urbanistica, composizione, restauro, e sia dotata di senso estetico[11].

[1] Vedi la monografia di G. Renazzi, *Zabaglia ingegnere*, in *Vite di uomini illustri,* Roma 1808, vol II, pp. 183-273, che non a caso, in piena epoca napoleonica, ne rivaluta e propone all'attenzione la figura e l'opera. Vedi anche P. Scavizzi, *Edilizia nei secoli XVII e XVIII a Roma. Ricerca per una storia delle tecniche*, Roma 1983. È infine significativo che Zabaglia ripubblichi le tavole della trasportazione dell' obelisco Vaticano di Domenico Fontana, quasi a riconoscere la sua radice ideologica e formativa.

[2] Archivio di Stato di Roma (d'ora in poi ASR), Consulta straordinaria degli stati romani, registro 7, a c. 60 la relazione preparatoria del decreto. L'argomento è stato studiato da O. Verdi, *L'Istituzione del corpo degli ingegneri pontifici di acque e strade (1809-1817), in Roma fra la restaurazione e l'elezione di Pio IX. Amministrazione, economia, società, cultura*, Atti del Convegno (1995), Roma 1997, pp. 825-857; Id., *Agrimensori, architetti e ingegneri nello Stato pontiificio del primo Ottocento: dalla professione privata all'impegno pubblico*, in "Roma moderna e contemporanea", numero monografico dal titolo: *Corporazioni e gruppi professionali a Roma tra XVI e XIX secolo*, 1998, 6, 3, pp. 367-396.

[3] Un rapporto del 1810 della Consulta esprime soddisfazione per i risultati (ASR, Consulta, registro 19, cc. 550-553, dell'ottobre 1810, cit. in Verdi, L' istituzione, cit.). Sulla questione delle strade, vedi F. Di Marco, *Organizzazione e legislazione dei lavori pubblici nello stato pontificio nell'ultimo decennio el pontificato di Pio VII*, in *La cultura architettonica nell' età della restaurazione*, a cura di G. Ricci, G. D'Amia, Milano 2002

[4] Il fondo del Corpo degli Ingegneri presso l' Archivio di Stato di Roma, noto a più studiosi, va indagato sistematicamente per comprendere a fondo mentalità e strumenti della cultura del periodo.

[5] Si vedano gli esiti di una ricerca nazionale nel volume a cura di G. Ricci, *L'architettura nelle Accademie riformate*, Milano 1992.

[6] Viene predisposto un regolamento a stampa (ASR, *Congregazione degli studi*, b. 218)

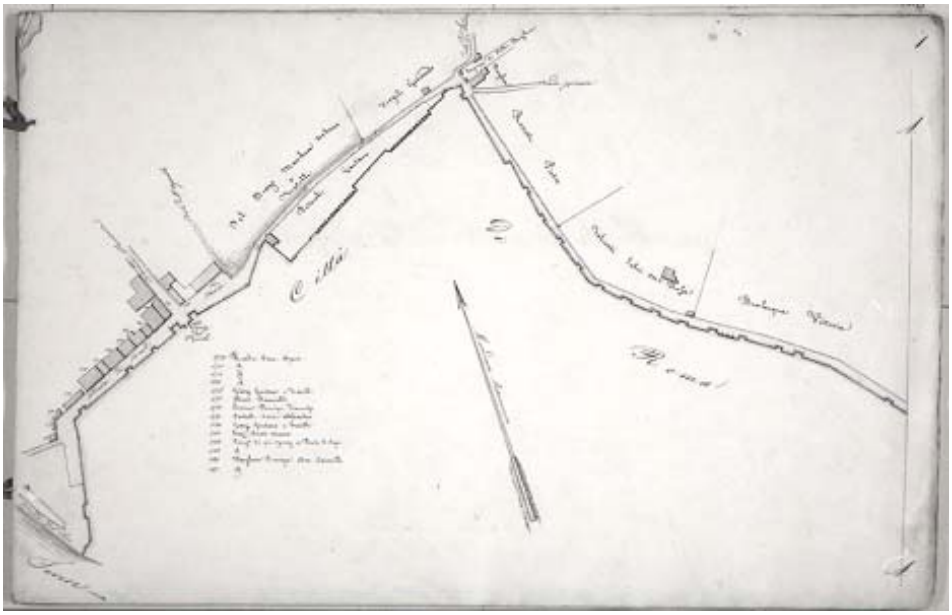
[7] Si veda, oltre agli studi citati, L. Pepe, *La formazione degli ingegneri a Roma dalla Scuola politecnica centrale alla Scuola degli ingegneri*, in *Amministrazione, formazione e professione: gli ingengeri in Italia tra Sette e Ottocento*, a cura di L. Blanco, Bologna 2000, pp. 301-320.

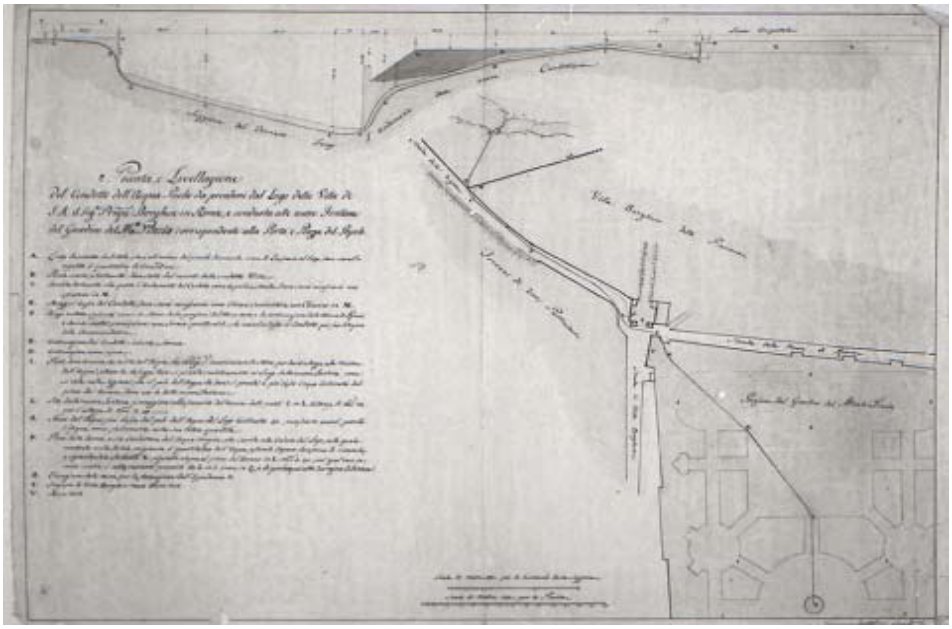
[8] Molte informazioni vengono dalle memorie e relazioni (quella di Nicolai del 1818 e quella di Venturoli del 1825) contenute nei documenti del Consiglio d'arte nell' Archivio di Stato di Roma. Un piccolo gruppo di documenti sulla sede della Scuola presso il convento di S. Apollinare, non lontano dalla Sapienza, contiene alcune notizie utili a capire lo svolgimento delle esercitazioni.

[9] Vedine gli spunti in A. Marino, *Fare una capitale: Roma e la Banca d' Italia dai piani generali alle tipologie architettoniche (1880-1920)*, pp. 365-404, in *La costruzione della capitale. Architettura e città dalla crisi edilizia al fascismo nelle fonti storiche della Banca d'Italia*, numero monografico di "Roma moderna e contemporanea", a cura di A. Marino, G. Doti, M. L. Neri, X, 3, 2002.

[10] Molti documenti sul dibattito sono conservati presso l'Archivio Centrale dello Stato, e sono stati esposti da L. De Stefani, *Le scuole di architettura in Italia*, Milano 1992

[11] Variegata si presenta la riflessione su Giovannoni; citiamo qui soltanto A. Foschini, *Didattica e gestione dell'architettura in Italia nella prima metà del Novecento*, Faenza 1979; V. Di Gioia, *Dalla scuola d'ingegneria alla facoltà d' ingegneria a Roma, Roma 1985; L'Associazione artistica fra i cultori di architettura e Gustavo Giovannoni* (Atti del seminario, Roma 1987), in "Bollettino del Centro studi di storia dell' architettura", 36, 1990.





Figg. 3, 4 - Roma, Archivio di Stato,Ingegneri pontifici: rilievo delle mura urbane fuori porta del Popolo, e "livellazione" del condotto dell'acqua Paola al lago di Villa Borghese

Lia M. Papa

Linguaggio e modelli grafici nell'evoluzione delle conoscenze-competenze dell'ingegnere

Fin dai tempi più antichi il disegno, questo strumento di produzione di immagini, ha avuto una evoluzione estremamente articolata che si relaziona alle esperienze dirette ed alle riflessioni critiche nel campo dell'edificare, "*che diviene un'arte allorquando le conoscenze teoriche, unite a quelle della pratica, presiedono egualmente a tutte le sue operazioni* "[1].

Le potenzialità delle immagini si innestano quindi sulle concrete esigenze della soluzione di specifici problemi costruttivi, ma soprattutto topografici e militari.

Ad entrambi questi fondamentali campi di applicazione occorrevano infatti una competenza ed un linguaggio adatti a rappresentare rigorosamente lo spazio tridimensionale nella sua neutrale, assoluta omogeneità, definito con rigore logico e completezza relazionale. Solo in uno spazio così geometricamente definito e descritto si sarebbero potuti immergere i concreti oggetti da rappresentare, in prima istanza, come insiemi di punti correlati in figure piane o tridimensionali, in ogni caso caratterizzati da misure di distanze e di angoli biunivocamente tradotte in specifiche relazioni nel piano del disegno.

Utilizzando le notazioni di una tradizione grafica in uso nel Settecento ed innovandole fin dove necessario alla



Fig.1. Elaborato su legno eseguito da un allievo della École des Ponts et Chaussèes nel 1793 per il Concorso "Carta e Paesaggio"

pratica del disegno, Gaspar Monge (1746-1818), che insegna all'École du Génie di Mézières, istituto che forma tecnici in grado di operare in campo difensivo e militare, fornisce un contributo innovativo inquadrando il disegno in una concezione unitaria del sapere e del saper fare, per connotare le capacità di un tecnico colto che nel corso delle sue varie attività deve essere in grado di descrivere e controllare lo spazio[2].

Egli è convinto che "*per liberare la nazione Francese dalla dipendenza in cui si è trovata finora dall'industria straniera bisognava dirigere prioritariamente l'educazione nazionale verso la cognizione degli oggetti, i quali esigono esattezza*"[3]; quindi rafforza le sostanziali motivazioni che avevano già portato alla istituzione dell'*École des Ponts et Chaussèes*, fondata nel 1747

dal ministro Trudaine e dall'ingegnere Perronet con l'obbiettivo di formare tecnici per il *Corp des Ponts et Chaussèes*[4] .

Lo stesso Perronet aveva voluto che nell'*École* i giovani si esercitassero nell'"*arte del disegnare e nella maniera di comporre i progetti delle opere pubbliche*", ossia nelle attività per le quali era stato creato il Corpo. Ma Monge ritiene anche che si debba migliorare il generale livello formativo non solo dei tecnici, ma anche delle maestranze, precorrendo in tal modo anche i sistemi di apprendimento che si vanno a sperimentare dall'inizio dell'Ottocento, con forme legate alla descrizione grafica dei manufatti e delle macchine, del loro rapporto diretto, nonché delle procedure operative connesse alla varie fasi realizzative, e che promuovono collezioni e musei della scienza e della tecnica, con la convinzione che tali istituzioni fossero tra le più efficaci per l'educazione dei lavoratori e per la diffusione delle scienze tra un ampio pubblico; cioè in definitiva che fossero uno dei mezzi migliori per l'educazione permanente.

I nuovi schemi formativi configurano un preciso indirizzo che finisce per svilupparsi in modo sempre più autonomo con la creazione, nel 1795, dell'*École polytechnique*, senza riuscire peraltro a sanare appieno quella dicotomia tra arte e tecnica la cui esasperazione porterà successivamente all'inevitabile scissione specialistica nelle due contrapposte frange dell'architettura e dell'ingegneria. Con presupposti e obiettivi analoghi a quelli francesi ven-

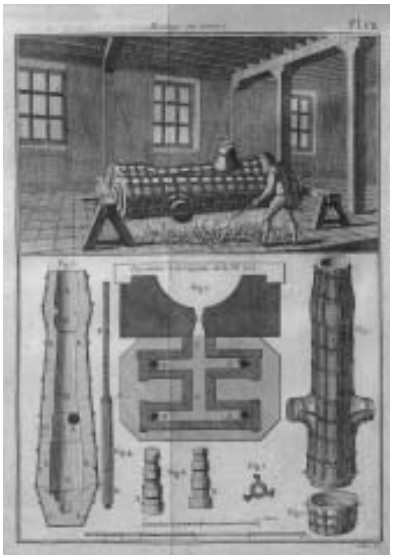


Fig.2.- G. Monge. Description de l'art de fabriquer les canons: faite en exécutive de l'arrêté du Comité de salut pubblique, du 18 pluviose di l'an 2 de la Republique francaise, un et indivisibile, Paris, 1793-94, Planches VII

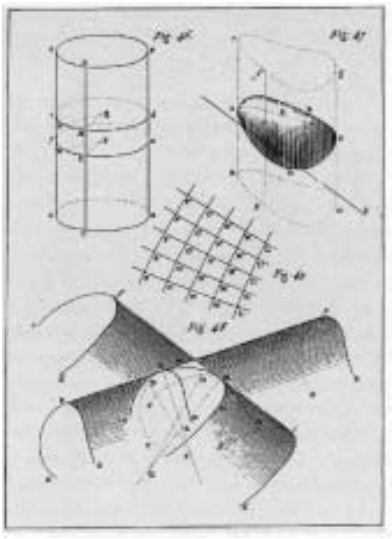


Fig. 3 - G. Monge. Studi di superfici e loro intersezioni, da Géométrie Descriptive, Parigi, 1838

ne creato nel Regno di Napoli il Corpo di Ponti e Strade, il cui primo Direttore generale fu il generale francese Campredon[5].

Di lì a poco, nel 1811, fu attivata anche la Scuola di Applicazione, anch'essa su modello francese, alla quale gli aspiranti ingegneri potevano accedere previo esame di ammissione, volto a dimostrare la padronanza dei fondamenti di Geometria piana e solida, di Disegno, di Aritmetica, di Trigonometria, di Algebra, di Geometria analitica e di Lingue, italiana e francese[6]. La trattazione non solo didattica ma anche scientifica di molte discipline, a partire dalla Geometria descrittiva, inizialmente insegnata da Luigi Malesci, venne opportunamente corredata di un proprio corpus di modelli grafici, di immagini correlate, misurabili ed operabili con semplici calcoli: tanti modelli diversi, ma tutti interpretabili nel linguaggio della Geometria descrittiva[7].

Nei programmi della materia vengono ampiamente trattati i diversi metodi di rappresentazione, tra i quali anche le proiezioni centrali; tuttavia, "*dopo aver reso familiari gli allievi alle soluzioni dei problemi fondamentali nei diversi sistemi*"[9], viene dato il maggior sviluppo a quello di Monge, in relazione soprattutto alla stereotomia[10]. In effetti quest'ultima è intesa come un compendio di più tecniche, alla cui base vi erano i *traits*, ossia quei disegni fatti per consentire un taglio preciso dei blocchi di pietra, utilizzati per la realizzazione di fabbriche complesse, a coperture voltate.

In questo periodo il contesto territoriale e culturale delle aree meridionali si presenta fortemente arretrato. Si procede perciò all'avvio, a partire proprio dal decennio murattiano, di un preciso programma per la realizzazione di opere pubbliche anche importanti, sempre però in un'ottica di centralizzazione politica ed economica.

Tali interventi lasciano infatti ben poco spazio agli intendenti, alle loro province ed ai provvedenti da loro ritenuti di scarsa rilevanza economica ma urgenti, per concentrarsi su interventi che rispondevano alla necessità di innervare con una rete di opere di ampio respiro il territorio, evitando una frammentazione dei progetti ed un con-

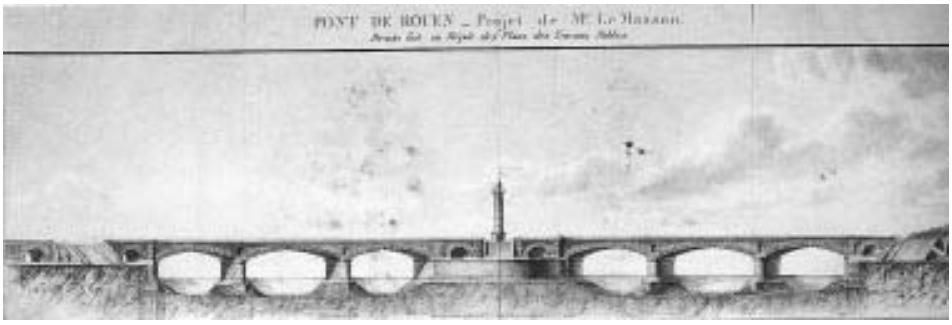


Fig. 4 – M. Le Masson. Ponte di Rouen. 1815

seguente dispendio economico. Il programma portò ad una ulteriore condizione di emarginazione di molti centri abitati medio-piccoli, mentre alcune città, come Messina, Bari e Napoli, acquistavano maggiore rilevanza ed un nuovo ruolo strategico.

Nell'arco temporale che và dal decennio francese al 1860 sono circa trecento gli ingegneri che operano nelle province meridionali, attuando le disposizioni impartite dalla Direzione del *Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade* e che si sono formati alla *Scuola di Applicazione*[11]. Si pretende perciò di accentrare una miriade di incombenze nel Corpo e nei suoi tecnici. Lo stesso Giuliano de Fazio, progettista di importanti opere nel contesto meridionale, ebbe a denunciare la carenza di ingegneri quando sarebbe stato più logico, come sottolineato anche da Ceva Grimaldi, affidare le principali province a tecnici locali: si trattava spesso di giovani, diplomati presso la Scuola di Applicazione, ma privi di un posto nel Corpo al quale accedevano solo i primi quattro classificati nelle graduatorie degli esami finali[12].

La preparazione tecnica degli ingegneri del Corpo aveva solide radici matematiche ed umanistiche che connotavano una figura tutto sommato "anomala" per il contesto di grande arretratezza nel quale doveva operare e che spesso ne mortificava sensibilità e capacità, soffocate dagli enormi problemi prevalentemente amministrativi e relazionali,

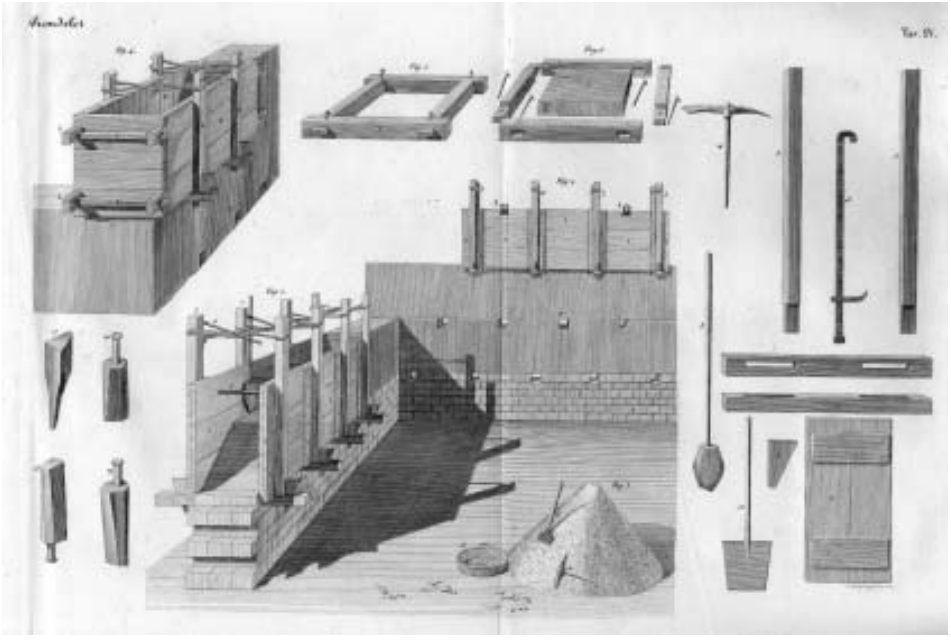


Fig. 5 - J.B. Rondelet, Trattato teorico-pratico dell'arte di edificare, Prima traduzione italiana della sesta edizione originale di Basilio Soresina, Tomo I, Napoli, 1939, Tav. III

di un contesto fortemente legato ad interessi privati. Tutto ciò accentua il divario tra questi tecnici-amministratori e gli ingegneri civili.

Inoltre all'interno delle Scuola di Applicazione gli ingegneri vengono educati a considerare l'architettura civile come uno dei tanti campi i cui saranno abilitati a svolgere le proprie attività, anche all'interno dei programmi di intervento urbano, in base ai principi espressi dalla tecnica, dall'economia e dalle nuove istanze sociali.

Il clima culturale e politico maturato nel corso del decennio francese e gli effetti da esso derivati non poterono non far sentire la loro eco anche nel campo della cartografia, la quale si avvantaggiò tra l'altro di un nuovo catasto che doveva supportare la realizzazione delle opere progettate e gli studi archeologici, che nel XIX secolo ebbero un particolare impulso.

Tra il 1814 ed il 1817 viene incisa da Domenico Guerra, nipote di quel Giuseppe Guerra che era stato il firmatario di gran parte delle carte prodotte dal geografo Rizzi-Zannoni, la pianta degli scavi di Pompei, in scala 1:2000, sulla quale, come scrisse il generale Francesco Visconti, "*ogni anno si aggiunge la parte dissotterrata l'anno precedente*"[13]. La pianta prefigura le più evolute rappresentazioni tematiche di tipo diacronico che consentono di descrivere la sempre maggiore complessità fenomenica del territorio anche nella sua stratificazione storica.

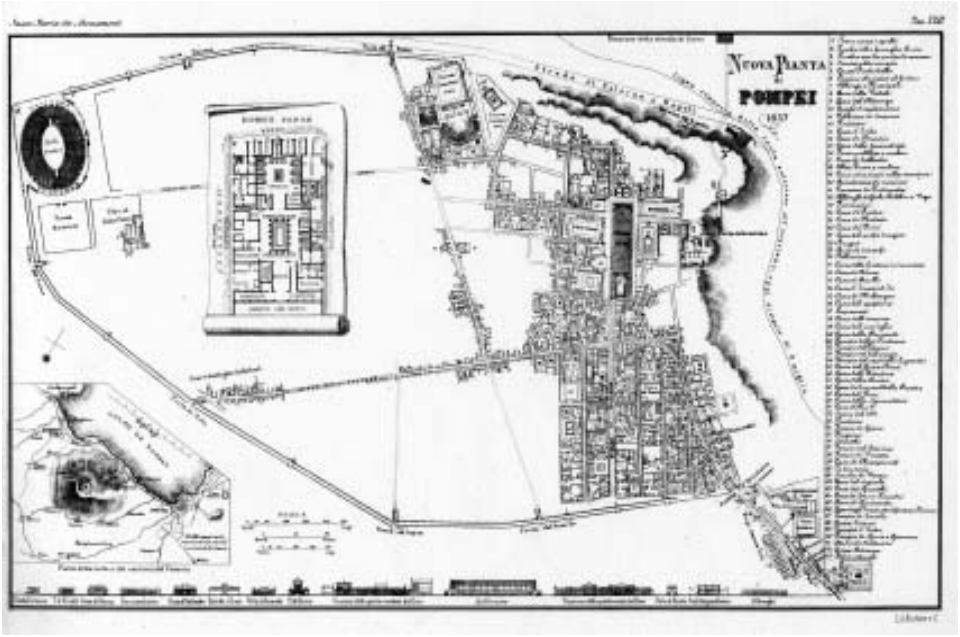


Fig. 6 - Nuova pianta di pompei, 1857, da Atlante della Storia dei monumenti di Napoli e degli architetti che li edificarono, dal 1801 al 1851, di Camillo Napoleone Sasso, Napoli, 1858, Tav. XXII



Fig. 7 - G. Vinci, Carta topografica dè segni convenzionali topografici, geografici, idrografici e mineralogici, 1814



Fig. 8- B. Marzolla, Carta catastale del Comune di Castellammare, 1854-1858, Biblioteca Nazionale di Napoli

Una classe di disegnatori e di ingegneri, o aspiranti tali, come Gaspare Vinci, operarono nell'ambito dell'*Officio Topografico*, poi diventato, dal 1814, *Deposito della Guerra*; tale organismo, che richiama l'omologo francese, nato nel 1668, acquistò, tra gli stabilimenti similari d'Europa, un posto di notevole prestigio per l'attenzione posta al disegno quale indispensabile strumento per gli interessi militari e difensivi[14]. Per parecchi anni in esso prestò servizio anche Afan de Rivera, già ingegnere capo del Genio a partire dal 1801, poi direttore del Deposito della Guerra (1818) e quindi Direttore del Corpo di Ponti e Strade e della relativa Scuola di Applicazione.

E' a mio avviso opportuno sottolineare la capacità e duttilità di questi tecnici di operare in relazione a temi, ambiti e scale diverse. Un esempio in tal verso lo fornisce l'ingegner Benedetto Marzolla il quale, tra l'altro, si rese promotore nel 1853 di un progetto per la costruzione delle "Carte geometriche dei Comuni" in scala 1: 5000, realizzate al fine di ottenere "*una conoscenza della estensione del territorio e dello stato in cui trovasi, in riguardo alle sue parti poste in coltura dalle industre mano dell'uomo, ed a quelle dello stato naturale*"[15].

Un momento fondamentale per l'ulteriore definizione delle modalità di esecuzione dei modelli grafici e cartografici è rappresentato dalla discussione che precede l'approvazione, avvenuta nel 1875, della Legge per il compimento della carta topografica d'Italia, la quale recepisce gli esiti dei lavori di quella Commissione che, nel 1802, si riunisce

presso il *Deposito della Guerra* di Parigi con lo scopo di semplificare e unificare i segni e le convenzioni in uso nei disegni redatti a scopo tecnico.

In effetti i lavori parigini segnano un momento importante soprattutto nella costruzione dei modelli dell'ambiente e del territorio, aprendo senz'altro l'epoca della moderna cartografia. Si riconosce con ciò che il territorio è impronta delle trasformazioni antropiche, che si manifestano con i segni dei rapporti storici tra cultura e natura, e che quei segni sono messaggi codificabili e decifrabili.

In seguito si perfezionano le tecniche di produzione cartografica, la cui struttura proiettiva si avvale prevalentemente del metodo dei piani quotati, o "livellati". Questo metodo, unitamente alle proiezioni ortogonali ed all'assonometria cavaliera militare, sostanzia i fondamentali procedimenti geometrici che guidano la rappresentazione grafica nei vari campi di competenza dell'ingegnere.

Lo scopo ormai è assoggettare l'intera rappresentazione dello spazio fenomenico alle regole rigorose della Geometria descrittiva ed alle convenzio-

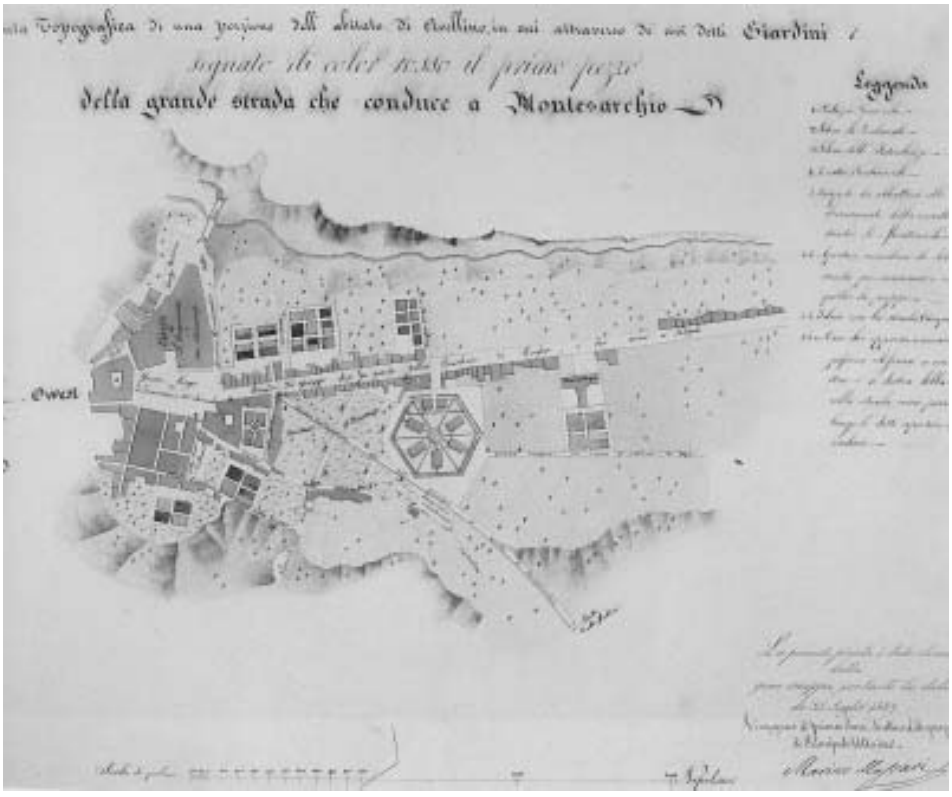


Fig. 9 - M. Massari, Pianta di parte dell'abitato di Avellino, 1837, Napoli, Archivio di Stato

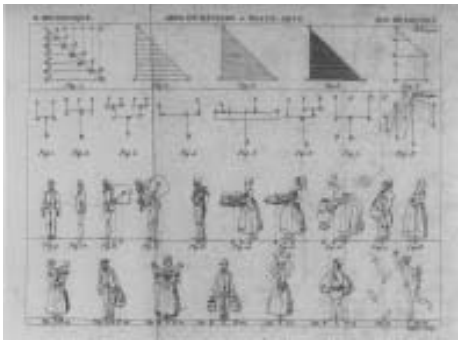


Fig. 10 - C. Dupin, Géometrie et Mécanique, des Arts et Métiers et des beaux-arts, Bruxelles, C.J. De Mat Fies et H. Romy, 182-1826, Les. II e III

ni grammaticali e sintattiche di un linguaggio tecnico codificato, limitando l'impiego della prospettiva, che è considerata estranea ad una rappresentazione rigorosamente tecnica: la prima produce delle immagini percettivamente allusive, la seconda delle misure; l'una è limitata ad un istante, ad un evento, l'altra è temporalmente indefinita.

Dalla metà dell'Ottocento i modelli grafici concretizzano appieno la sinergia tra scienza e conoscenza e la complessità delle problematiche trattate, anche e soprattutto a livello realizzativo, recependo una consolidata tradizione descrittiva.

Si tende inoltre a privilegiare sempre più il disegno che esprime una necessaria discretizzazione finalizzata alla verifica metrica, con un'attenzione alla contestualizzazione dell'opera, che dal sito d'impianto trae stimolo progettuale e vincolo realizzativo. Inoltre i rapporti di scala assumono un ruolo determinante nella progressiva definizione informativa. Nel frattempo in Francia la diversi-ficazione dei livelli di conoscenza tecnica si attua in relazione ad un potere centrale che si interessa direttamente della formazione del suo personale direttivo, civile e militare. Grande importanza avevano quindi anche l'*École centrale des arts et manifactures*, fondata nel 1829 come scuola di "scienza industriale" ed in definitiva di formazione per gli ingegneri civili, e l'*École des mines*, creata nel 1783. Esse, insieme alla *École polytechnique*, costituivano il corpo delle selettive *Grandes écoles* francesi, distinte sia dalle facoltà scientifiche universitarie, rivolte essenzialmente allo studio teorico e alla ricerca non applicata per la preparazione di insegnanti e di ricercatori, sia dall'*Écoles d'arts et mètiers*, finalizzate alla formazione di maestranze qualificate. Le *Grandes écoles* erano state tutte concepite a numero chiuso e originariamente con le caratteristiche di una scuola militare.

In tale contesto i modelli grafici semplificano le notazioni scientifiche per fare leva sulle maestranze e consolidando una tradizione della quale vi sono significative dimostrazioni, come quella fornita di Charles Dupin (1785-1873) eccellente allievo dell'*École politecnique*, accademico e poi deputato, il quale ebbe enorme successo come educatore della "classe operaia" dall'alto della sua cattedra all'*École des arts et metiers*.

In ambito italiano si privilegiano i modelli con valenza di studio teorico e di approfondimento tipologico di temi e problemi ricorrenti tra quelli affrontati a varie scale, in un'epoca di grandi

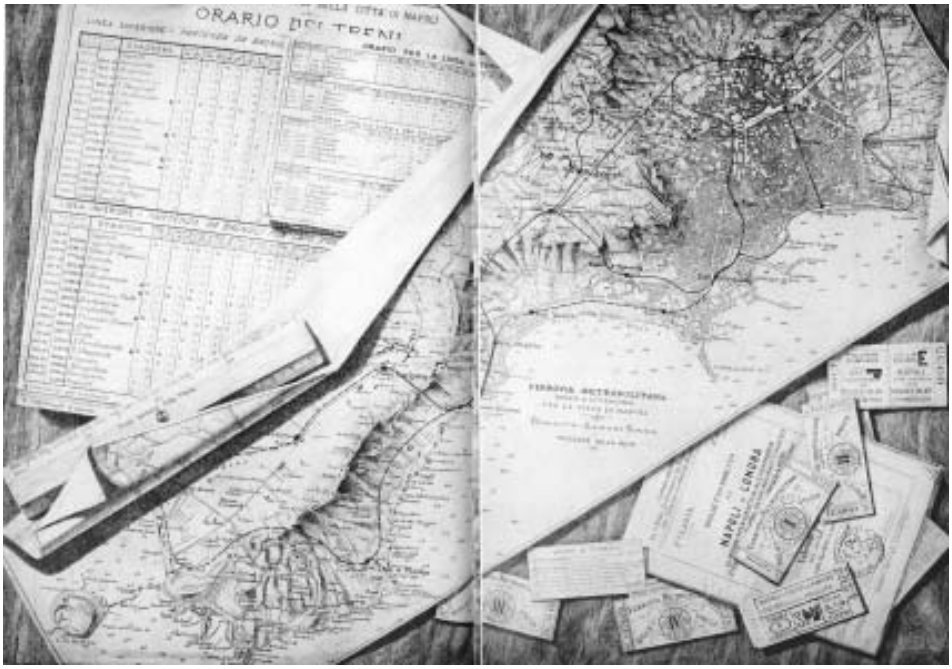


Fig. 11 - Lamont Young, Progetto di metropolitana. Tracciato secondo la versione del 1883

innovazioni, nella quale la rappresentazione grafica può beneficiare anche di nuove tecniche di riproduzione e di supporti grafici quali la carta lucida, impiegata per realizzare disegni di valore strumentale; grazie alla sua trasparenza è possibile, infatti, riprodurre i disegni ripassandoli a penna e conferendo quindi una maggiore permanenza al segno ed un controllo cronologico delle varie stesure progettuali.

Gli oggetti descritti obbediscono sempre più alle regole di un linguaggio simbolico-convenzionale: la totale estraneità del punto di osservazione ad ogni esperienza conosciuta genera forme e figure che la percezione umana non coglie, e che sembra porre perciò sempre meno interesse all'inquadramento delle problematiche, a partire da quelle che richiedono una consapevole contestualizzazione storica e fisica, o un approfondimento delle varie, interrelate motivazioni che portano al rapido modificarsi di alcuni manufatti o contesti antropizzati.

Nell'Ottocento la qualificazione ad ingegnere si presenta come un ponte tra istruzione professionale secondaria e formazione universitaria, a seconda del rapporto che si instaura tra studi e pratica e del prestigio sociale che viene conferito a tale professione.

Secondo il modello francese la scuola politecnica era in definitiva uno strumento di legittimazione della borghesia, un luogo meritocratico la cui sele-

zione interna si basava fondamentalmente sulle scienze matematiche e fisiche e meno sulle scienze applicate. Le *Écoles d'arts et métiers* invece costituivano un orizzonte per la piccola borghesia artigiana e di fabbricanti di officina[16].

Un sistema formativo che nel corso dell'Ottocento divenne concorrenziale a quello francese fu quello tedesco. In Germania gli ingegneri venivano preparati nelle *Technischen Hochschulen*, cresciute prepotentemente in numero e allievi dopo il 1860. Le scuole politecniche tedesche vennero, alla fine dell'Ottocento, ampiamente dotate di laboratori ed il personale docente fu reclutato anche tra coloro che avevano avuto esperienze lavorative presso grandi industrie o settori dell'esercito. La preparazione ingegneristica nei settori elettrici, chimici, delle costruzioni, della meccanica si svolgeva in un quadriennio con almeno un biennio di specializzazione e di tirocinio in luoghi di lavoro e produzione. Inoltre la ricerca costituiva parte integrante non solo dell'insegnamento, ma dell'insieme delle attività formative.

Mentre agli studenti tedeschi, a seconda della loro specializzazione, venivano impartite dalle 1090 alle 1820 ore di lezioni professionali e di disegno in quattro anni, agli allievi francesi spettavano 1690 ore negli stessi argomenti in un periodo di due anni[17].

Nel corso dell'ultimo ventennio del XIX secolo i ruoli tecnici vengono definitivamente promossi in coincidenza della intensificazione dell'intervento del potere centrale. E' proprio con l'emanazione del primo corpus legislativo del 1861 che "*forti spinte alla istituzionaliz-zazione di nuove (ed alla ridefinizione di vecchie) professioni tecnico scientifiche*"[18] contribuiscono al lungo percorso evolutivo che la figura dell'ingegnere concluderà poi in epoca crispina. Sta di fatto che la svolta per la professione dell'ingegnere, significativamente impegnato nella infrastrutturazione urbana, avviene nell'epoca indicata, per poi evolversi lungo dei binari che vengono impiantati proprio negli anni '80 del XIX secolo[19].

Il panorama delle infrastrutture e dei servizi urbani in Italia cambia radicalmente nel quarantennio che va dal 1880 al 1920, fino agli anni che comunemente vengono definiti come quelli della seconda rivoluzione industriale. L'Italia non presenta caratteri omogenei, quindi non tutta la penisola viene interessata allo stesso modo e con la medesima intensità da cambiamenti e le tipologie che si evidenziano sono anche molto diversificate da area ad area, ma sostanzialmente appaiono riconducibili ad una tendenza comune che non interessa solo l'Italia, ma l'intero continente.

L'addensamento della popolazione nelle città polarizza l'impegno tecnico e le risorse economiche, a scapito di vaste aree più svantaggiate orograficamente. La spinta demografica agisce dunque come parametro fondamentale, unitamente ad un diffuso processo di massificazione ed omologazione degli stili di vita. Si varano di conseguenza interventi che mutano progressivamen-

te lo spazio urbano, fino a poco tempo prima chiuso in una cerchia muraria, legata a pochi elementi di riferimento simbolici e percettivi; a partire da questo momento la dislocazione delle infrastrutture, soprattutto quelle *a rete*, producono una frattura nelle modalità tradizionali dell'identificazione urbana, mentre diventano elementi connotativi di un territorio, come ad esempio quello meridionale, nel quale l'edilizia sparsa fornisce spesso significativi, seppure scarsi elementi di caratterizzazione, ed i tracciati seguono antichi percorsi di transumanza o vie di collegamento commerciale e mercantile. I tecnici sono chiamati così ad interpretare tracce, culture, flussi, per fornire soluzioni tecnicamente praticabili.

Portatori di nuove professionalità gli ingegneri si pongono come principali interlocutori periferici per il dialogo ed il confronto con il centro. Sbrigano la maggior parte della crescente mole di lavoro, di cui gli uffici tecnici si trovano ad essere caricati, in un contesto di complessità e di peso economico assai maggiori.

Il ruolo delle tecnologie in questo nuovo contesto improntato al cambiamento è del tutto fondamentale: la storia della città e della tecnologia nell'esperienza italiana si intrecciano a tal punto che la città appare il luogo privilegiato per molte delle innovazioni che si sono succedute tra Ottocento e Novecento; essa diviene il terreno di sperimentazione e di intervento di una nuova progettualità. Assistiamo infatti ad uno sforzo cospicuo rivolto anche ad una attività regolamentatrice in campo legislativo, nonché di organizzazione della municipalità, introdotta con una legge nel 1903 per offrire "*un modello di riferimento, un percorso attuativo, una forma di gestione amministrativa sufficientemente duttile*"[20] e creare uffici tecnici competenti.

L'evoluzione delle tecnologie sotterranee ha contribuito, in particolare, non poco ad avvicinare il sottosuolo al dominio dello spazio fruibile, allontanandolo dalle visioni anche utopistiche ottocentesche, soprattutto nel settore dei sottoservizi e dei trasporti pubblici. Tuttavia lo sviluppo di tali manufatti non ha operato una relazione morfologicamente caratterizzata tra le due parti, salvo che in pochi casi, come ad esempio i punti di contatto, tra mondo sotterraneo e mondo in vista, di alcuni nodi infrastrutturali, come le stazioni della metropolitana[21].

Confrontandosi con tali nuove tematiche il disegno viene a connotare in maniera specifica, con il suo corredo di convenzioni e variabili grafiche, due famiglie di modelli, quelli prescrittivi e quelli tematici, che si accompagnano ad una forte spinta interventista in campo igienico e urbanistico. Il corpus della rappresentazione si definisce quindi nelle sue peculiarità descrittive mediante la costruzione di più modelli che consentano di "desumere" caratteristiche dal sistema, descrivendone le grandezze e le proprietà, oppure siano in grado di "attribuire" proprietà o qualità, formulando ipotesi tecniche che ne studiano e interpretano le possibili variazio-

ni. Nel primo caso il modello grafico è una schematizzazione con validità prevalentemente di studio, nel secondo si connota di valenze progettuali e prescrittive.

Maggiori competenze tecniche ed una più sviluppata attenzione nei riguardi dei bisogni dei cittadini divennero irrinunciabili caratteristiche dei nuovi tecnici, portatori di quei "saperi speciali" che li differenziano dai predecessori. Ma soprattutto è il deciso pragmatismo ad emergere in maniera evidente e che le nuove generazioni tendono sempre più a contrapporre alla vecchia impostazione teorica.

Ogni scienza ed ogni pratica tecnologica ha potuto nell'età moderna e contemporanea avvalersi quindi del linguaggio grafico codificato, non solo utilizzando la suggestione delle immagini per la comunicazione professionale o didattica, ma anche per rappresentare, calcolare e prefigurare graficamente sul modello grafico specifiche trasformazioni dello spazio, alle varie scale. Ed ogni ambito disciplinare ricorre a codici generalmente consolidati per la codifica delle immagini usate; non è raro tuttavia il caso in cui l'eccesso di consuetudine alla rappresentazione specialistica faccia omettere una esaustiva specificazione dei codici utilizzati, ancorché non comprensibili con immediatezza. Ne deriva sovente la scarsa leggibilità del disegno al di fuori di un ristretto numero di addetti, a scapito di un'azione partecipativa e comunicativa, oggi peraltro fortemente sentita anche in ambito tecnico.

Agli inizi del Novecento si contano in Italia sette scuole d'ingegneria e circa settemila matricole. Il modello adottato si presenta geograficamente variegato, in relazione agli specifici contesti economici e geografici. Ad esempio la scuola di Palermo si rifà al modello tedesco in quanto scuola finalizzata essenzialmente all'ingegneria mineraria applicata all'attività estrattiva.

Nel nostro paese "*Le modalità di organizzazione, di formazione, di aggiornamento e di controllo della qualità della professione in senso lato, incidono…in modo determinante sulla configurazione del comparto e sulle prospettive future*"[22]. Il tentativo di uniformare sul piano nazionale scuole e corsi non si è presentato semplice in quanto esistevano già due modelli consolidati: quello di Torino, con Scuola annessa al Museo industriale, e quello di Milano, finanziato essenzialmente da un consorzio di forze economiche e d'istituzioni locali.

Un'analisi recente fatta su un campione significativo di giovani ingegneri conferma peraltro quanto molti studiosi vanno ribadendo da tempo, cioè la necessità di consolidare una formazione ed un linguaggio che sia in grado di riammagliare, in un approccio culturalmente unitario, l'eterogeneità e la frammentazione di interventi specialistici di più attori ed interlocutori.

Attualmente viene segnata un'ulteriore tappa anche nel processo di crescita interna alla rappresentazione, alla luce di un'articolazione, o complessità, nella stratificazione di segni simile, per

molti versi, a quella verificatasi nella prima metà dell'ottocento, allorquando il disegno tecnico, si irrigidisce nella pur necessaria convenzione di un codice simbolico ancora oggi in vigore, finalizzato alla rappresentazione oggettiva dello spazio.

L'evoluzione delle tecniche di rappresentazione infografica instaurano straordinarie possibilità di gestione del sapere e di prefigurazioni virtuali, mentre l'ampliamento delle metodiche analitiche e quelle in particolare di rilevamento del suolo, estendono le finezze mensorie ed i campi fenomenici dell'indagine, con l'adozione di hardware e di software sempre più precisi nel segno e maneggevoli nell'uso, alla luce anche di una più ampia e articolata concezione del "bene culturale".

Le elaborazioni grafiche finalizzate all'ottenimento di una sorta di propedeutico consenso popolare, che attiene ad una "strategia" progettuale diffusa nel periodo ottocentesco, grazie anche alle ombre che gli allievi ingegneri si esercitavano ad applicare per accrescere la verosimiglianza e la plasticità dei loro esercizi architettonici, viene oggi attuata grazie alla simulazione di materiali, alla costruzione di penombre determinate dall'effetto incrociato di sorgenti luminose molteplici o, ai più elevati livelli espressivi, dall'azione combinata di "tecniche concordi", quali fotografia e modelli grafici.

Come scriveva Herbert A. Simon nel 1971, "*siamo entrati in un'era in cui per la prima volta nella storia lo stesso processo progettuale sta diventando direttamente accessibile all'esame e alla descrizione…*"[25]. Sicché il disegno, che per sua definizione si configura come percorso di conoscenza, rappresentazione e comunicazione, viene chiamato a farsi carico anche delle esigenze di sperimentazione che, percorrendo trasversalmente specifiche competenze, contribuisce ad irrobustire le radici di un approccio culturalmente unitario.

[1] G. Rondelet, *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare* (tr. it.), Tomo I, Napoli, della Tipografia del Gallo, 1859, p.XI.

[2] Del resto Monge non poteva contare sugli sviluppi teorici e sulle relazioni proiettive sistematizzate successivamente, nel tardo ottocento, da Desargues, né sulla generale teorizzazione insiemistica di Cantor né tantomeno sull'assiomatica hilbertiana, che hanno reso il disegno tecnico padrone o schiavo (a seconda degli usi e delle finalità) di un'astratta ma rigorosa concezione dello spazio e delle sue dimensioni. Cfr. G. Fusco, *La didattica della rappresentazione. I modelli grafici*, in 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, 2003, p.288.

[3] Cfr. A. Fiocca, *La geometria descrittiva in Italia* (1798, 1838), Boll. Storia Sc. Mat. 12.2.1992, pp 187-249.

[4] La struttura viene creata nel 1716 dal duca d'Orlèans, reggente durante la minore età di Luigi XV. Cfr. *Delle Opere Pubbliche nel Regno di Napoli e degl'ingegneri preposti a costruirle*. Discorso di Antonio Maiuri, Napoli, della Stam-

peria e Cartiera del Fibreno, MDCCCXXXVI.

[5] Cfr. *Decreto per la formazione del Corpo Reale di Ponti e Strade e Lavori in acqua*, Napoli, della Tipografia di Angelo Trani, 1809.

[6] Cfr. L.M. Papa, *La cultura del disegno nella formazione dell'ingegnere*, in 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, 2003.

[7] Un esempio emblematico di questa disponibilità fu lo sviluppo che nella seconda metà dell'800 assunse la "statica grafica", cioè un modo esclusivamente grafico-geometrico di rappresentare le forze che agiscono su di una struttura, di studiarne e calcolarne gli effetti prodotti, di trattare ed eventualmente risolvere i problemi relativi al loro equilibrio. (Culmann, Cremona).

[8] 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.

[9] Numerosi libri risultano essere traduzioni di testi francesi. Un esempio piuttosto 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 versione dal francese del libro, 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.

[10] Cfr. G. Russo, *La scuola di Ingegneria in Napoli*, 1811-1967, Napoli, 1967.

[11] Cfr. Ceva Grimaldi, *Considerazioni sulle pubbliche opere della Sicilia di qua del Faro dai normanni fino ai nostri tempi*, Napoli, 1939, p.217.

[12] Cfr. Lettera del generale Francesco Visconti del 31 marzo 1818, ASN, Ministero della guerra, fascio 724.

[13] Cfr. A. Mori, *La cartografia ufficiale in Italia e l'Istituto Geografico Militare*, Roma, 1922, p.100.

[14] Cfr. G. Alisio, V. Valerio (a cura di), *Cartografia napoletana dal 1781 al 1889*, Napoli, Prismi, 1983.

[15] Cfr. Ch. R. Day, *Education for the industrial world. The écoles d'arts et métiers and the rise of French industrial engineering,* Massachusetts Istitut of technology, Boston, 1987.

[16] Cfr. R.R. Locke, *The end of the pratical man. Entrepreneurship and higher education in Germany, France and Great Britain, 1880-1940*, Jai Pres Greenwich Co., 1984.

[17] G.C. Calcagno, *La figura dell'ingegnere tra Sette e Ottocento*. In istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, *Ingegnere e politica nell'Italia dell'Ottocento: Pietro Paleocapa*, Venezia, Istituto Veneto di Scienze, Lettere e Arti, 1990, p.463.

[18] A. Giuntini, M. Minesso (a cura di), *Gli ingegneri in Italia tra '800 e '900*, Milano, Franco Angeli, 1999.

[19] P. Bolchini (a cura di), *Le aziende municipalizzate e l'evoluzione del sistema elettrico*, in *Storia delle Aziende Elettriche Municipali*, Roma-Bari , Laterza, 1999, p.12.

[20] Cfr. L.M. Papa, *Il sottosuolo della città. Problemi di normazione e* rappresentazione, in Aa.Vv., *La normazione nella rappresentazione dell'edilizia*, Roma, Kappa, 2000.

[21] Cfr. *Evoluzione dell'ingegneria in Italia ed in Europa*, Centro Studi C.N.I., n.24, 2001.

[22] Cfr. H.A. Simon, *Style in Design*, in *Proceedings of the 2nd Design Research Association Conference*, 1971.

Serena Pesenti

Architetti e Ingegneri: il restauro dei monumenti nel dibattito ottocentesco sulle riviste tecniche milanesi

Nel panorama culturale italiano dell'Ottocento, la vicenda del restauro trova nella pubblicistica uno dei momenti più rilevanti per la maturazione e la diffusione del dibattito relativo al significato culturale del patrimonio artistico, e, in particolare, monumentale.

La divulgazione della conoscenza dell'arte, e la consapevolezza della condivisione di un comune patrimonio artistico si inseriscono tra i temi sui quali si incentrano i contenuti delle testate che, nel periodo risorgimentale contribuiscono a fondare, e nello stesso tempo testimoniano, la costruzione della prospettiva unitaria nazionale[1].

Tra queste, non si può non considerare il ruolo svolto dalle riviste milanesi "Il Politecnico" (fondato nel 1839)[2] e "Il Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo" (pubblicato dal 1853 al 1868)[3] : la fusione dei due periodici nel 1869, ancora sotto il titolo "Il Politecnico" consoliderà questa impresa editoriale che arriverà a varcare la soglia del XX secolo, per giungere fino al 1937. Non solo per i contributi di carattere scientifico e letterario, ma soprattutto per la specifica attenzione alla cultura tecnica, le due testate, specie nella seconda metà del secolo XIX, rappresentano, come è noto, uno dei riferimenti di maggiore ampiezza e diffusione tra gli architetti e gli ingegneri italiani[4], ritenuti protagonisti, all'interno del ceto professionale, di quello sviluppo economico, civile e industriale che costituisce il motore dell'incivilimento dei popoli e la premessa per le 'magnifiche sorti e progressive' cui si riferisce in quel tempo l'ideale nazionale, sia nella fase dello slancio finalizzato all'unificazione, sia nella politica di consolidamento dello Stato unitario.

Fin dalla prima serie, "Il Politecnico"[5] si pone come "Repertorio Mensile di Studj Applicati alla Prosperità e Coltura Sociale"[6]. Secondo il programma del suo fondatore e direttore Carlo Cattaneo, il rinnovamento della cultura italiana si fonda sulle scienze 'sociali' e 'politiche in una accezione positiva della conoscenza che, erede della tradizione illuminista lombarda, assume come centrale l'importanza di una divulgazione degli studi ampia e finalizzata alle attività umane, alle 'arti', sullo sviluppo delle quali si fonda il progresso civile ed economico.

La caratteristica del progetto editoriale si confermerà anche in seguito, come appare dalle parole con le quali Francesco Brioschi inaugura, in qualità di direttore, la 'parte tecnica'[7] de "Il Politecnico", che dal 1866 esce in fascicoli separati dalla parte 'parte scientifico-letteraria[8], ove nello stesso anno appare l'importante saggio di Pasquale

Villari *La filosofia positiva e il metodo storico*[9] a suggello del sentieri tracciato dal Cattaneo.

Nell'ampio contesto degli articoli, volti a illustrare l'orizzonte dei saperi 'utili', sia di tipo teorico sia di carattere tecnico-applicativo, si inserisce anche il tema del restauro dei monumenti.
Senza dimenticare i contorni della discussione sulle questioni generali della storia dell'architettura (che, soprattutto dopo l'unificazione, avrà come oggetto i temi riguardo lo stile dell'architettura della nuova Italia, le nuove tipologie edilizie e tecnologie costruttive, il problema della didattica per gli ingegneri e per gli architetti, per citarne soli i principali), una disamina critica e puntuale dei contenuti del dibattito di cui queste riviste sono teatro, anche circoscritta all'ambito della sola vicenda del restauro[10], richiederebbe in ogni modo ben più ampia ed approfondita trattazione, peraltro già in precedenti occasioni da altri esaustivamente prodotta nei suoi tratti più significativi[11].

Ciò che in questa sede sembra più interessante mettere in rilievo, dunque, è un'analisi di quei risvolti che si riscontrano nella cultura tecnica - di cui "Il Politecnico", e il "Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo" sono espressione emblematica -, e danno conto del rapporto che si istituisce tra operatori, ovvero ingegneri e architetti, sul comune terreno del cantiere di restauro. Tali aspetti, legati all'operatività, certamente sono conseguenza del modo con il quale la riflessione disciplinare avanza nei suoi primi passi, ma appaiono a loro volta come elementi 'pratici' condizionanti il modo stesso di procedere nella messa a punto del discorso teorico, laddove quest'ultimo necessita di misurarsi con il 'fare' per trovare un riscontro tangibile nel cantiere. Le diverse modalità e competenze tecnico-progettuali afferenti alle due figure professionali, nel periodo in cui (prima e soprattutto dopo l'unità d'Italia) si vanno distinguendo i contenuti formativi delle rispettive scuole (Accademie e istituti tecnici[12]), rispecchiano parallelamente, sul piano progettuale, i rispettivi ambiti e limiti di interferenza e, proprio per questo motivo, talora sono fonti di controversie e di vivace polemica.
Dell'evoluzione di questa forma di dualismo, che prende le mosse dalla individuazione del significato stesso di restauro in ordine ai rispettivi compiti, la rivista il "Politecnico" contrassegna nel corso del tempo i passaggi salienti sui quali si incardinano alcune consuetudini, per così dire, 'pregiudiziali', nel *modus operandi* e nel *modus cogitandi* dell'ingegnere e dell'architetto, in relazione ai gradi di rilevanza storico-artistica attribuita al monumento, e in ordine al livello progettuale dell'intervento, dalla manutenzione al consolidamento strutturale al 'restauro'.

Dal 'primo' "Politecnico" a "Il Politecnico.Giornale dell'Ingegnere Architetto civile e industriale"

Il problema del concetto di restauro, e quello di monumento che ne sta alla base, si inquadra a sua volta, evidentemente, all'interno del tema più ampio

della cultura storica e storiografica ottocentesca. Per questo motivo, nella sua fase di iniziale di elaborazione concettuale, il dibattito prende le mosse dalla discussione sul valore testimoniale del monumento. La funzione del restauro, relativa ad esso, prima di essere trasferita sul piano operativo, è considerata oggetto di una riflessione di tipo 'letterario-scientifico', piuttosto che di carattere 'tecnico'[13].

A questo aspetto si connette anche l'ampliamento, di natura linguistica, che il concetto di monumento in questi anni va assumendo. Da una visione che tradizionalmente attribuisce al termine 'monumento' il significato di 'memoria, cenotafio', e si riferisce quindi elettivamente al documento cartaceo o epigrafico, l'orizzonte si allarga a comprendere il monumento architettonico, fino poi a riferirsi prevalentemente a questo significato[14], di lì in avanti nei tempi successivi.

In effetti, come sopra si accennava, ai suoi esordi nella cultura italiana del XIX secolo, la disciplina del restauro trova le proprie motivazioni fondative nelle istanze culturali della propaganda politica e culturale risorgimentale. Dunque la riflessione sulla definizione delle 'memorie' di storia patria trova sede più consona tra i temi speculativi, piuttosto che tra quelli strettamente tecnici. Esso si connota infatti come strumento che può potenziare nel monumento il significato di testimonianza di valori del passato, e così contribuire alla costruzione di documenti e di simboli (il monumento in realtà è riconosciuto come tale se è documento di storia e di arte patria[15]), didatticamente efficaci nel rendere tangibilmente manifesta la comune radice culturale del popolo italiano.

Di conseguenza anche le riviste stesse, registrano il dibattito sul restauro in quanto questione eminentemente 'letterario-filosofica', prima di ampliarsi, in un secondo tempo al problema metodologico dell'operativo e della tutela istituzionale.

Così, già nel 'primo' "Politecnico" i contributi sul tema, spesso a firma dello stesso Cattaneo, appaiano quali "Memorie" nella sezione riservata alle *"Belle arti e belle lettere"*, come si riscontra ad esempio già nel 1839, con l'articolo intitolato *Del restauro di alcuni edificj in Milano*[16]. In questo scritto, attraverso il riferimento a recenti interventi su monumenti milanesi, il direttore enuncia la propria idea di restauro: affinché esso non sia opera devastatrice, l'intervento deve conservare al monumento "il suo carattere proprio e nativo". Concezione del restauro, questa, che in una fase di iniziale formazione, vede apparire anche una sorta di attenzione alla stratificazione storica, peraltro ricondotta e valutata entro i criteri selettivi della storiografia artistica.

La natura della trattazione del restauro come tema squisitamente teorico si conferma anche nelle serie successive[17]: dal 1860, con il rinato "Politecnico", anche la cronaca che investe numerosi argomenti di attualità, come i progetti per la nuova piazza del Duomo di Milano trova spazio nella sezione *"Letteratura, Belle Arti"*. Lo stesso av-

viene negli anni successivi, quando inizia la collaborazione di Camillo Boito, o incominciano ad apparire sull'argomento anche i primi contributi strettamente scientifici, ad esempio quello di D. Price, *Sulla influenza della luce nella conservazione dei dipinti*, presentato da Giulio Curioni[18]. Questo tipo di orientamento si consolida forse anche per la sopraggiunta presenza, nel settore dei periodici milanesi de "Il Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo" che dal 1853 si pone come veicolo di diffusione dei contenuti più prossimi alle questioni tecniche dell'architettura e dell'ingegneria delle grandi opere pubbliche e dell'industria[19].

Nella rivista si inizia a delineare il tema del restauro non solo come argomento progettuale (è sulle pagine di questa rivista che sarà pubblicato forse il primo progetto di restauro corredato da un'ampia relazione storico-tecnica e da disegni, il *Progetto di restauro per la chiesa di S. Maria e Donato a Murano*, di Camillo Boito [20]*)* ma anche come questione relativa alla tutela istituzionale. La recensione del decreto che istituisce a Vienna una Commissione centrale per la conservazione dei monumenti della 'monarchia', evidenzia la valenza politica di questo campo di interesse. Il commento del "Giornale" diviene occasione per ribadire il significato di monumento come simbolo 'nazionale', italiano, in forte contrapposizione con il disegno austriaco orientato, anche attraverso i monumenti simbolo 'della monarchia' (come appunto recita il decreto), a calibrare il dominio dell'impero sui diversi popoli ad esso sottomessi, ma non certo per rinfocolarne i singoli nazionalismi[21]. Nella rivista, già apertasi alle questioni attuali (come il dibattito milanese sul destino dei Portoni di Porta Nuova[22], al nuovo chiarimento teorico dei principi dell'architettura di Pietro Selvatico[23], padre dei restauratori ottocenteschi, oltre ai più ampi e numerosi temi dell'architettura affrontati da Boito ed altri), si inizia anche ad 'illustrare' i più importanti monumenti medievali[24], con lo spirito di costituire una sorta di 'catalogo': l'idea dell'elenco, della conoscenza dell'entità degli oggetti di interesse nazionale come premessa imprescindibile per qualunque forma di tutela del patrimonio storico-artistico. E' da segnalare, ancora, a tale proposito, l'attenzione originale che l'ingegnere idraulico Raffaele Pareto, direttore del "Giornale" dal 1860, rivolge agli aspetti per così dire 'minoritari' nella visione del suo tempo dell'architettura, e quindi del restauro, come l'apprezzamento dello stile barocco[25], ma soprattutto la pubblicazione di un testo di E. Street che, pur presentato con qualche cauta perplessità, di fatto introduce il pensiero di Ruskin contro il restauro[26].

In questo senso se di una specificità si può parlare circa il contributo del dibattito milanese, e, insieme ad esso, della pubblicistica tecnica, questa risiede anche nella possibilità di riconoscere in modo esplicito, al suo interno, le due facce antitetiche della visione del restauro che, pure in modo alterno e sbilanciato in Italia si fronteggiano per tutto

il secolo (e oltre), ma che qui trovano una più evidente individuazione. Da una parte la posizione, maggioritaria e vincente (anche nel porsi come esemplificazione operativa), che vede il cantiere orientarsi verso i riferimenti del restauro stilistico viollettiano, tradotto nei modi della visione italiana dell'architettura e del suo linguaggio storico, protesa a riconferire integrità stilistica e simbolicamente didascalica al monumento; dall'altra il concetto di monumento come testimonianza 'archeologica', che chiede il totale rispetto della sua autenticità materiale per poter illustrare, quale documento, il processo storico.

Sul dualismo di questa visione si innestano ulteriori problematiche: la 'conservazione' come manutenzione o consolidamento quali operazioni distinte, anche all'interno di uno stesso progetto di intervento, dal 'restauro' della *facies* simbolica e stilistica del monumento; la ricaduta di questa concezione, relativa ai gradi dell'operare, nell'affacciarsi delle prime sperimentazioni istituzionali per la tutela dei monumenti; e ancora l'allargarsi del solco tra formazione dell'ingegnere e dell'architetto, con la separazione tra competenze ministeriali sulla tutela del patrimonio e sulla diretta gestione del cantiere dei lavori per l'esecuzione degli interventi di restauro; la distinzione tra monumenti di interesse 'nazionale' e di interesse 'locale'.

In effetti, contestualmente alla più ampia accezione di 'monumento' come oggetto di architettura, si delineano pure differenti interpretazioni circa la portata e il significato dei modi di intervento che, in certa misura, rinviano anche al costituirsi di una gerarchia nell'importanza attribuita agli edifici secondo il livello di interesse: nazionale, provinciale o locale. Gerarchizzazione questa che si riflette nei modi con i quali ad esempio è assegnata la responsabilità della conservazione presso l'amministrazione centrale dello Stato (ministero della Pubblica Istruzione, per i monumenti 'nazionali', Grazia Giustizia e Culti per gli edifici di proprietà del Demanio, come accade per il patrimonio acquisito con le soppressioni religiose), ma si riscontra anche nella frantumazione di competenze che si intrecciano, come si è accennato, pure all'interno di un unico oggetto di intervento: il restauro dei monumenti 'nazionale' dipende dal Ministero della Pubblica Istruzione, che non ha una dotazione diretta di tecnici per gestire il cantiere, ma deve valersi degli ingegneri del Genio civile, che afferisce al Ministero dei Lavori Pubblici.

Anche su questo aspetto "Il Politecnico" offre spazio alla tesi di Tito Vespasiano Paravicini[27] che, in nome della necessità di preservare l'autenticità materiale dei monumenti, arriva a ritenere più consona la figura dell'ingegnere che, per formazione scevro da velleità di artista, si pone in modo più rigoroso come garante della conservazione della fabbrica. Ciò in opposizione all'opinione diffusa nei congressi artistici e a quanto sostiene lo stesso Camillo Boito, il quale rivendica invece all'architetto la necessaria competenza arti-

stica per affrontare il restauro dei monumenti, ritenendo che *"il Genio, che si chiama 'civile', sia la maggior piaga dei monumenti italiani"* [28].

In realtà, come commenterà Luca Beltrami a proposito dell'ambiguità dei rapporti tra Genio civile e istituzioni per la tutela, già nel 1884, *"sarebbero bastate poche e semplici disposizioni regolamentari per stabilire in quale modo e misura il delegato regionale* [figura istituita dal ministero della Pubblica Istruzione, n. d. r.] *potesse collegare e fondere l'opera propria con quella del Genio civile, ogni qualvolta questo ufficio fosse stato chiamato a compiere lavori in qualche monumento nazionale"* [29].

Ma la specifica questione, non trova soluzione definitiva nemmeno nei provvedimenti successivi, che vedono nel 1891 la creazione degli Uffici regionali per la conservazione dei monumenti [30], uffici dotati finalmente di attribuzioni e di personale tecnico in grado di gestire direttamente il cantiere di restauro. Ciò per il persistere di eccessive sovrapposizioni di competenze burocratiche[31].

Il problema si pone tuttavia nel circuito che riporta al nodo di fondo, ovvero l'idea stessa di restauro. Come rileva Paravicini, peraltro, si è visto, sbilanciato a favore degli ingegneri, ciò è da ascrivere al modo stesso con cui si è posta la questione fin dall'inizio: "*Questa crociata contro gli ingegneri del Genio Civile non è che la conseguenza logica del modo con cui venne posta la questione della conservazione e del ristauro degli antichi monumenti e delle differenze definite nei Congressi fra l'ingegnere e l'architetto, differenze che si possono riassumere pel dichiarare l'uno scienziato e l'altro artista; il primo dedicato alla costruzione ed al mantenimento di ponti, strade, ecc. ; mentre l'architetto è, o dovrebbe essere, l'artista che rende bella, vaga, interessante una costruzione, e quindi il solo adatto, per la qualità stessa dei suoi studi, a comprendere il bello e l'importanza artistica dei monumenti architettonici"*[32].

Di fatto ormai è sancita la divisione di competenze. All'architetto spettano le operazioni di carattere 'artistico' connesse all'interpretazione dell'architettura in funzione del ripristino o del potenziamento della sua valenza simbolica. All'ingegnere sono affidate invece le incombenze relative agli edifici o alle parti progettuali ritenute 'senza qualità artistica', che si configurano come azioni prive di una cifra culturale, come la 'conservazione', intesa in un'accezione che va dalla manutenzione al consolidamento strutturale, operazione pure quest'ultima considerata priva della dignità culturale del progetto, secondo un pregiudizio che fino a tempi recenti ha continuato a sussistere nell'ambito del restauro.

[1] In questo quadro, tra le prime imprese pubblicistiche de secolo, è da ricordare quella avviata da Gianpietro Vieusseux con la fiorentina "Antologia" (1821-1832), ove sono rilevanti i contributi all'evoluzione della storia dell'arte in Italia. E' da ricordare peraltro che tale rivista mirava a un ampliamento e a una circolazione della cultura di respiro europeo, piuttosto che alle idealità politiche specificamente italiane. Per l'analisi critica della "Antologia", riferita ai testi ai temi generali della storia dell'arte cfr. *Gli scritti d'arte dell'Antologia di Viesseux*, a cura di P. Barocchi, Firenze, Spes , 1975-79.

[2] La prima serie è stampata dal 1839 al 1844. Dopo il fallimento dell'impresa editoriale Carlo Cattaneo si rifugia allora in esilio volontario a Lugano fino al 1865. Da lì, nel 1860 riprende la direzione di una nuova serie de "Il Politecnico" (ora con il sottotitolo: "Repertorio mensile di Studj applicati alla prosperità e coltura sociale") che rinasce con l'intento di discutere i problemi dell'organizzazione del nuovo stato. Ma, non essendo più in grado di imporre la propria impostazione alla redazione, nel 1862 egli cessa la direzione pur continuando a collaborare alla rivista fino al 1865, data in cui rientrerà a Milano. Cfr. L. Cargnelutti, F. Micelli, *Il Politecnico*, Treviso, Canova, 1978, p. 6; G. Lacaita, *"Il Politecnico" e la cultura tecnico scientifica*, in *Il Politecnico di Milano. 1863-1914* , Milano, Electa 1981, p. 248. Per i riferimenti generali alla rivista del Cattaneo nel contesto milanese cfr. *Storia di Milano*, vol. XIV, Milano, Treccani degli Alfieri, 1960, parte IV a c. di F. Curato, pp. 193-200 C. Cattaneo, *Epistolario*, a c. di R. Caddeo, Firenze, Barbera, 1949; *Tutte le opere di Carlo Cattaneo*, a c. di L. Ambrosoli, Milano, Mondadori, 1967; P. Redondi, in*, Storia d'Italia – Annali 3, "Scienza e Tecnica"*, Torino, Einaudi; *Carlo Cattaneo. "Il Politecnico" 1839-1844*, a c. di L. Ambrosoli, Torino 1989; C. Lacaita, *"Il Politecnico"e la cultura tecnico scientifica*, in *Il Politecnico di Milano(1863-1914)* , Milano, Erlecta 1981, pp. 243-255; M. Fugazza, *Carlo Cattaneo: scienza e società*, Milano Angeli, 1989; *C.C. e "Il Politecnico": scienza, cultura, modernità*, a c. di A. Colombo, C. Montaleone, Milano, Angeli, 1993.

[3] Pubblicata dall'editore Bartolomeo Saldini di Milano la rivista nasce con l'intento di assumere un ruolo simile a quello del periodico francese "Les Annales des Ponts et Chaussées" e di quello inglese "The Civil Engineer and Architect's Journal. Diretto dal 1860 dall'ingegnere Raffaele Pareto, nel 1867 assume i nome di "Giornale dell'Ingegnere Architetto Civile e Meccanico", fino al 1869 quando si fonderà con la 'Parte tecnica' de "Il Politecnico, dando vita al nuovo "Il Politecnico. Giornale dell'Ingegnere Civile e Industriale".

[4] E' da ricordare come già dal fasc. III-IV, settembre-ottobre 1867, "Il Politecnico", inizi a pubblicare gli "Atti" del Collegio degli Ingegneri ed Architetti di Milano, ricostituitosi due anni prima, e introdotto da una presentazione della redazione a testimoniare, ancora una volta, lo stretto legame con il mondo dell'attività professionale e industriale. Cfr. anche A. Gabba, *Sui rapporti tra il Politecnico di Milano e il Collegio degli Ingegneri e architetti di Milano*, in *Il Politecnico di Milano nella storia italiana. 1914/1963*, vol. I, Roma-Bari, Laterza, 1989, pp. 337-343.

[5] Anche se certamente non è ininfluente il difficile clima politico nella Milano oppressa dal dominio dell'Impero austriaco, la prima serie de "Il Politecnico" cessa la stampa nel 1844, "per stanchezza del redattore e per le perdite che questi aveva subito in seguito alla gestione (certo infedele) del primo tipografo" (M. Berengo, *Intellettuali e librai nella Milano della restaurazione*, Torino, Einaudi, 1980, p. 253). Cfr. Monti, *La prima serie de"Il Politecnico"*, in "Rivista d'Italia", giugno 1915.

[6] L'organizzazione delle materie è articolata nelle sezioni: I. applicazioni fisiche e matematiche, tecnologia, agraria, istoria naturale, medicina; II. arte sociale, studj economici, legali, amministrativi, istorici,; III. studi mentali, metodi d'istruzione, adunanze scientifiche, progresso delle scienze, IV belle arti, belle lettere.

[7] Si veda il *manifesto della quarta* serie, in "Il Politecnico", serie IV, gen. 1866, vol. 1, 'Parte Tecnica', pp. V-VII. Sulla figura del Brioschi cfr. in particolare i saggi di G. Lacaita, A. Silvestri, G. Ricci, in *Francesco Brioschi e il suo tempo*,

vol. I "Saggi", a cura di G. Lacaita, A. Silvestri, Milano, Angeli, 2000.

[8] La pubblicazione della 'Parte letteraria' avviene regolarmente fino alla fine del 1868; quella della 'Parte Tecnica' procede più faticosamente: l'ultimo fascicolo del 1867 è stampato con un anno di ritardo. Con la quinta serie, nel 1868, si avranno due anche direzioni separate: per la 'Parte Tecnica' Francesco Brioschi, per la 'Parte letterario-scientifica' Romualdo Bonfadini. Con il 1869 la prima si fonderà con il "Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo" nella nuova rivista "Il Politecnico. Giornale dell'Ingegnere Architetto Civile e Industriale". La parte letteraria invece confluirà nel periodico "La Nuova Antologia".

[9]"Il Politecnico", 'Parte letterario-scientifica', A. XIII, sem. I, vol. 1/1, pp.1-29.

[10] A tale proposito si ricorda la selezione di articoli della rivista, orientata ai temi del restauro, pubblicata da S. Pesenti, in "TeMa" I, 1993, nn. 1-2 per "Il Politecnico" I serie, (1839-1844); I, 1993, n. 3, per "Il Politecnico" II e III serie (1860-1865); I, 1993, n. 4, e II, 1994, n. 1 per la IV serie (1866-1868).

Della stessa autrice, si veda anche lo spoglio della rivista *Giornale dell'Ingegnere Architetto e Agronomo, (1853-1867)*, in *TeMa*, II, 1994, nn. 3, 4; III, 1995, n. 1; IV, 1996, nn. 1, 2; V, 1997, n. 2-3; VI, 1998, n. 4.

[11] Fondamentali riferimenti per il dibattito sul restauro in rapporto all'ambiente culturale e alle riviste milanesi nell'Ottocento, sono le riflessioni critiche di Amedeo Bellini. Tra i suoi numerosi contributi, in particolare si vedano A. Bellini, *"Note sul dibattito attorno al restauro dei monumenti nella Milano dell'Ottocento: Tito Vespasiano Paravicini"*, in *Saggi in onore di Renato Bonelli*, vol. II, Roma, Multigrafica ed., 1992, pp. 895-902; Id., *Il tempo del restaurare, il tempo del conservare*, in "Recto Verso " (Milano) n. 1, 1995; Id., *T. V. Paravicini*, Milano, Guerini, 2000, specie il cap. III, *Il pensiero sul restauro nel contesto milanese*, pp. 29-80; Id., *Presentazione*, in *Maciachini architetto e restauratore*, Atti del convegno di Induno Olona, a cura di L. Rinaldi, Induno Olona, (Va), 2002, pp. 11-17; Id., *Il tempo del restaurare, il tempo del conservare*, in "Recto Verso " (Milano) n. 1, 1995.

[12] Per le particolari connessioni del fare restauro con la formazione di architetti e ingegneri si riportano qui di seguito le principali indicazioni bibliografiche con particolare riferimento all'area lombarda e milanese. Per il periodo dalla Restaurazione alla fine dell'Ottocento si vedano A. Castellano, *Il corpo di Acque e Strade del Regno Italico: la formazione du una burocrazia statale moderna*, in *Civiltà di Lombardia. La Lombardia delle riforme*, Milano, Electa, 1987; i contributi di G. Ricci, S. Della Torre, in *L'architettura nelle Accademie riformate*, Guerini, Milano 1992; i testi di A. Dionisio, L. Giacomini, M.G. Sandri, G. Ricci, in *La cultura architettonica nell'età della restaurazione*, Atti del convegno, a cura di G. Ricci e G. D'Amia, Politecnico di Milano, ottobre 2001, Milano, Mimesis, 2002.

Per il dibattito nella seconda metà dell'Ottocento cfr. O. Selvafolta, *L'Istituto tecnico superiore di Milano: metodi didattici ed ordinamento interno (1863-1914)*, pp. 87-118; G. Lacaita, *"Il Politecnico"e la cultura tecnico scientifica*, pp. 243-255; A. Castellano, *Le relazioni tra il Politecnico e la società del tempo*, pp. 137-165 in *Il Politecnico di Milano.1863-\914*, Milano, Electa, 1981; O. Selvafolta, *Costruzione e cultura tecnica nella seconda metà del XIX secolo. Gli ingegneri civili del Politecnico di* Milano, in *Costruire in* Lombardia, Milano, Electa, 1982; G. Ricci, *Dall'archivio dell'Accademia di Brera precisazioni sui primi rapporti di Camillo Bopito con Milano e sul suo impegno di riformatore della* didattica, in *Omaggio a Camillo* Boito, Milano, Angeli, 1989; L. De Stefani, *Le scuole di architettura in Italia. Il dibattito dal 1860 al 1933*, Milano, Angeli, 1992; P. GALLO, *"Milano tecnica" un libro per un progetto di città*, Marsilio, Venezia 2000; G. RICCI, *L'ordinamento degli studi per l'architettura civile: la soluzione milanese nella prima età unitaria*, in *Francesco Brioschi e il suo tempo*, vol. I "saggi", a c. di G. Lacaita, A. Silvestri, Milano, Angeli, 2000, pp 199-212; G. RICCI, *Il dibattito culturale e legislativo per l'istituzione delle scuole superiori di architettura*, in *Il Politecnico di*

Milano nella storia italiana 1914/1963, vol. II, Roma-Bari, Laterza, 1989, pp. 585-612.

[13] Nella prima serie de "Il Politecnico" (1839-1844), di C. Cattaneo, per l'anno I, 1839, sem. I, vol. I: *Sulla dignità della popolazione in Lombardia e sulla sua relazione alle opere pubbliche*, pp. 29-52, pubblicato nella sezione *Arte sociale, studj economici*; *Del ristauro di alcuni edifici in Milano*, I, pp 58-67, pubblicato nella sezione IV *Belle arti, belle lettere*; [C. C.] *Nota sui restauri in Milano*, II, pp. 194-197; *Multe ai così detti restauratori di edifici antichi*, VII, p 96, e *Sul progetto d'una piazza pel Duomo di Milano*, il primo di una serie numerosa di articoli sull'argomento, pubblicati anche nella seconda serie della rivista, a firma del direttore e di altri.

[14] Tra i primi a considerare questo aspetto G. ROCCHI, *Camillo Boito e le prime normative del restauro*, in "Restauro", 1974, n.15, pp. 41-46. Si veda inoltre M. Bencivenni, R. Dalla Negra, P. Grifoni, *Monumenti e istituzioni*, Firenze, Alinea, vol. I, 1987, pp.148-151.

[15] A. Bellini, *Presentazione*, a S. Pesenti, *La tutela dei monumenti a Firenze. Le 'Commissioni conservatrici' (1860-1890)*, Milano, Guerini, 1996, pp. 14-15.

[16] [C. Cattaneo], *Del ristauro di alcuni edifici in Milano*, in "Il Politecnico", I, 1839, I, pp 58-67.

[17] Si ricordi ad esempio l'articolo di B. Biondelli, *Sulle antichità e sui restauri in Milano*, in "Il Politecnico", pubblicato nei fasc. LXIX. pp.303-310; LXX, pp. 59-84 ; LXXI, pp. 222-232; LXXII, pp. 278-287 del 1862; LXXV, pp. 307-323 del 1863.

[18] In "Il Politecnico", A. XII, . IV, vol. 27.

[19] Si ricorda che la fondazione della rivista cade nel periodo in cui "Il Politecnico" ha cessato la stampa.

[20] *"Il Giornale dell' Ingegnere Architetto e Agronomo"*, d'ora in poi GIAA, a. IX, 1861, vol. IX, febb. ,pp.76-87.

[21] *"Società archeologiche"*, GIAA, A. I, 1853, sem. Ii, vol. I, nov., pp. 180-182.

[22] P. A. CURTI, *I Portoni di Porta Nuova in Milano*, GIAA, A. III, 1856, pp.675-681.

[23] Cfr. la recensione di Rovani al *Corso di Estetica – parte antica*, GIIAA, 1853, A. I, pp. 451-457.

[24] Ti sono, ad esempio, i numerosi articoli di R. Pareto e di E. Arborio Mella.

[25] R. Pareto, *Dello stile barocco nei fabbricati e nei monumenti della città di Genova*, in GIAA, A. V, 1857, pp. 311-331.

[26] *Sul ristauro degli antichi fabbricati*, GIAA, A. IX, 1861, pp. 626-635.

[27] T.V. Paravicini, *Gli ingegneri del Genio Civile e la conservazione ed il restauro dei monumenti*, in "Il Politecnico", vol. XXXI, 1883, pp. 73-77, già in "Atti del Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Milano", XV, lug-dic 1882, fasc. III-IV, pp. 180-184.

[27] C. Boito, *I restauratori*, Firenze, Barbera, 1884, p. 33.

[28] C. Boito, *I restauratori*, Firenze, Barbera, 1884, p. 33.

[29] L. Beltrami, *La conservazione dei monumenti nell'ultimo ventennio*, in "La Nuova Antologia", vol. 38, 1892, fasc. 1, p.469.

[30] R. D. 19 agosto 1891.

[31] L. Beltrami, *La conservazione* ...., cit., p.469.

[32] T.V. Paravicini, *Gli ingegneri del Genio Civile*..., cit., p.181.

VITO CARDONE

L'avvio degli studi di ingegneria in America

1. Generalità

Nel Nuovo Mondo, come in tutto il mondo, gli studi di ingegneria vennero avviati in maniera organica agli inizi dell'Ottocento.

Nei diversi paesi del continente il loro sviluppo è stato diverso, per tempi e modi, dipendendo dalle condizioni e dalle vicende dei singoli paesi: in particolare dai tempi e dai modi della conquista dell'indipendenza e dalle mutevoli relazioni che ognuno di essi aveva con gli stati europei.

Gli studi in merito sono ancora ridotti, ma si stanno moltiplicando nel tempo alla luce anche dell'esigenza di ricostruire la propria storia e di ritrovare le proprie radici, che si sta sviluppando sempre più in tutto il continente americano.

Allo stato, pertanto, essi risultano ancora molto frammentari, consistenti per lo più in storie di singole scuole di ingegneria o in biografie dei primi ingegneri, nelle quali prevale non tanto il localismo, che è insito in studi del genere, quanto sovente una forte dose di provincialismo, di errata, limitata o assoluta mancanza di contestualizzazione storica e tematica. Poche, anche, le ricerche globali sui singoli paesi. Negli ultimi anni tuttavia, soprattutto nei paesi latino-americani, anch'essi coinvolti in una riforma degli studi che pare non terminare mai, si registra una maggiore attenzione per una lettura di carattere globale.

Dall'analisi dello stato dell'arte è comunque possibile tentare di delineare un primo, per quanto molto incompleto, quadro generale. Da esso emergono, pur nell'enorme diversità già rilevata, tratti in comune di non poco interesse, talvolta anche con quanto si stava verificando in Europa.

Nei maggiori paesi, o nei territori di quelli che diverranno poi stati autonomi, le prime scuole di ingegneria vengono istituite nello stesso periodo in cui vengono attivate in Europa. In alcuni casi, addirittura, corsi regolari di ingegneria sul suolo americano vengono attivati prima che in alcuni importanti stati europei.

Come in Europa inoltre - e in qualche caso più che in Europa - in tutti i paesi che istituiscono scuole di ingegneria queste vengono tutte decisamente pensate e attivate sulla base del modello che Gaspard Monge mise a punto, tra il 1794 e l'inizio dell'Ottocento, per l'École Polytechnique di Paris: una scuola che suscitò grande interesse al di fuori della Francia, conseguendo subito un'enorme reputazione[1] . Il modello mongiano ha lasciato tracce ovunque, ma più profonde soprattutto nei paesi che non avevano la stessa forte tradizione di scuole specialistiche centralizzate dei Corpi dello Stato e dove la formazione degli ingegneri è stata affidata a un solo tipo di istituzione. Certo, in nessun luogo è stato messo a punto un

piano così organico ed unitario come quello concepito da Monge e che forse era in qualche modo chimerico (se rapportato alla realtà di fatto, con le logiche di orticello che hanno sempre caratterizzato il mondo scientifico). Ma ovunque, e in ogni momento, le questioni di fondo che si sono dovute affrontare nell'organizzare o riorga-nizzare la formazione degli ingegneri sono sempre state all'interno della pro-blematica individuata da Monge, che seppe darvi la più chiara e funzionale delle soluzioni che il momento richiedeva e consentiva.

Vero è che i casi di fedele trasposizione del modello mongiano furono rari, ma nei primi anni dell'Ottocento, con sorprendente rapidità, furono attivate in tutta Europa varie scuole per ingegneri civili, militari o politecniche: a partire dal modello francese, più o meno riveduto, ma comunque con gli stessi insegnamenti di base. Ciò si deve sia al prestigio scientifico della Francia sia all'opera di divulgazione effettuata dai molti allievi di Monge (della Poly-technique e precedenti) che - chi durante la rivoluzione, chi durante il primo impero, chi durante la restaurazione - abbandonarono la Francia, stabilendosi in altri paesi.

La prima scuola a essere istituita fuori dalla Francia fu la Escuela de Caminos y Canales di Madrid, nel 1802, per iniziativa di Augustín de Betancourt y Molina: ingegnere delle Canarie che aveva studiato in Francia e fu autore, tra l'altro, della prima traduzione delle *Leçons* di Geometria descrittiva di Monge (in castellano, nello stesso 1799 in cui vide la stampa il testo del maestro)[2]. Seguirono le scuole di Charlottenburg (1799), Praha (1806), San Pietroburgo (1809), Napoli (1811), Wien (1815), Roma (1817), Berlin (1821), Karlsruhe (1825), tra le prime[3].

2. Le prime scuole di ingegneri negli Stati Uniti d'America

Il modello di formazione degli ingegneri messo a punto da Monge per la Polytechnique radicò con altrettanta forza negli Stati Uniti d'America, ove divenne riferimento essenziale per tutte le prime scuole di ingegneria.

L'approccio mongiano alla formazione degli ingegneri era giunto tempestivo nel nascente ambiente tecnico statunitense: ad opera del normanno Marc-Isambard Brunel che aveva conosciuto le teorie di Monge durante un corso di addestramento nella Marina francese.

Per le sue opinioni 'realiste', allo scoppio della rivoluzione Brunel riparò negli USA, ove fu subito impegnato in campagne di rilevamenti nella regione dei grandi laghi e la sua preparazione nel campo dell'ingegneria civile gli fruttò, nello stesso 1793 in cui giunse, la nomina a ingegnere capo dello stato di New York. Nella futura città dei grattacieli seguì, tra l'altro, la fortificazione della rada, la costruzione di un arsenale e di una fonderia di cannoni e costruì anche un importante edificio: il *Bowery Theatre*[4]. Nel 1799 Brunel si trasferì in Gran Bretagna, ove svolse una vasta attività progettuale in vari campi delle costruzioni civili (suo il *Thames Tunnel*) e industriali e, sempre con insegnamento francese, avviò alla professione il figlio

Isambard Kingdom, nato a Portsmouth (quindi britannico a tutti gli effetti), che si affermò come forse il maggiore ingegnere civile ed architetto navale britannico della prima metà dell'Ottocento, al punto da essere definito «il grande maestro della diffusione dell'ingegneria»[5].

Brunel, pertanto, operò negli States quando gli studi di ingegneria in Francia non erano stati ancora riformati, ma egli doveva conoscere bene le opinioni di Monge in materia. E ciò è provato dal fatto che la gendarmeria francese lo ricercò a lungo, temendo che fosse depositario dei segreti del maestro: a partire dalla Geometria descrittiva che, messa a punto da Monge già nella seconda metà degli anni Sessanta del XVIII secolo, all'École du Génie de Mézières, fu poi coperta da segreto militare e Monge poté divulgarla solo trent'anni dopo, all'École Normale e poi alla Polytechnique. Comunque, il modello di formazione degli ingegneri non era stato ancora compiutamente definito e fu applicato per la prima volta proprio con l'attivazione dell'École Polytechnique.

Tale modello fu adottato quasi senza varianti alla Military Academy di West Point, nello Stato di New York, fondata nel 1802 nell'ambito della creazione di un corpo di ingegneri, voluto da Thomas Jefferson. In specie, vuoi per la nuova guerra con l'Inghilterra, vuoi perché i padri della patria -a cominciare da Jefferson, che conosceva bene ed ammirava la cultura francese ed era affascinato dalle idee rivoluzionarie, e da Benjamin Franklin, che aveva avuto rapporti con i maggiori scienziati francesi, divenuti poi quasi tutti professori della Polytechnique- guardavano alla Francia con grande interesse, nel 1812 la riorganizzazione dell'Accademia fu condotta sulla base di un attento studio di quanto era avvenuto in Francia. L'esperienza della Polytechnique e il modello mongiano furono studiati da Sylvanus Thayer (divenuto poi soprintendente di West Point), che stette a lungo in Francia, insieme a William MacRee, altro diplomato della scuola[6].

Dopo Waterloo nel paese ripararono diversi ingeneri militari francesi che avevano servito nell'esercito napoleonico: tra essi Simon Bernard, che avrebbe voluto accompagnare Napoleone a Sant'Elena ma fu invece autorizzato da Luigi XVIII a emigrare negli USA, e Claude Crozet, ufficiale di artiglieria, entrambi allievi di Monge alla Polytechnique.

Bernard divenne assistente del Brigadiere Generale Joseph G. Swift, comandante degli ingegneri militari e soprintendente dell'Accademia, il quale lo avrebbe voluto anche come professore a West Point. Bernard rifiutò l'incarico e preferì lavorare come ingegnere (nel Delaware, al canale tra l'Ohio e il Potomac, ai canali della Florida, alle strade di collegamento tra Washington e il Sud), anche se invece accettò la nomina a brigadiere generale dell'esercito, conferitagli dallo stesso presidente Jackson.

E furono diversi gli ingegneri francesi rifugiati negli States che lavorono in opere pubbliche e nell'esercito statunitense. Alcuni poi rientrarono in patria: come lo stesso Simon Bernard, che diventerà ministro di Luigi Filippo. Altri

ingegneri francesi furono impegnati nell'insegnamento; tra essi Crozet: chiamato prima (nel 1816) come professore assistente, poi come professore di ingegneria, e l'anno successivo nominato anche professore del Genio.

Crozet - che, come tutti gli allievi del maestro, aveva una stima nei confronti di Monge che rasentava la venerazione- fu il primo ad introdurre negli USA la matematica e le discipline tecniche di 'scuola' francese e a insegnarle con il metodo della Polytechnique. Nel 1823 Crozet lasciò l'Accademia e divenne *principal engineer* dello stato della Virginia, ove visse a lungo ed ebbe un ruolo importante anche nella creazione (nel 1839) del Virginia Military Institute. La permanenza in Virginia fu interrotta da una parentesi di due anni in Louisiana, dove con lui fu istituito (1833) un ufficio di Civil Engineer[7].

Intanto, nel 1819, il capitano Alden Partridge, allievo di West Point, aveva fondato a Northfield (nel Vermont) la American Literary, Scientific and Military Academy che prese poi il nome di Norwich University, e nella quale a partire dal 1821 fu attivata la prima scuola di ingegneria civile del paese (in essa si formerà, tra gli altri, Grenville Mellen Dodge, poi ingegnere capo delle ferrovie della Union Pacific e generale della guerra civile).

Si registra subito, pertanto, un intervento di privati accanto a quello delle istituzioni pubbliche. L'anno successivo studi preparatori per ingegneria furono istituiti nel Maine, a cura di Robert H. Gardiner e, nel 1824, a Troy (nello Stato di N. Y.) per iniziativa di Stephen van Rensselaer, che fondò la Rensselaer Scholl ove, accanto a carriere di tipo umanistico e di scienze naturali, furono attivati anche corsi nell'ambito della meccanica, delle applicazioni della chimica, delle arti e delle manifatture.

La nuova scuola ebbe rapide trasformazioni, anche nel nome, e nel 1835 - con il nome di Rensselaer Polytechnic Institute- fu autorizzata dallo Stato a rilasciare il titolo in Engineering and Technology, formando anche ingeneri civili. Il Rensselaer Polytechnic Institute fu poi oggetto di una profonda riforma, ispirata all'École Centrale des Arts et Manufactures: la scuola creata nel 1829 su iniziativa di Théodore Olivier e di altri allievi di Monge che, preoccupati per l'involuzione che, dopo la restaurazione, aveva subito la Polytechnique ad opera di Laplace, intesero recuperare l'originario modello mongiano per la formazione degli ingegneri.

Negli stessi anni Trenta scuole di ingegneria, soprattutto civili ma ben presto aperte ai settori industriali, venivano attivate in vari stati del paese: dall'Alabama (nel 1837, presso l'Università) al Massachusetts ove, alla metà del secolo, fu fondato il Massachusetts Institute of Technology.

In tutte queste scuole si adottavano libri di testo francesi, o loro traduzioni e adattamenti. Nella prima metà del secolo, infine, non pochi statunitensi furono a studiare ingegneria, soprattutto civile e mineraria attese le esigenze del paese, in Europa, in particolare in Francia e poi anche in Germania[8].

Da questo momento gli USA svilupperanno una propria via, con forte taglio tecnologico, nella formazione degli ingegneri. Ciò, però, esula dal tema che si sta svolgendo relativo all'avvio delle prime scuole di ingegneria.

3. L'attivazione degli studi di ingegneria in Sud America

Anche nel Sud America gli studi di ingegneria vengono avviati nei primi anni dell'Ottocento, soprattutto ad opera di ingegneri civili e militari spagnoli, la cui presenza rimase predominante nei primi decenni dell'indipendenza dei vari paesi del continente. Ad essi si aggiunsero poi vari ingegneri francesi fuoriusciti, in buona parte ufficiali dell'esercito napoleonico. Questi ultimi, benché in genere non abbiano insegnato nelle accademie e nelle università, ma siano stati impegnati soprattutto in ruoli militari e nella realizzazione di opere pubbliche, contribuirono comunque in maniera determinante alla diffusione del modello francese di formazione e dell'ingegnere[9].

In Chile - che alla fine del '700 era stato governato dall'ingegnere spagnolo Joaquin Del Pino - agli inizi del secolo successivo giunsero alcuni ingegneri francesi, tra i quali Charles-Joseph Lambert (ingegnere minerario che si interessò della coltivazione delle miniere) e José Alberto Baclé D'Albé che, dopo Waterloo, riparò negli Stati Uniti e poi in Sud America.

Subito dopo l'indipendenza Bernardo O'Higgins, il *lebertador de la patria*, fondò la Escuela Militar di Santiago, della quale designò direttore l'ingegnere militare spagnolo Antonio Arcos, futuro disegnatore della bandiera cilena. Dopo avere militato nell'esercito napoleonico, Arcos lavorò in Gran Bretagna, negli Stati Uniti e poi a Buenos Aires; trasferitosi in Chile fu il vero fondatore della Escuela Militar, insieme al maggiore francese Gorge Beauchef, consigliere di O'Higgins per la stessa Escuela.

Queste presenze dettero un'impo-stazione di tipo francese alla formazione degli ingegneri cileni che tuttavia, con l'arrivo nel corso del secolo di vari ingeneri tedeschi, assunse presto una forte impronta prussiana.

Per alcuni aspetti distinto, soprattutto per le vicende del paese, lo sviluppo degli studi di ingegneria in Brasile.

Anche nel più grande stato del continente essi vengono avviati agli inizi dell'Ottocento, con lo stabilirsi della corte portoghese a Rio de Janeiro e la diffusione nel paese delle conquiste scientifiche e delle riforme, nel campo della formazione, messe a punto in Europa, e in una prima fase sono legati alla formazione dell'élite militare. A differenza degli altri paesi del continente latino-americano, però, gli studi di ingegneria in Brasile non si sono giovati in eguale misura dell'apporto di ingegneri fuoriusciti europei (tra i francesi riparò Jean-Antoine Dissandes Monlevade). Essi, inoltre, sono stati a lungo gestiti da ingegneri militari[10].

Già nel 1792 a Rio era stata istituita la Real Academia de Artilharia, Fortificações e Desenho, con il sesto anno dedicato all'architettura civile.

Nel primo decennio del secolo successivo furono poi istituite una Academia Naval (1808) e una Academia Real Militar (1810). Nel 1823 a quest'ultima fu ammesso l'accesso anche di civili e nel 1832 ad essa fu annessa la Academia de Guarda-Marinha, costituendo così la Academia Imperial Militar. Nel 1839 l'accesso ad essa fu riservato di nuovo solo ai militari, ma nello stesso anno furono attivate discipline dell'ingegneria civile.

Si dovette attendere oltre la metà del secolo per vedere istituita la prima scuola di Engenharia Civil, sorta nell'ambito della Escola Central insieme alla carriera di Ciência Exatas (con Decreto del 1 maggio 1858).

Strettamente legata a quest'ultima, la carriera di ingegneria ebbe dall'inizio una forte componente tecnologica fondata, tuttavia, su una solida base scientifica: come nell'originario modello mongiano e come nelle scuole europee della prima metà del secolo.

Le altre scuole del paese ove si insegnavano discipline ingegneristiche erano tutte militari, per l'esercito e la marina.

Nel 1874 sarà istituita la Escola Politécnica a Rio; due anni dopo la Escola de Minas a Ouro Preto e solo nel 1893 la Escola Politécnica de São Paulo.

Le due scuole politecniche, per le esigenze del paese e tenuto conto degli sviluppi che gli studi di ingegneria avevano avuto nel mondo, nascquero con un forte taglio sulla tecnologia, volto alla formazione di ingegneri immediatamente operativi, anche se con una formazione scientifica di livello non eccelso. Non a caso, dall'inizio, in esse vi è un insegnamento denominato Tecnologia das Profissões Elementares, nel quale si studiano le tecniche di lavorazione, i materiali utilizzati, le attrezzature e la formazione dei lavoratori.

Fino alla fine dell'Ottocento, tuttavia, in queste scuole si impartiva soprattutto didattica e fu solo agli inizi del Novecento che fu chiaro che lo sviluppo dell'ingegneria civile brasiliana richiedeva un organico piano di ricerca tecnologica, della quale era a un tempo fattore. Quest'impostazione si deve soprattutto al fondatore della Escola Politécnica de São Paulo, l'ingegnere Francisco Paula Souza che aveva studiato a Zurich e Karsruhe e portò nel suo paese una visione tecnologica dell'ingegneria.

Di grande interesse, infine, il caso dell'Argentina anche per il grande contributo che venne dall'ingegneria italiana. Pure in questo paese, tuttavia, furono gli spagnoli i più attivi all'inizio, ai quali si aggiunsero presto i francesi fuoriusciti, la gran parte dei quali però non si dedicò all'insegnamento.

La loro presenza fu numerosa in Argentina ove si stabilirono, tra l'altro, i fratelli Antoine ed Enrique Pallardelle, impegnati soprattutto nel campo delle fortificazioni; Philipe Bertres, anch'egli impegnato nelle fortificazioni e poi come agrimensore e topografo; Narcise Parchappe, che lavorò soprattutto come agrimensore; Prospero Catilín, che aveva studiato all'École Polytechnique e fu autore di molte opere, tra cui il Cementerio de la Recoleta; Pierre Benoit, che fu direttore del Departamento Topográfico;

Alex Bruix; Ambrogio Cramer e lo spagnolo José Maria Romero, anch'egli ufficiale napoleonico.

Negli anni Venti giunsero nel paese i primi italiani, all'epoca anch'essi di formazione di impronta francese, che furono invece impegnati direttamente nella formazione degli ingegneri. Alla metà del secolo ad essi si aggiunsero, in alcune zone del paese, professori di origine inglese e, soprattutto, tedesca, che diedero un'impronta più pratica alla formazione.

Anche in Argentina, però, i primi tentativi di attivare gli studi di ingegneria risalgono alla fine del XVIII secolo, quando furono create una Escuela de geometría, arquitectura, perspectiva y toda espeie de dibujo e una Escuela de Náutica (nell'ottobre del 1799), la cui direzione fu affidata all'ingegnere spagnolo Pedro Antonio Corviño Nuñez[11]. Le due istituzioni furono concepite in un unico disegno, volto a creare ingegneri civili e militari, architetti e ufficiali navali; presto però sorsero problemi in entrambe.

In particolare alla Escuela de Náutica fu designato vice direttore Juan Alsina, anch'egli gallego, che aveva studiato alla Escuela de Náutica di Barcelona. Alsina, che l'anno precedente aveva proposto la creazione della scuola, aveva posizioni contrastanti con quelle del direttore. Corviño -che insegnò geometria, trigonometria, idrografia e disegno- era partitario di una formazione eminentemente teorica, mentre Alsina era per un insegnamento più pratico e accusava il rivale (Corviño gli aveva sottratto la direzione) di volere trasformare la scuola in un'istituzione di cultura scientifica superiore.

Nei primi anni dell'Ottocento entrambe le scuole furono soppresse ma nel settembre del 1810, quindi subito dopo la Rivoluzione di Maggio, Manuel Belgrano istituì una Escuela Militar de Matemática, con la direzione del catalano Felipe Sentenach, colonnello degli ingegneri. Due anni dopo, con la tragica morte del catalano, anche questa scuola fu soppressa[12].

Nel 1816, per iniziativa di Corviño, a Buenos Aires fu fondata la Academia Nacional de Matemáticas, il cui docente di maggior rilievo fu l'ingegnere spagnolo Felipe Senillosa, proveniente dalla Academia di Alcalá de Henares. Senillosa era giunto nel paese l'anno prima convinto da Bernardino Rivadavia, che aveva conosciuto a Londra, a trasferirvisi per formare ingegneri e lavorare a opere pubbliche (progettò, tra l'altro, alcune chiese e la residenza di Juan Manuel de Rosas). Nominato direttore dell'Academia Militar e vice direttore de la Academia Nacional de Matemáticas, poi unite sotto la sua direzione, Senillosa – che insegnò Geometria descrittiva – introdusse gli innovativi programmi di matrice francese, spesso dando ai corsi di insegnamento lo stesso nome: come ad esempio per "aplicaciones de álgebra a la geometría", che era la traduzione letterale del nome della disciplina che Monge creò, e insegnò per tutta la carriera, alla Polytechnique.

L'Academia funzionò fin quando, con Editto del 9 agosto 1821, Rivadavia e il

governatore della provincia di Buenos Aires, Martín Rodríguez, istituirono la Universidad de Buenos Aires, alla quale fu affidata la formazione in Ciencias Exactas. Nacque così un Departamento de Matemáticas, alla cui direzione fu posto ancora Senillosa, che si dedicò con particolare cura alla formazione di un nutrito gruppo di allievi, da destinare alla scienza e alla carriera universitaria. Tra questi si segnalarono Martiniano Chilavert, Avelino Díaz, che insegnò Geometria descrittiva all'Università e, prima di morire precocemente, fu autore dei testi di matematica e, soprattutto, Juan María Guitérrez, laureatosi nel 1825, che nel 1861 diverrà rettore dell'Università.

Servivano però risorse intellettuali immense e non si poteva certo contare solo sui giovani prodotti da questa prima università. Per cui Rivadavia avviò una campagna di reclutamento, in Europa, di professori universitari e di ingegneri per la realizzazione di opere pubbliche.

Giunsero così gli italiani Pietro Carta Molina, medico biellese dell'Università di Torino, che insegnò Fisica e il novarese Ottavio Fabrizio Mossotti, dall'Università di Pavia, che collaborò al Departamento Topográfico e fondò un osservatorio astronomico. Qualche anno dopo, però, i due rientrarono in patria (Molina, in particolare, forse più che emigrare si era rifugiato in Argentina per sfuggire alla pena di morte che gli era stata inflitta per aver partecipato ai moti del '21). Non così Carlo Enrico Pellegrini e gli inglesi Santiago Bevans, ingegnere idraulico che lavorò soprattutto alla realizzazione di infrastrutture civili, e Richard Adams, che operò invece come architetto.

Da molti ritenuto francese, Pellegrini è invece italiano a tutti gli effetti: di nascita e, in parte, anche di formazione. Nacque infatti a Chambery, nella Savoia allora (1800) italiana e studiò prima all'Università di Torino e poi a Paris (non si sa bene se alla Polytechnique o all'École des Arts et Métiers). Diventato ingegnere nel 1825, tre anni dopo giunse in Argentina, al posto del fratello anch'egli ingegnere che era stato contattato per primo, e fu inserito nel Departamento de Ingenieros Hidráulicos.

Ma Pellegrini spaziò in tutti i campi dell'ingegneria civile e dell'architettura e legò il suo nome alla istituzione della prima facoltà di ingegneria del paese. Noto pittore, padre di un futuro presidente dell'Argentina, si interessò allo sviluppo dell'agricoltura, elaborò progetti ferroviari, di porti, di varie altre opere pubbliche: suo, tra l'altro, è il progetto del primo Teatro Colón della capitale argentina[13].

Nel 1855 Pellegrini propose la creazione di una Facoltà di ingegneria, idea che fu approvata dalle autorità ma si concretizzò solo dieci anni dopo e parzialmente, con l'attivazione della laurea in ingegneria civile nell'ambito del Departamento de Ciencias Exactas della Universidad de Buenos Aires.

A tale scopo furono chiamati professori delle Università di Pavia, Torino e Parma, tra i quali gli ingegneri Bernardino Speluzzi, che insegnò Matematica superiore, Topografia e Geodesia, e poi Meccanica razionale; Emilio Rossetti, esper-

to in costruzioni ferroviarie, al quale furono affidati gli insegnamenti di Geometria descrittiva, di Architettura e di Meccanica applicata; Pompeo Moneta, anch'egli specialista in ferrovie, che insegnò, tra l'altro, Fisica sperimentale. Questi professori ebbero anche numerosi e importanti incarichi professionali: ad esempio, Rossetti progettò una ferrovia che collegava l'Argentina con il Chile e Moneta, al quale fu affidata la responsabilità del Departamento Nacional de Ingeniería, elaborò il primo progetto integrale di tutta la rete ferroviaria del paese. Il 6 giungo 1870 l'Universidad de Buenos Aires laureò il primo ingegnere: Luis Augusto Huergo[14]. Nel decennio successivo furono istituite scuole per ingegneri in altre città del paese.

Nel 1876, a partire dal Departamento de Minería annesso al Colegio Nacional creato cinque anni prima nelle province di San Juan e Catamarca, fu istituita la Escuela de Ingeniería Civil de San Juan, che iniziò i corsi l'anno successivo. Utilizzando una legge promulgata nel 1869, che consentiva di contrattare professori all'estero, a San Juan furono chiamati numerosi docenti europei. Tra essi il francese Ulrico Courtois, autore di un libro sulla resistenza dei materiali; il belga Justin Thierry, ingegnere minerario; ma soprattutto vari tedeschi e italiani, tra i quali Angelo Cantoni, che aveva studiato ingegneria mineraria a Fribourg e agrimensura all'Università di Pavia (a San Juan insegnò, tra l'altro, Mineralogia e Geologia) e Leopoldo Caputo, che aveva studiato ingegneria prima a Roma e poi a Napoli, al quale furono affidati gli insegnamenti di Statica grafica, resistenza dei materiali e costruzioni ferroviarie.

È il caso di ricordare che, tra gli italiani che nella seconda metà del secolo XIX giunsero in Argentina nell'ambito di un'emigrazione giovane, estremamente qualificata e motivata, furono numerosi anche gli ingegneri non docenti, che operarono solo nella realizzazione di opere pubbliche. Tra essi il piemontese Vittorio Meano, geometra e poi ingegnere - autore, tra l'altro, del Nuevo Teatro Colón e del Congreso Nacional, a Buenos Aires, e del Palacio Legislativo a Montevideo - e l'ingegnere romano Cesare Cipolletti, progettista di importanti opere idrauliche a Mendoza, a Tucumán e Córdoba (tra cui le dighe sui fiumi Mendoza e Tunuyán), al quale è stata dedicata addirittura una città, nella regione del Río Negro, in ricordo delle sue importanti realizzazioni.

Nel 1879 furono attivati gli studi di ingegneria civile anche alla Universidad Nacional de Córdoba, ove già da alcuni anni esisteva una Facultad de Ciencias Matemáticas y Fisicas, con professori in buona parte europei, in prevalenza tedeschi. Furono proprio questi docenti che, in una prima fase, si fecero carico degli studi di ingegneria.

Ben presto il corpo docente si arricchì di argentini, che avevano studiato nel loro paese come allievi dei professori europei o, anche, che avevano studiato in Europa. Tra essi: Carlos Cassafousth, che studiò all'École des Arts et Manufactures di Paris e fu allievo di Auguste Eiffel, e Valentín Balbín, terzo ingegne-

re laureato in Argentina, che poi insegnò Matematica.

Agli inizi del XX secolo, per la forte domanda di ingegneri meccanici, furono istituiti anche corsi di ingegneria industriale, volti a una formazione più tecnica e professionale. Si fece così più serrato il dibattito, mai del tutto sopito, sui contenuti della formazione: centrato, in particolare, sul dilemma se si dovessero formare ingegneri con forte base scientifica e quindi con caratteristiche di uomini di scienza o ingegneri *prácticos*. Soprattutto i professionisti, gli uomini di governo e gli imprenditori erano contrari alla formazione di primo tipo, ritenuta di *ingenieros sin ingeniería*, ma vi era anche - in specie tra le autorità accademiche, ove erano numerosi i professori universitari di discipline scientifiche -chi riteneva che l'università non può formare ingegneri ma solo fornire una solida preparazione scientifica di base, necessaria per diventare poi ingegnere nell'esercizio della professione.

Questo dibattito non ha contraddistinto solo l'Argentina, ma è stato particolarmente interessante in tutti quei paesi - come quelli americani - che non hanno solida tradizione scientifica alle spalle, né istituzioni scientifiche di livello, ma dove urge la formazione di tecnici pratici e pragmatici, in grado di affrontare lo sviluppo del paese. Ed è un dibattito mai concluso, per quanto a lungo sopito, che per molti versi anticipa alcune questioni che abbiamo affrontato nell'avviare l'attuale riforma degli studi.

[1] Cfr. R. FOX, *Les regards étrangers sur l'École Polytechique, 1794-1850*, in AV. VV., *La France des polytechniciens, deux siècles d'histoire*, Paris, Economica, 1995, pp. 63-74.

[2] Borsista all'École des Ponts et Chaussées (dal 1784 al 1791), Betancourt stabilì relazioni scientifiche, tecniche e d'amicizia con Monge e i suoi principali discepoli, da Hachette a Prony, con i quali continuò a mantenere rapporti anche al suo rientro in Spagna. Su Betancourt e la scuola di Caminos, cfr: A. RUMEU de ARMAS, *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada*, Madrid, Ediciones Turner, 1980 e ID., *Augustín de Betancourt, fundador de la Escuela de Caminos y Canales*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1968.

[3] Sulla diffusione del modello mongiano in Europa cfr. anche V. CARDONE, *La nascita della scuola napoletana di ingegneria nel contesto internazionale*, in S. D'AGOSTINO-V. BUCCARO (a cura di), *Dalla Scuola di Applicazione alla Facoltà di Ingegneria*, Benevento, Hevelius edizioni, 2003, pp. 75-107.

[4] Su Marc-Isambard Brunel si vedano: É. FRÈRE, *Notice Historique sur la vie et les travaux de Marc-Isambard Brunel*, Ruen, Imprimerie de Alfred Péron, 1850 e M. de BEAUREPAIRE, *Notice biographique sur Marc-Isambard Brunel, ingénieur*, Caen, Typ. de Delos, 1852.

[5] D. CARDWELL, *The Fontana History of Technology*, London, Fontana, 1994, p. 225. Isambard Kingdom Brunel lavorò anche per le ferrovie australiane, indiane ed italiane; e fu autore di spettacolari progetti e realizzazioni, dal *Clifton suspension bridge*, presso Bristol, ai ponti e viadotti per la Cornwall Railway, alle rivoluzionarie navi in acciaio (suoi i primi translatlantici in ferro). Accanto a lui, nella sua opera per la Great Western Railway e le compagnie di navigazione, si formò la migliore generazione di ingegneri civili e navali vittoriani. Sull'opera di Brunel figlio, cfr. AA. VV., *The works of I. K. Brunel*, Cambridge,

Cambridge University Press, 1980.

[6] Sull'argomento cfr., tra le tante opere: S. FORMAN, *West Point. A History of the United States Military Academy*, Columbia University Press, New York 1950, pp. 36-80 e J. C. GREENE, *American Science in the age of Jefferson*, Ames, Iowa State University Press, 1984.

[7] Cfr. R. F. HUNTER-E.L.DOOLEY Jr, *Claude Crozet, French engineer in America, 1790-1864*, Charlottesville, University Press of Virginia, 1989.

[8] Sui primi ingegneri statunitensi, cfr. ad esempio, H. PETROSKI, *Engineers of dreams*, New York, Alfred A. Knopf, Inc., 1996.

[9] Cfr. M. WERBER, *Influencia del Método Monge en la profesión del ingeniero y la producción industrial*, Rosario, Universidad Nacional de Rosario, 2001.

[10] Sull'evoluzione degli studi di ingegneria in Brasile, cfr. M. VARGAS (organizador), *História da técnica e da tecnologia no Brasil*, São Paulo, Editora UNESP da Fundação para o Desenvolvimento da Universidade Estadual Paulista, 1994.

[11] Su Corviño Nuñez, cfr. A. VILLANOVA RADRÍGUEZ, *Los gallegos en la Argentina*, Buenos Aires, Ediciones Galicia, 1966, t. I.

[12] Sullo sviluppo dell'ingegneria in Argentina, cfr. P.L. LUCCHINI (a cura di), *História de la Ingeniería Argentina*, Buenos Aires, Centro Argentino de Ingenieros, 1981.

[13] Su Pellegrini cfr. E. SANSINENA DE ELIZALDE, C. IBARGUREN, *C.H. Pellegrini: su obra, su vida, su tiempo*, Buenos Aires, Amigos del Arte, 1946.

[14] Huergo ebbe poi una splendida carriera professionale e di uomo pubblico (cfr. J. ISAACSON, *Luis Augusto Huergo, primer ingeniero argentino: ciencia y técnica en el proceso cultural del Río de la Plata*, Buenos Aires, Academia Nacional de Ingeniería, 1993).

Antonio Cottone

L'insegnamento dell'Architettura nella Facoltà di Ingegneria di Palermo

L'insegnamento superiore a Palermo fu per secoli tenuto da religiosi, essendo riusciti vani tutti i tentativi della città di ottenere un pubblico studio come avevano avuto sia Catania dal 1444 che Messina dal 1569. Tali religiosi furono prima i Domenicani, il cui studio era consi-derato pubblico, poiché vi insegnavano docenti nominati e pagati sia dal viceré che dal Senato palermitano, poi i Gesuiti ed i Teatini. I Gesuiti ottennero per il loro collegio Massimo numerose donazioni pubbliche e private per incrementare gli studi e fondare nuove cattedre.

Nella notte del 20 novembre 1767 sull'onda di un movimento quasi generale i gesuiti furono cacciati dall'isola ed i loro beni confiscati; il governo riaprì quasi subito il loro Collegio Massimo ai numerosi giovani che erano abituati ad accorrervi ed istituì una Magistratura che sovrintendeva ai loro beni e alle loro scuole[1].

La Deputazione dei Regi Studi presentò allora un piano di ampliamento e riforma degli studi che prevedeva 33 cattedre suddivise in quattro Facoltà: Discipline Sacre, Giuridiche, Mediche, Filosofiche. Una delle cattedre proposte, e contenuta nelle 26 che furono successivamente approvate con l'inaugurazione della "Regia Accademia degli Studi" avvenuta il 5 novembre 1777, fu la "Geometria pratica, Architettura Civile ed Idraulica" che venne assegnata al Dr. Giuseppe Marvuglia col soldo di 70 onze annue. I corsi in Discipline Filosofiche erano triennali, i titoli rilasciati erano la licenza dopo il secondo anno e la laurea alla conclusione dei corsi; gli insegnamenti erano suddivisi in obbligatori e facoltativi, l'Architettura era corso facoltativo del 3° anno.

Tornato sul trono di Napoli, dopo la fuga ed il soggiorno a Palermo protetto dagli inglesi, Ferdinando IV fece tornare i gesuiti e restituì loro i beni confiscati. Per compensare la Deputazione degli Studi l'Accademia fu trasformata in "Università degli Studi" ubicata in una sede ceduta dai teatini. Nei nuovi "Stabilimenti dell' Università", emanati nel 1805, si prevedono quattro Facoltà: la Teologica con 4 cattedre, la Legale con 6 cattedre, la Medica con 6 cattedre e la Filosofica e di Arti con 16 cattedre tra le quali l'Architettura Civile insegnata ancora dal Marvuglia.

Chi voleva esercitare la professione di Architetto doveva avere ottenuto il Magistero delle Arti ed essere esaminato in Architettura e Geometria. Il Magistero delle Arti veniva conferito dopo un anno di Eloquenza e due di Filosofia e dopo avere studiato Metafisica, Fisica e Matematica sublime. L'unico insegnamento di Architettura nell'Universi-

tà palermitana fu per anni quello impartito da Giuseppe Venanzio Marvuglia il quale venne chiamato ad insegnare quando era il maggior architetto palermitano, città dove lavorava già da 20 anni, dopo avere compiuto approfonditi studi a Roma.

Il Marvuglia scrisse un saggio sulla costruzione delle scale, ripreso nella edizione dei *Principi di Architettura civile del Milizia* curata dall'Antolini, oltre ad un Trattato di Architettura, inedito ancora nella sua interezza[2]. In esso il Marvuglia definisce "Architettura civile la scienza di ben edificare conforme al desiderio del fondatore; fondatore è quello che a sue spese vuole che si costruisca l'edificio". Questi due punti fondamentali, richiamati in diverse parti del trattato, sono il concetto di scienza per l'Architettura ed il ruolo del committente che è una figura idealizzata che deve essere 'intendente', quasi un collaboratore dell'architetto, e per il quale si ha gusto di erigere l'opera; tale visione fu certamente avvalorata dai suoi committenti che furono ecclesiastici potenti, nobili illuminati ed enti pubblici.

Inoltre il Marvuglia riteneva che "l'architetto deve essere il capo dei fabbri dal cui cenno dipendono tutti coloro che sono impegnati nella costruzione delle fabbriche e dovrà sapere la grammatica, il disegno, la geometria, l'ottica, l'aritmetica, l'istorie, le filosofie, la musica, la medicina, la giurisprudenza ed in-tendere la astronomia ed i moti del cielo; non sarà architetto colui che fa solo regolare l'opera degli artefici e che Vitruvio chiama affinato sorvegliante, né chi sa con eleganza delineare le sue idee e che può chiamarsi perito delineatore". Il Marvuglia tenne la cattedra sino al 1813 anno in cui chiede di essere giubilato, col soldo intero avendo insegnato per oltre 30 anni.

Al concorso pubblico bandito poco dopo per la sua successione si presentano Cristoforo Cavallaro ed Antonio Gentile; essi devono "scrivere e disegnare un progetto e rispondere successivamente su un altro tema estratto a sorte". Il Cavallaro, abbastanza avanti negli anni e di notevole esperienza, ebbe facile successo sul Gentile, che aveva appena 28 anni, anche perché favorito dal tema estratto che era più vicino alle discipline fisiche e matematiche che all'architettura; la Commissione giudicò degno della cattedra il Cavallaro esprimendo però un lusinghiero giudizio sul Gentile che aveva "dimostrato nell'esecuzione del progetto abilità e talento tale da far molto sperare proseguendo a faticare nel mestiere di architetto".

L'insegnamento del Cavallaro si distinse per una maggiore caratterizzazione degli aspetti tecnici nell'architettura ed in particolare dei principi fisico-matematici e della statica degli edifici.

Alla morte di Cristoforo Cavallaro avvenuta il 18 gennaio 1818, il Gentile veniva nominato professore interino e si bandiva il pubblico concorso vinto dall'unico concorrente, lo stesso Gentile. L'insegnamento del Gentile fu più vasto di quello del Cavallaro e più vicino a quello del Marvuglia del quale era stato allievo. Il Gentile infatti utilizzò come testo di riferimento i *Principi di Archi-*

tettura Civile del Milizia soffermandosi particolarmente sulla comodità e solidità degli edifici, ed arricchì il corso con commenti da altri trattati e con esempi tratti dagli antichi monumenti.

Allargò la parte di Architettura idraulica ben oltre gli accenni di Milizia, trattò della spinta delle terre e delle volte con le dottrine del Belidor, che preferiva agli altri poiché non erano fondate sul calcolo integrale e differenziale. Trattava inoltre delle costruzioni in ferro e di tutte le nuove invenzioni e scoperte relative all'arte ed alla meccanica dell'architettura "che andava spigolando in vari giornali e principalmente in quello francese del genio civile".

Gentile morì giovane, nel 1834, mentre si trovava fuori Palermo, e per la sua successione si aprì una vicenda che durò più di tre anni. Professore interino viene nominato l'architetto Giuseppe Caldara e viene bandito il pubblico concorso al quale chiedono di partecipare oltre al Caldara, Nicolò Baiamonte, funzionario governativo, e Carlo Giachery[3]. La Commissione intanto era stata portata da tre a cinque membri per aggiungere a tre professori di materie affini all'architettura e cioè le matematiche del Collegio Filosofico, due esperti architetti, che dopo la rinuncia di Nicolò Puglia, sono due militari il Brigadiere generale Luigi Cosenza ed il capitano Michelangelo Valenti.

Il concorso viene espletato il 12 aprile 1837 con la partecipazione alle prove del Caldara e del Giacchery e si conclude con la nomina di quest'ultimo, a soli 26 anni e senza nessuna opera realizzata, a professore proprietario di Architettura civile, cattedra che assume dall'8 Novembre 1837[4].

Il Giachery, che aveva una solida preparazione scientifica, incentivò lo studio della statica applicata e della geometria descrittiva; rimase affascinato dal progredire della tecnica ed introdusse nelle sue opere continue innovazioni tecniche e l'uso di nuovi materiali e cercò di istituire un gabinetto sperimentale di ricerche sulla resistenza dei materiali e sulla tecnica delle costruzioni.

A lui si deve l'applicazione su larga scala dei solai e degli architravi in ferro, l'introduzione di catene in ferro a caldo negli edifici in muratura, nonché l'uso di strutture in ferro e legno per grandi coperture quali quelle usate per l' ingrandimento della Fonderia Oretea.

Con i nuovi "Regolamenti per le tre Università degli Studi in Sicilia" emanati nel 1841, viene istituito il Collegio di Belle Arti con le 4 cattedre di Architettura, Scultura, Accademia del Nudo, Disegno. L'insegnamento dell' Architettura ormai staccato dalla Facoltà Filosofica faceva parte, oltre che del Collegio di Belle Arti, anche della Facoltà di scienze fisiche e matematiche.

Gli Architetti dovevano conse-guire la licenza nelle Scienze fisiche e matematiche se volevano esercitare solo la libera professione; dovevano invece ottenere la laurea per essere destinati a periti giudiziari, ingegneri e direttori dei lavori di opere pubbliche. Prima di ogni titolo bisognava ottenere il baccellierato in Filosofia e Letteratura. Le norme per l'esercizio della professione di Ar-

chitetto concedevano deroghe a coloro che, in virtù dei precedenti ordinamenti, non trovandosi in possesso del prescritto titolo di studio, esercitavano da tempo la professione o occupavano impieghi pubblici.

Il Giachery, in analogia a quanto andava avvenendo in altre Università[5], cerca a lungo ed ottiene solo nel 1852, col concorso delle Province di Palermo, Trapani e Girgenti e del Comune di Palermo, lo sdoppiamento dell'Architettura in due cattedre una di Architettura che ufficiosamente prende il nome di Architettura statica e qualche volta di Costruzioni che tiene per sé, ed una di Architettura decorativa e disegno topografico che viene assegnata, senza concorso, a Francesco Saverio Cavallari "il più bravo ingegniero presente in Sicilia" che era anche Componente la Commissione Antichità e Belle Arti dei domini al di là del Faro.

Il Cavallari tenne l' insegnamento per breve tempo, lasciando l'isola il 6/6/1854 per recarsi all'estero essendo stato nominato dall'Imperiale Governo Austriaco professore di Architettura nell'I.R. Accademia di Belle Arti di Milano. Alla partenza del Cavallari viene nominato professore interino alla cattedra Giovan Battista Filippo Basile, che dopo avere iniziato la sua attività come dimostratore di Botanica, aveva studiato Architettura presso l'Accademia di San Luca ed all'Università La Sapienza di Roma; tornato a Palermo aveva chiesto, senza successo, di essere nominato professore di Fisica sperimentale, aveva vinto il concorso a sostituto alla cattedra di Architettura civile nel 1850 e teneva dal 1852 il corso di Geometria descrittiva per il quale aveva pubblicato un trattato di stereotomia.

Come fosse inteso dal Basile l'insegnamento dell'Architettura decorativa lo leggiamo in una lettera del 10/11/1859 che riguarda la richiesta di fondi per l'acquisto di lastre raffiguranti monumenti e di modelli in gesso: "questa cattedra di decorazione architettonica ha poco o nulla del precettivo e consiste soltanto nello avvezzare i giovani a capire con fedeltà ed eleganza i grandi modelli di ornati dei monumenti dei greci, maestri di coloro che sanno in tutte le nazioni. Da ciò risulta che senza modelli non si ha cattedra di Architettura decorativa e fino adesso lo egregio professore Basile ha prestato ai discenti quei pochi modelli in incisione che egli possedeva e che già sono esauriti. Allora, o deve sospendersi la cattedra finché si formerà l'ideato gabi-netto presso la Commissione di Antichità e Belle Arti, ovvero, come è raggionevole, dovrà essere l'Università a fornirla dei modelli anzidetti. Si propone di acquistarne alcuni dai fornitori Lucchesi che li cedono a basso prezzo dovendosi allontanare da Palermo. Tali modelli messi in una stanza potrebbero costituire un Gabinetto di Architettura Decorativa."

Con gli avvenimenti che portarono all'Unità d'Italia anche l'insegnamento a Palermo subisce una svolta; Garibaldi, infatti, emana decreti anche per l'Istruzione supe-riore estendendo a Palermo la legge Casati, che era stata pubblicata l'anno precedente per lo Stato Piemon-

tese, e che annetteva alla Facoltà di Scienze Fisiche e Matematiche una Scuola di Applicazione per gli Ingegneri ed Architetti ed istituiva un Istituto ed un'Accademia di Belle Arti con Museo e Galleria. Purtroppo l'applicazione di questi deliberati dovrà attendere sino all'anno accademico 1866-67 per l'attivazione dei corsi della Scuola di Applicazione ed all'anno 1886-87 per i corsi dell'Istituto di Belle Arti.

A Palermo, analogamente a quanto avveniva a Milano, si ebbe uno stretto collegamento tra la Scuola di Applicazione per Ingegneri ed Architetti e l'Istituto di Belle Arti, ambedue diretti da Giovan Battista Filippo Basile docente di Architettura Tecnica alla Scuola di Applicazione e di Storia dell' Architettura e Composizione all' Istituto di Belle Arti. La legge Casati infatti aveva istituito, accanto alle sezioni per Ingegneri, le sezioni per Architetti, affiancando una nuova figura di Architetto (Architetto Civile) a quelli licenziati dai Corsi Superiori di Architettura dei già esistenti Istituti ed Accademie di Belle Arti che rilasciavano il titolo di Professore di Disegno Architettonico.

Conseguenza immediata del decreto fu la creazione per la prima volta, a partire dall'anno 1862-63, di un Corso per gli ingegneri di durata quinquennale che conteneva, tra l'altro, 3 anni di Disegno e 2 anni di Architettura statica (Costruzioni) ed Architettura decorativa.

Intanto, morto improvvisamente il Giachery, il corso di Architettura era stato tenuto per un anno da Michele Capitò che si dedicherà successivamente all'ingegneria idraulica. Col 1876[6] intanto le Scuole di applicazione per ingegneri ed architetti poterono laureare in Ingegneria Civile ed in Architettura consentendo per questa laurea di non sostenere alcuni esami di materie tecniche, mutuando in compenso alcuni corsi dalle Accademie o Istituti di Belle Arti[7]. Per essere iscritti alla Scuola di Applicazione bisognava avere conseguito la licenza presso la Facoltà di Scienze matematiche e fisiche[8].

Con G.B.F. Basile l'insegnamento dell'architettura assunse a Palermo rilevanza nazionale per la personalità del suo titolare che partecipò attivamente al dibattito architettonico dell'epoca interessandosi a tutte le applicazioni che le moderne tecniche potessero avere nella realizzazione degli organismi architettonici. L'insegnamento biennale di Architettura Tecnica tenuto da G.B.F. Basile conteneva una parte fondamentale di Storia dell'Architettura, per la quale aveva preparato un testo molto articolato, edito solo recentemente, ed una serie di tavole a corredo delle lezioni che, disegnate da Michelangelo Giarrizzo che sono state recentemente restaurate. La seconda parte trattava delle tipologie e delle tecnologie edilizie; l'allievo doveva inoltre comporre due progetti completi.

A sostituire G.B.F. Basile, spentosi nel 1891, fu chiamato da Roma il figlio Ernesto, allievo e collaboratore del padre, che diventerà il caposcuola del liberty palermitano. Della permanenza romana è un suo saggio sull'architettura e l'arte rimasto a lungo inedito.

Ernesto Basile rinnovò il corso di Architettura tecnica rispetto a quello del padre e lo suddivise in quattro parti: composizione degli edifici, stili architettonici, elementi delle fabbriche, condotta tecnica e amministrativa dei lavori. L'allievo doveva inoltre comporre quattro progetti.

Al corso biennale di Architettura tecnica tenuto da Ernesto Basile si affiancò dal 1914 l'insegnamento propedeutico di Architettura generale tenuto da Giuseppe Capitò[9]. Era sempre previsto il diploma di Architetto con la frequenza presso l'Istituto di Belle Arti, dove Ernesto Basile continuò la tradizione paterna, degli insegnamenti di Plastica d'ornato, Decorazione policroma, Architettura, Prospettiva, Storia dell'Arte.

Intanto il lungo dibattito per la istituzione delle Scuole di Architettura, dalla proposta di legge Cuppino del 1885, al R.D. 31/10/1919 che istituisce, la Scuola Superiore di Architettura di Roma, trova la sua definitiva regolamentazione col R.D. 2/07/1921. A sostituire Ernesto Basile, spentosi nel 1932 dopo 40 anni di insegnamento, viene chiamato da Pisa Salvatore Benfratello che era stato uno dei suoi assistenti dal 1912 al 1920.

La legge 13/6/1935 ristruttura le Università eliminando le Scuole Superiori di Ingegneria e la loro autonomia e le trasforma in Facoltà; la Facoltà di Ingegneria non poté più conferire la laurea in Architettura, ma solo quelle in Ingegneria Civile ed in Ingegneria Industriale ed il rapporto con l'Accademia di Belle Arti si annullò. Con successivo decreto 22/7/1936 il corso di laurea in Ingegneria Civile fu suddiviso nelle tre sezioni: edile, idraulica e dei trasporti.

Gli insegnamenti di Architettura collocati nella sezione edile dell'Ingegneria civile erano diventati tre: l'Architettura tecnica I tenuta da Salvatore Caronia Roberti, l'Architettura tecnica II tenuta da Salvatore Benfratello e l'Architettura e Composizione architettonica tenuta da Giuseppe Capitò[10].

Nel dopoguerra anche Palermo ebbe la sua Facoltà di Architettura, grazie all'interessamento dei prof. Benfratello e Caronia Roberti. I docenti provenivano dalla Facoltà di Ingegneria, dall'Accademia di Belle Arti, da Uffici Pubblici e dalle Libere Professioni. La sezione edile del corso di laurea in Ingegneria civile continuò, pur ridimensionata dalla presenza in città di una completa Facoltà di Architettura, a laureare ingegneri esperti in edilizia, anche se con evidenti lacune dovute ad un insufficiente numero di insegnamenti specifici dedicati all'Architettura.

Le discipline aumentarono a se-guito della riforma degli studi di ingegneria del 1961 che mantenendo la sezione edile nell'ambito del corso di laurea in Ingegneria civile, fissava come obbligatorie e caratte-rizzanti la sezione a livello nazionale oltre ad un corso di Architettura tecnica la sola disciplina Architettura e Composizione Architettonica, ma dava la possibilità di fissare localmente delle discipline obbligatorie e alcune discipline facoltative[11]. A seguito del pensionamento del prof. Ca-

pitò, il prof. Caronia Roberti aveva assunto l'insegnamento di Architettura e composizione architettonica pas-sando poi a presiedere la Facoltà di Architettura. Gli insegnamenti vennero allora tenuti dal Prof. Guercio (Architettura Tecnica I), Vittorio Ziino[12] (Architettura Tecnica II), Antonino Ugo (Architettura e Composizione Architettonica), i quali tenevano anche corsi presso la Facoltà di Architettura. L'Architettura tecnica II, della quale era diventato titolare il prof. Ziino, non insegnava più i caratteri distributivi degli edifici, che venivano inseriti nel nuovo insegnamento di Progetti edili, tenuto prima da Giuseppe Caronia e poi da Salvatore M. Inzerillo, ma la progettazione esecutiva e la industrializzazione edilizia.

Intanto la morte prematura del prof. Guercio aveva fatto affidare l'insegnamento di Architettura tecnica I al prof. L. Caleca che l'ha tenuta per circa un trentennio prima come incaricato e poi come titolare. Con il pensionamento del prof. Ugo, il prof. Ziino passava all'Architettura e composizione architettonica alla quale purtroppo, a causa delle sue precarie condizioni di salute, non poté dedicare le capacità di cui era portatore, ma nella quale inserì nozioni di Storia dell'architettura, che, non presente nei piani di studio, era sempre stata insegnata sin dal tempo di G.B.F. Basile nei corsi di Architettura tecnica.

L'Architettura tecnica II venne assunta da Benedetto Colajanni prima come professore aggregato e poi come ordinario. Colajanni riprese quei contatti nazionali che si erano interrotti con la malattia del prof. Ziino e rinnovò profondamente l'insegnamento diventando l'entusiasta comunicatore di ogni innovazione, sia nei metodi che nelle tecniche progettuali, cercando sempre di coniugare l'aspetto fisico-matematico dell'essere ingegnere con la visione storica dell'architetto, la piccola alla grande scala, il rigore scientifico con il candore nella ricerca al limite del gioco, ed imprimendo una svolta generazionale in tutta la formazione di quello che sarà poi l'ingegnere edile

La specificità delle facoltà di Ingegneria che consentiva modifiche di statuto ravvicinate portò all'inserimento nei piani di studio di varie materie di indirizzo. Gli Elementi di composizione architettonica, dopo un primo anno tenuto da Luciana Natoli, furono assegnati ad Antonino Catalano, i Caratteri distributivi degli edifici, nuova denominazione dei Progetti edili, furono affidati a Giovanni Lo Jacono. Successivamente fu attivato l'insegnamento di Prefabbricazione, industrializzazione edilizia e cantiere affidato a chi scrive, e si sdoppiarono alcuni corsi per specializzare meglio i contenuti degli insegnamenti[13].

Al prematuro pensionamento, per motivi di salute, del prof. Ziino l'insegnamento di Architettura e composizione architettonica veniva affidato a Fausto Provenzano. Un altro insegnamento attivato qualche anno dopo fu Complementi di architettura tecnica al quale lo scrivente diede i contenuti di studio delle meto-dologie della progettazione, comprese le cosiddette metodologie scientifiche e l'uso del computer in edi-

lizia. L'insegnamento di Prefabbricazione, industrializzazione edilizia e cantiere venne affidato ad Antonio De Vecchi.

Con l'attivazione dei Dipartimenti, a seguito del DPR 382/80, si ha la frammentazione degli insegnamenti che sino ad allora erano riuniti nell'Istituto di Architettura Tecnica[14] e che si dividono tra i Dipartimenti di Città e Territorio, Storia e Progetto nell'Architettura e Progetto e Costruzione Edilizia.

Quest'ultimo Dipartimento, che accoglie anche i docenti di Tecnologia della Facoltà di Architettura eredita i locali, la preziosa biblioteca, il personale e le altre strutture dell'ex Istituto di Architettura tecnica e continuerà ad ospitare l'attività didattica di tutti gli altri docenti consentendo nel corso degli anni il ritorno dei docenti che si erano allontanati in un'unica struttura che possa coniugare didattica e ricerca.

La direttiva 380/85/CEE concernente l'esercizio della professione del settore dell'architettura in Europa consente la proposta di un corso di laurea autonomo in Ingegneria Edile che sotto la spinta del prof. Colajanni veniva attivato anche a Palermo e laureava il primo Ingegnere Edile nel 1992. Il Corso di laurea progettato per rispondere alle esigenze europee, viene istituito col D.P.R. 20/05/1989 e consente l'attivazione di nuove discipline[15] alcune delle quali sostituiscono le precedenti.

Il mancato riconoscimento da parte dell'Unione Europea di tale corso di laurea fece istituire dal Ministro Ruberti una Commissione mista Ingegneria-Architettura, che elaborò un nuovo ordinamento del Corso di laurea in Ingegneria Edile emanato con D.M. 22/05/1995.

Tale Ordinamento, in analogia a quello del Corso di laurea in Architettura, aumentava le ore dedicate alla didattica da 3000 a 4250, prevedeva 1000 ore di laboratori progettuali ed un laboratorio di laurea. Dopo una serie di riunioni, con il coinvolgimento del Ministero e degli Ordini professionali degli In-gegneri e degli Architetti, la Commissione U.E., a maggioranza, dava parere positivo agli Ordinamenti inviati dalle Università di Roma "La Sapienza", l'Aquila e Pavia, con alcune modifiche le principali delle quali sono state il cambio di denominazione del Corso di laurea da Ingegneria Edile e Ingegneria edile-architettura, il numero programmato e il percorso di laurea abbreviato (non più di quattro materie oltre il laboratorio di laurea) per i laureati in Architettura.

I corsi di laurea delle tre Facoltà, dopo le approvazioni previste dalle norme italiane, furono attivati dall'anno accademico 1998-99 e riconosciuti con la pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea del 4/12/1999. L'illusione che tutte le altre Università, come avveniva per le Facoltà di Architettura, potessero essere rapidamente riconosciute durò poco, perché, motivando il rifiuto con la riforma universitaria in fase di elaborazione, il C.U.N., non espresse mai il parere sulle modifi-che di Statuto inviato dalla nostra Università tenendolo per due anni in attesa di essere inviato a Bruxelles, pur essendo identico a quello dell'Università dell'Aquila.

La riforma universitaria sblocca l'annosa questione con una scelta di fondo che inserisce in un'unica classe di laurea[16] e in un'unica classe di laurea specialistica[17] i corsi di studio delle due Facoltà e quindi consente ai laureati dei due livelli la possibilità di sostenere l'esame di abilitazione sia per la professione di Ingegnere, settore civile e ambientale che per quella di Architetto settore architetto.

La Facoltà di Ingegneria di Palermo proponeva l'istituzione del corso di laurea triennale in Ingegneria edile e di un corso di laurea specialistica quinquennale in Ingegneria edile-architettura, che superate tutte le approvazioni venivano inseriti nel Regolamento Didattico di Ateneo ed attivati, per tutti gli anni di corso, dall'anno accademico 2001-2002[18]. Il Regolamento Didattico del Corso di Studi veniva approvato dall'istituito Consiglio di Coordinamento degli Sudi in Ingegneria Edile nella seduta del 19/02/2002 ed inviato al Ministero dell'Istruzione dell'Uni-versità e della Ricerca, che con parere favorevole lo trasmetteva a Bruxelles per la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale della Unione Europea.

Nell'aprile del 2002 si laureano i primi tre Ingegneri edili-architetti , ai quali seguono negli anni diversi giovani, molti dei quali, dopo avere sostenuto l'esame di abilitazione alla professione di ingegnere civile ed ambientale, sostengono, con successo, l'esame di abilitazione alla professione di architetto. Al corso di laurea in Ingegneria edile-architettura si iscrivono annualmente un numero crescente di laureati in Architettura. Dopo più di due anni dall'invio della documentazione la Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea del 29.12.2004 pubblica l'elenco delle lauree specialistiche in Ingegneria edile-architettura di 15 Facoltà italiane che così concludono il loro percorso[19].

A completamento della formazione nel campo dell'edilizia viene attivato dall'anno accademico 2005-2006 presso la Facoltà di Ingegneria di Palermo il corso di laurea specialistica in Ingegneria delle costruzioni edilizie[20].

[1] Tale Magistratura fu prima la Suprema giunta contro gli abusi o Giunta di educazione; dal 1778 il Tribunale del Real Patrimonio si interessò della Amministrazione dei beni dei gesuiti, mentre la Deputazione dei Regi Studi fu competente per i problemi dell' insegnamento.

[2] Trattato inedito di Architettura Civile, Manoscritto autografo conservato presso la Biblioteca Comunale di Palermo (Misc. sec. XVIII, 4Qq. D.69).

[3] Il Giachery, padovano di nascita, si laurea a Palermo col Gentile nel 1833; si perfeziona a Roma e tornato a Palermo si laurea in Fisica e Matematica e viene chiamato ad insegnare Matematiche miste, insegnamento che comprendeva: Statica, Idrostatica, Dinamica, Idrodinamica, Topografia, ed altri argomenti che poi sarebbero stati compresi nei corsi applicativi degli ingegneri ed architetti.

[4] Il Corso di Architettura era articolato in tre anni e gli insegnamenti erano i seguenti: 1° anno: Chimica applicata alle arti-Matematica sublime-Agricoltura; 2° anno: Matematiche miste-Fisica sperimentale-Architettura-Astronomia;3° anno: Matematiche miste-Mineralogia-Architettura.

[5] A Padova alla cattedra di Architettura teorica tenuta dal Poleni se ne era affiancata una di Pratica architettura civile; A Roma all'Architettura teorica tenuta dallo Stara si era affiancata l'Architettura pratica tenuta dal Bacci.

[6] *Regolamento generale per le R. Scuole d'applicazione per gl'ingegneri,* approvato con Decreto Regio dell'8 ottobre 1876: Art.1-Le scuole d'applicazione hanno per fine di dare la istruzione scientifica e tecnica necessaria a conseguire il diploma di ingegnere civile e quello di architetto; Art.2-Il diploma d'ingegnere civile, conferito dalle scuole d'applicazione abilita chi lo ha ottenuto a dirigere costruzioni civili, rurali, stradali, idrauliche e meccaniche, ed a sostenere l'ufficio di perito giudiziale delle questioni relative.
Il diploma d'architetto, conferito dalle scuole predette, abilita chi lo ha ottenuto a dirigere fabbriche civili e rurali, e ad esercitare le funzioni di perito edilizio e rurale; Art.3-Per essere ammesso ad una scuola di applicazione si richiede che il giovane, fatti almeno due anni di studio presso una Facoltà universitaria di scienze fisiche, matematiche e naturali, abbia ottenuto la licenza fisico-matematica, ed i certificati di diligenza ai corsi di mineralogia, di geologia e di disegno di ornato e di architettura. Insieme con questi documenti egli dovrà presentare i disegni di ornato, di architettura, di geometria proiettiva e descrittiva eseguiti durante il biennio, ed autenticati dai rispettivi professori e dal rettore dell'Università.

[7] Gli insegnamenti per conseguire il diploma di ingegnere civile erano i seguenti: 1 anno-Geodesia, Meccanica razionale, Statica grafica (con disegno), Chimica docimastica e manipolazioni corrispondenti; 2 anno-Applicazioni della meccanica alle macchine, comprese le macchine termiche e disegno corrispondente, Applicazioni della meccanica alle costruzioni civili, rurali ed idrauliche e disegno corrispondente, Mineralogia e geologia applicata, Idraulica teorico-pratica e macchine idrauliche ed agricole, Geometria pratica con disegno, Architettura tecnica ed esercizi di composizione architettonica; 3 anno-Fisica tecnica, Economia ed estimo rurale, Teoria delle macchine e disegno corrispondente, Costruzioni con disegno, Idraulica teorico-pratica, macchine idrauliche ed agricole, Architettura tecnica ed esercizi di composizione architettonica.
Per conseguire il diploma di architetto i corsi da frequentare erano: Disegno di figura, Accademia del nudo, Pittura al posto di: Applicazioni della meccanica alle macchine, Idraulica teorico-pratica e macchine, Teoria delle macchine e disegno corrispondente.

[8] Gli insegnamenti del corso per ingegneri della Facoltà di Scienze matematiche e fisiche erano i seguenti: 1° anno - Chimica generale, Analisi algebrica, Geometria analitica, Geometria proiettiva e descrittiva con disegno, Disegno d'ornato e di architettura elementare; 2° anno-Analisi infinitesimale, Fisica, Disegno d'ornato e di architettura elementare, Geometria proiettiva e descrittiva con disegno.

[9] Questo corso trattava dei materiali da costruzione, degli elementi costruttivi e degli elementi decorativi con relativo disegno.

[10] Secondo una visione prettamente vitruviana i tre corsi insegnavano gli elementi costruttivi, i caratteri degli edifici e la composizione architettonica con cenni di storia.

[11] La Facoltà di Palermo fissò l'Architettura tecnica II, la Tecnica Urbanistica ed i Progetti Edili

[12] Notizie complete sull'opera di Ziino si trovano in Vittorio Ziino Architetto e scritti in suo onore a cura di Giuseppe Caronia, Palermo 1982.

[13] Il corso di Architettura tecnica venne affidato a Pietro Imbornone e quello di Architettura tecnica II a Giuseppe Profeta.

[14] Pur risultando nella documentazione di archivio vari Istituti corrispondenti alle varie cattedre (Architettura Tecnica, Architettura generale poi Architettura e Composizione architettonica e poi Architettura e Urbanistica, nonché un Istituto di Urbanistica) di fatto vi era una sola struttura fisica con un unico Direttore, una Biblioteca, etc.

[15] Vengono attivate Progetti per la ristrutturazione ed il risanamento edilizio (Giovanni Fatta), Tecnologia degli elementi costruttivi (Mario Lucentini), Recupero e conservazione degli edifici (Antonio Cottone), Ergo-tecnica edile (Giuseppe Alaimo), Industrializzazione dell'edilizia (Antonio De Vecchi).

[16] La classe 4-Scienze dell'architettura e dell'ingegneria edile

[17] La classe 4/S-Architettura e ingegneria edile

[18] Al corso di laurea specialistica è transitata la

stragrande maggioranza degli studenti del corso di laurea in Ingegneria Edile dell'Ordinamento del 22/05/1995 e, con autorizzazione del Senato Accademico si sono laureati nell'aprile del 2002 i primi tre Ingegneri edili-architetti. che superato l'esame di abilitazione si sono iscritti agli Albi degli Ingegneri-Sezione A-Settore civile ed ambientale delle Province di residenza.

[19] I corsi di laurea sono quelli delle Università dell'Aquila, Pavia, Roma "La Sapienza", Ancona, Potenza, Pisa, Bologna, Catania, Genova, Palermo, Napoli "Federico II", Roma "Tor Vergata", Trento, Politecnico di Milano.

[20] Affiancando così ad un corso di laurea finalizzato alla progettazione architettonica ed urbanistica, un percorso di laurea per progettisti di strutture, di impianti e di tecnologie evolute per l'edilizia.

Danila Aita, Federico Foce

*Saint-Venant e l'*Art de l'ingénieur. *Un primo studio critico delle* Leçons de mécanique appliquée *(1837-1838)*

Introduzione

La presente nota intende offrire una sintetica recensione critica delle *Leçons de Mécanique appliquée*[1] di Barré de Saint-Venant (1797-1886), primo testo esteso e sistematico che lo studioso francese dedicò alla teoria dell'elasticità e alla resistenza dei materiali.

Redatto sotto forma di corso litografato ad uso degli allievi ingegneri dell'École des Ponts et Chaussées per l'anno 1837-1838, il manoscritto delle *Leçons*, tenute *ad interim* in sostituzione di Coriolis, ebbe all'epoca ridottissima diffusione ed è rimasto sostanzialmente fuori dall'indagine storiografica.

Tra i pochi contributi ad esso relativi ricordiamo quello di Pearson, che ne esamina in modo sommario alcuni aspetti salienti nella *History*[2] , e un recente studio di Benvenuto[3] il quale, sulla scorta del commento di Pearson, colloca le *Leçons* in uno spaccato sulla figura di Saint-Venant come uomo, scienziato e ingegnere.

Nel quadro della produzione di Saint-Venant in tema di meccanica applicata alle costruzioni il testo delle *Leçons* assume un ruolo rilevante in quanto anticipa i contenuti delle più celebri memorie sulla torsione[4] (1855) e la flessione dei prismi[5] (1856), delle famose note aggiunte alla riedizione del Navier[6] (1864) e alla edizione francese del Clebsch[7] (1883). In questo senso, esso costituisce la prima fondamentale tappa dell'opera condotta da Saint-Venant a favore dell'ingresso della "Mécanique mathématique dans l'exercice de l'art de l'Ingénieur".

Struttura del manoscritto

Il manoscritto consta di tre parti, scritte da diversi amanuensi e con propria numerazione, divise in capitoli con articoli aventi numero crescente dalla prima alla terza parte.

Ne diamo qui la struttura, aggiungendo i numeri degli articoli con le pagine relative e segnalando le incongruenze dovute ad una probabile affrettata redazione.

1re. Partie. *Résistance des Matériaux et des Constructions* (pp. 1-48):
I. Observations préliminaires (Art. 1, pp.1-3); *II. Lois générales de la résistance des solides.* (Artt. 2-15, pp. 3-17; manca il numero di articolo 4, con probabile inizio al capoverso di p. 5 con maggiore rientro); *III. Résistance des solides prismatiques soumis à des forces qui tendent à les rompre par extension, par contraction ou par glissement transversal* (Artt. 16-21, pp. 17-21); *IV. Equations approximatives de la résistance et des changements de forme des solides soumis à des forces quelconques. Solides d'égale résistance* (Artt.

22-51, pp. 21-48; il numero di articolo 29 è ripetuto due volte; l'articolo 44 è seguito da un 44bis).

1.ère Partie. *Résistance des Matériaux et stabilité des Constructions* (pp. 1-28; in realtà è la parte seconda). Sommaire destiné provisoirement à faire suite à la partie rédigée (Chapitres 1, 2, 3, Nos. 1 à 51) (in realtà la prima parte contiene quattro capitoli):
Chap.IV. Equations de la résistance des pièces solides quand on peut poser ces équations sans calculer préalablement les déplacemens des points des pièces (Artt. 52-70, pp.1-6); *Chap.V. Calcul des déplacemens des points des pièces solides élastiques dont l'axe est plan, dans le cas où les intégrations peuvent se réduire aux quadratures, parce qu'on peut négliger sans erreur sensible l'influence de ces déplacemens sur les grandeurs des composantes et des momens des forces. Applications à la determination de la résistance de ces pièces dans les cas qui n'ont pu être compris au Chap. IV* (Artt. 71-84, pp. 6-16); *Chap.VI. Calcul des déplacemens des points des pièces solides quand on n'en peut pas négliger l'influence sur les composantes et les momens des forces, et lorsqu'il faut, en conséquence, traiter les équations comme différentielles implicites. Application à la détermination des conditions de résistance de ces pièces* (Artt. 85-96, pp. 16-25); *Ch.VII. Résistance des Constructions en Charpente* (Artt. 97-103, pp. 26-28)

3.ème Partie. *Machines* (pp. 1-8)
§1.*Machines à vapeur* (Artt.1-23, pp.1-8);§2. *Roues hydrauliques* (Art.24, p.8).

Le "*Observations préliminaires*"

Letto in prospettiva storica, il capitolo iniziale delle *Leçons* sembra una dichiarazione d'intenti sull'opera che Saint-Venant perseguirà nella sua prolifica vita di scienziato-ingegnere: impegnato, da un lato, verso la formulazione di teorie generali dotate di valido fondamento fisico-sperimentale e rivolto, dall'altro, alla loro sensata semplificazione per utili applicazioni pratiche: "[…] l'emploi de la Mécanique mathématique dans l'exercice de l'art de l'Ingénieur" scrive l'autore in apertura di capitolo, "a été l'objet de préventions graves: on a été jusqu'à dire que toute théorie était propre à égarer, et que, pour fixer les dimensions des ouvrages à construire, il valait mieux […] se borner à apprécier instinctivement l'influence des différences qu'ils offrent avec d'autres ouvrages plus ou moins analogues, déjà exécutés, et qui paraissent remplir l'objet auquel ils avaient été destinés"[8]. Senza dubbio, continua Saint-Venant, "l'appréciation *par sentiment*" ha i suoi vantaggi in quanto permette di confrontare simultaneamente tutti gli aspetti che possono influire, in più o in meno, sulle grandezze da determinare, evitando di metterne in conto alcune a scapito di altre come fanno "les mathématiciens", troppo spesso portati "à élaguer ce qui gêne leurs calculs, à s'éprendre d'une analyse qui leur paraît heureuse, bien qu'elle soit basée sur des données incomplètes"[9]. Tuttavia, tale stima a sentimento può essere illusoria o errata: "elle est nécessairement en défaut dans une infinité de

cas; sa portée logique est toujours courte, elle aperçoit bien le plus et le moins, mais elle n'en évalue pas la grandeur; et elle manque de cette puissance de déduction nécessaire pour apprécier les conséquences un peu eloignées"[10]. Ecco, allora, che il calcolo matematico a supporto di fondate teorie meccaniche diventa indispensabile quando le opere da costruire non trovano analogie in opere esistenti o quando queste ultime, pur rispondendo "aux convenances", non soddisfano "à l'économie" che risulta dal fissare le dimensioni in armonia con i bisogni. In questo senso Saint-Venant cita Perronet il quale, sulla base di un ragionamento statico, ha provato che le pile interne dei ponti possono sensibilmente ridursi di spessore rispetto a quanto abitualmente assunto. Inoltre, se i costruttori di grande esperienza possono fare a meno del calcolo, ciò non è vero per le giovani generazioni di ingegneri: "ils doivent, par la théorie, suppléer à l'expérience […] car une théorie saine est toujours basée sur quelque chose d'expérimental; elle n'est, en quelque sorte que l'expérience de nos devanciers, formulée en règles générales par le moyen de l'induction et de la déduction mathématiques"[11].

Presentazione delle Lois générales de la résistance des solides

Saint-Venant è ben al corrente dei risultati già ottenuti negli anni '20 da Navier, Cauchy, Poisson, Lamé e Clapeyron sulla teoria generale dei solidi elastici. Anch'egli fa propria l'ipotesi che la materia sia formata da molecole che si scambiano forze attrattive e repulsive funzioni della distanza relativa, aderendo così all'approccio in termini di *mécanique moléculaire* del quale, in breve tempo, diverrà il difensore più strenuo in merito alle sue conseguenze sul numero delle costanti elastiche[12]. Muovendo dagli studi dei citati autori, nelle *Leçons* Saint-Venant fornisce una serie di sottili precisazioni e di nuovi risultati che evidenziano la sua capacità di penetrare le questioni teoriche.

Una prima precisazione riguarda la definizione molecolarista di tensione nella forma data da Cauchy e Poisson, per i quali essa sarebbe "la résultante des actions de toutes les molécules *m*, *m'*, *m"*, … situées d'un côté de la petite face *AB* que l'on considère, prolongée indéfiniment, sur toutes les molécules *n*, *n'*, *n"* … comprises dans l'intérieur d'un cylindre droit situé, de l'autre côté, et élevé sur cette petite face prise pour base"[13] (Fig.1a).

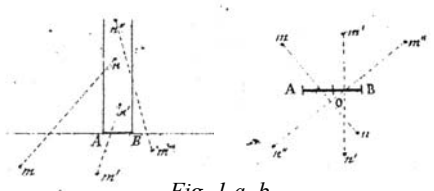


Fig. 1 a, b.

Notando che tale definizione porta ad un erroneo conteggio delle azioni molecolari qualora si considerino diverse giaciture passanti per un punto, Saint-Venant chiama "pression à l'intérieur d'un corps, en un point quelconque *O* et à travers une quelconque des petites faces planes *AB* menées par ce point, *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" (Fig.1b), e aggiunge che, per comporre in una risultante tutte queste forze, le si suppone trasportate parallelamente a se stesse nel punto *O*.

Saint-Venant definisce poi il concetto di corpo omogeneo e isotropo (come metalli e pietre "non cristallisées ou à cristallisation confuse") nel senso che per un tale corpo è lecito supporre che "pour des éléments contenant beaucoup de molécules, le nombre de ces molécules soit sensiblement proportionnel au volume des éléments, et que ces molécules ne soient pas, moyennement, plus rapprochées les unes des autres, dans certains sens, que dans les autres sens"[14].

Per tradurre in formule la suddetta definizione di tensione per i corpi omogenei e isotropi, Saint-Venant introduce le seguenti grandezze, relative allo stato indeformato:

m una molecola sotto *AB*, di coordinate *x*, *y*, *z*;

n una molecola sopra *AB*, di coordinate $x+\Delta x$, $y+\Delta y$, $z+\Delta z$;

r la distanza fra *m* e *n*;

fr l'azione tra due molecole, funzione della loro distanza *r*;

α l'intervallo molecolare medio;

e le seguenti, a deformazione avvenuta:

r' la nuova distanza fra *m* e *n*;

fr' la nuova azione intermolecolare

u, *v*, *w*, gli spostamenti di *m* nella direzione dei tre assi;

$u+\Delta u$, $v+\Delta v$, $w+\Delta w$ quelli di *n*.

In tal modo, le componenti della azione di *n* su *m* sono, "après le dérangement" (formule (a)):

$$\frac{\Delta x+\Delta u}{r'}fr',\ \frac{\Delta y+\Delta v}{r'}fr',\ \frac{\Delta z+\Delta w}{r'}fr',$$

ove gli incrementi Δu, Δv, Δw, sono date "par le théorème de Taylor à trois variables" dalle formule lineari (c):

$$\Delta u=\frac{du}{dx}\Delta x+\frac{du}{dy}\Delta y+\frac{du}{dz}\Delta z;$$
$$\Delta v=\frac{dv}{dx}\Delta x+\frac{dv}{dy}\Delta y+\frac{dv}{dz}\Delta z;$$
$$\Delta w=\frac{dw}{dx}\Delta x+\frac{dw}{dy}\Delta y+\frac{dw}{dz}\Delta z,$$

potendo trascurare le potenze degli incrementi Δx, Δy e Δz delle distanze fra *n* e *m* e ove, per lo stesso ordine di approssimazione, è anche (formula (d):

$$\frac{fr'}{r'}=\frac{fr}{r}+(r'-r)\frac{d}{dr}\left(\frac{fr}{r}\right).$$

Inserendo le (c) e la (d) nelle (a), Saint-Venant perviene alle formule (g) delle componenti di tensione[15] nelle tre direzioni su una faccia di normale *z*:

$$p_{zx}=\frac{1}{2}\sum\frac{1}{\alpha^3}(\Delta x+\Delta u)\Delta z\frac{fr'}{r'};$$
$$p_{zy}=\frac{1}{2}\sum\frac{1}{\alpha^3}(\Delta y+\Delta v)\Delta z\frac{fr'}{r'};$$
$$p_{zz}=\frac{1}{2}\sum\frac{1}{\alpha^3}(\Delta z+\Delta w)\Delta z\frac{fr'}{r'},$$

dalle quali, considerando l'annullarsi dei termini a potenze dispari in Δx, Δy

e Δz per la supposta distribuzione omogenea delle molecole, si traggono le formule (m) per i corpi isotropi:

$$p_{zy} = A\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right) \; p_{zy} = A\left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right);$$

$$p_{zz} = K + A\left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + 3\frac{dw}{dz}\right);$$

ove le costanti K e A sono (formule (l))

$$K = \frac{1}{6\alpha^3}\sum rfr\,,$$

$$A = \frac{1}{30\alpha^3}\sum r^3 \frac{d}{dr}\left(\frac{fr}{r}\right)$$

Saint-Venant osserva che K è il valore della tensione normale prima della deformazione del solido e che esso "est rigoureusement nul quand l'état primitif dont on part est celui où aucune force extérieure ne s'exerçait encore sur le corps"[16].

Ragionando in termini geometrici, egli interpreta i rapporti differenziali nelle (m): in particolare, egli chiama "*dilatations linéaires*" le tre quantità du/dx, dv/dy, dw/dz, indicate con δ_x, δ_y, δ_z, e definisce per la prima volta con precisione gli scorrimenti angolari introducendo il nuovo termine "*glissements*" per le tre quantità

$$\left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx}\right), \left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy}\right), \left(\frac{dv}{dx} + \frac{du}{dy}\right),$$

indicate con g_{zx}, g_{yz}, g_{xy}.

Per i corpi isotropi deformati a partire dallo stato naturale le tensioni su una faccia di normale z sono date quindi dalle formule unicostanti (o):

$$p_{zx} = Ag_{zx}\,, \quad p_{zy} = Ag_{zy}\,,$$
$$p_{zz} = A\left(\delta_x + \delta_y + 3\delta_z\right).$$

Dalla definizione delle componenti di tensione Saint-Venant deduce poi le "trois équations générales et indéfinies" in termini di tensioni (formule (p)) e, tramite le (o), in termini di spostamento (formule (q)), precisando che ad esse vanno affiancate le "équations *définies* exprimant les *conditions aux limites*". Il problema della teoria dell'elasticità è quello di ricavare, dall'integrazione delle equazioni indefinite (q) sotto date condizioni al contorno, gli stati di spostamento, deformazione e tensione. Ora, osserva Saint-Venant, "cette intégration […] offre des difficultés extrêmes; elle n'a été obtenue que dans un très petit nombre de cas, en se servant principalement de méthodes exposées dans les théories de la chaleur de M. Fourier et de M. Poisson, et dans plusieurs Mémoires de MM. Poisson et Cauchy. Les Géomètres", aggiunge poi anticipando un punto di vista che metterà a frutto negli studi successivi sulla torsione e la flessione dei prismi attraverso il metodo *semi-inverso*, "ne se sont pas encore occupés de substituer, à ces méthodes difficiles et d'un usage fort restreint, des méthodes d'approximation propre à donner au moins d'une manière grossière des résultats applicables aux questions de pratique"[17].

In generale, "pour les corps dont l'élasticité n'est pas la même en tous

sens", ogni componente di tensione è del tipo (formula (s))

$$A\delta_x + A'\delta_y + A''\delta_z + A'''g_{yz} + A^{IV}g_{zx} + A^{V}g_{xy}$$

cosicché per tali corpi vi sono 36 coefficienti distinti. Invece, "pour les corps composés de fibres parallèlles, comme les bois ou les fers laminés", a diverso comportamento lungo le fibre secondo z o normalmente ad esse, i coefficienti si riducono a 3 e le tensioni operanti su un piano di normale z sono (formule (t)):

$$p_{zx} = A''g_{zx} \quad , \quad p_{zy} = A''g_{zy} \, ,$$
$$p_{zz} = 3A\delta_z + A'\left(\delta_x + \delta_y\right).$$

Saint-Venant applica le (o) al caso di un prisma a base quadrata soggetto a trazione T lungo l'asse z e trae le seguenti importanti formule (r):

$$\delta_x = -\frac{\delta_z}{4} \, ; \quad \delta_z = \frac{2}{5}\frac{T}{A} \, ;$$
$$T = \frac{5}{2} A\delta_z \, ;$$
$$\delta_x + \delta_y + \delta_z = \frac{\delta_z}{2} \, ; \quad A = \frac{2}{5}\frac{T}{\delta_z} \, ,$$

l'ultima delle quali mostra che "le nombre A n'est autre chose que $\frac{2}{5}$ du nombre E, par lequel M. Navier, rèpresente le rapport T/δ_z [18].

Un'applicazione: la trave elastica

"La solution exacte et générale de la résistance des solides [...] étant trop difficile […] nous en chercherons une solution approximative en nous aidant de quelques hypothèses auxquelles l'expérience n'est point contraire […]"[19]. È con questo spirito che Saint-Venant, all'inizio del IV capitolo della prima parte, si accinge ad applicare la teoria matematica dell'elasticità allo studio delle "pièces solides", cioè delle travi ad asse rettilineo o curvilineo defi-nite attraverso le seguenti condizioni: "1°. que l'une des dimensions *AB* soit beaucoup plus grande que les deux autres dimensions; 2°. que ces deux dernières soient, ou constantes, ou lentement variables d'un bout à l'autre du solide, en sorte que les plans tangents aux faces latérales soient toujours très peu inclinés sur une ligne moyenne *AMB* passant par les centres de gravité des sections qui lui sont normales; 3°. que cette ligne, qu'on appelle l'axe de la pièce soit une courbe continue, et que ses rayons de courbure soient fort grands par rapport aux dimensions transversales"[20].

In merito alla deformazione della trave, Saint-Venant accetta l'usuale ipotesi di conservazione delle sezioni trasversali piane. Tuttavia, a differenza di "divers auteurs" e coerentemente con la sua analisi degli scorrimenti e delle contrazioni trasversali, rimuove le ipotesi secondo le quali le stesse sezioni si manterrebbero ortogonali alla linea d'asse e conserebbero inalterate le loro dimensioni.

Saint-Venant prosegue con due importanti considerazioni di carattere generale. La prima assume che, quando siano trascurabili le componenti normali delle pressioni agenti su facce parallele all'asse della trave, essa si comporti come se fosse divisa in "filets" o "fibres" parallele all'asse: viene così prefigurato il procedimento *semi-inverso* per la ri-

cerca della soluzione, anticipando le note ipotesi assunte nel *Mémoire sur la torsion des prismes*. La seconda osservazione prelude a quello che, in seguito, assumerà la forma del cosiddetto *postulato di Saint-Venant*: egli osserva infatti che "[…] Les pressions sur les faces latérales de la pièce sont nulles partout, excepté aux endroits où il y a des forces extérieures appliquées. On peut aussi, dans les parties qui ne sont pas trop près des points d'application de ces forces, regarder comme nulles les composantes normales des pressions sur des faces prises à l'intérieur de la pièce, et parallèlles aux faces latérales ou à l'axe […]"[21] . Nei punti ove sono applicate le forze, pertanto, "le calcul de ces pressions et de leurs effets paraissant difficile, nous le négligerons comme les auteurs l'ont fait jusqu'ici […]"[22] . L'effetto locale di un sistema di forze viene così trascurato nella soluzione del problema, escludendo dall'indagine i punti molto prossimi a quelli ove agiscono le forze.

Ciò premesso, all'art. 23 Saint-Venant definisce attraverso i parametri della deformazione, per quanto in maniera non del tutto corretta in merito alla forza di taglio e al momento torcente, ciò che oggi indichiamo come caratteristiche della sollecitazione.

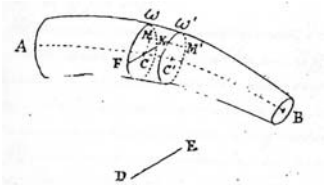


Fig. 2.

Introdotte le notazioni (Fig. 2):

δ_ω un elemento superficiale della sezione ω;

v la distanza del baricentro M di tale elemento dalla retta FK, passante per il baricentro C della sezione ω e parallela all'intersezione DE della medesima con una sezione ω' infinitamente prossima ad essa;

r la distanza di M da C;

δ la dilatazione longitudinale in corrispondenza del punto M;

δ_c il valore di δ nel baricentro C ;

$\delta_v = \delta - \delta_c$;

g lo scorrimento parallelo a ω, in corrispondenza del punto M;

g_c il suo valore al punto C ;

g_r lo scorrimento che, composto con g_c, fornisce g ;

μ_t il momento d'inerzia di ω rispetto alla retta trasversale FK ;

μ_l il momento d'inerzia di ω rispetto all'asse longitudinale, che è ortogonale alla sezione in corrispondenza di C,

egli ricava (formule (c') e (d')):

- la risultante delle componenti delle pressioni normali a ω: $P_l = E\omega\delta_C$
- la risultante delle componenti delle pressioni parallele a ω: $P_t = G\omega g_C$
- il momento risultante delle pressioni normali attorno alla retta trasversale FK: $M_t = E\mu_t \delta_v / \nu$;
- il momento risultante delle pressioni parallele attorno alla tangente all'asse della trave in C: $M_l = G\mu_l g_r / r$.

In queste formule la forza di taglio P_t è valutata ritenendo che lo scorrimento sia costante e uguale a g_c per tutti

punti della sezione; il momento torcente $M_{t,}$ è poi calcolato ammettendo che lo scorrimento g_r vari linearmente con r. Questa erronea quantificazione, che porta a trascurare l'ingobbimento delle sezioni riconosciuto in seguito dallo stesso Saint-Venant, si mantiene in tutta la trattazione, inficiando in parte la bontà dei risultati ottenuti.

All'art. 24 Saint-Venant ricava la dilatazione δ e lo scorrimento g in funzione delle caratteristiche di sollecitazione, trovando (formule (e')):

$$\delta = \frac{1}{E}\left(\frac{P_l}{\omega} + \frac{M_t}{\mu_t}\nu\right);$$

$$g = \frac{1}{G}\sqrt{\left(\frac{P_t}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{M_l}{\mu_l}r\right)^2 \pm 2\frac{P_t}{\omega}\frac{M_l}{\mu_l}r\sin(P_t r)},$$

ove $(P_t r)$ è l'angolo fra P_t e r.

Il criterio di resistenza

Le espressioni di δ e g sono dedotte da Saint-Venant col proposito di definire le "conditions de stabilité" secondo il criterio della dilatazione massima, già proposto da Mariotte nel *Traité du mouvement des eaux* (1686), e che lo stesso Saint-Venant mostra non essere in generale coincidente con quello della tensione massima. "En général", scrive l'autore, "il y aura à la fois des dilatations ou contractions longitudinales telles que δ et des glissements transversaux tels que g: il en résultera, dans d'autres directions que celles des lignes parallèles à l'axe, des dilatations ou contractions ayant d'autres valeurs que δ. Nous allons chercher la grandeur et la direction de la plus grande de ces dilatations ou contractions, car c'est elle, que l'on doit, pour exprimer la condition de stabilité, comparer aux quantités telles que Δ_0 et Δ'_0"[23], ove Δ_0 e Δ'_0 rappresentano, rispettivamente, la massima dilatazione e contrazione che il corpo può sopportare senza alterare "à la longue"[24] l'elasticità e la coesione del materiale. Indicando allora con δ_g la dilatazione nella direzione del "glissement transversal principal" g, i valori della "plus grande ou plus petite dilatation ou contraction", da confrontare con quelli di riferimento, sono dati dalla formula (k'):

$$\frac{1}{2}(\delta + \delta_g) \pm \sqrt{(\delta - \delta_g)^2 + g^2}\ .$$

Negli esempi successivi è adottata un'espressione semplificata delle massime deformazioni, ottenuta ponendo

$$\delta_g / g = -1/4 \ \text{ e } \ E/G = 5/2\ ,$$

che porta alla condizione (m'):

$$\Delta_0, \Delta'_0 \geq \left|\frac{3}{8}\delta \pm \frac{5}{8}\sqrt{\delta^2 + \frac{16}{25}g^2}\right|.$$

Avendo denotato con

R_0 "la force qui, sans le rompre, ni sans lui ôter immédiatement son élasticité, y produirait une dilatation capable d'altérer sa cohésion à la longue"[25];

R'_0 "la force capable d'altérer à la longue, et non immédiatement, par compression, l'élasticité et la cohésion de cette matière, par mètre carré de section"[26],

Saint-Venant deduce la relazione (n'), che rappresenta la condizione di stabilità per un corpo isotropo:

$$R_0, R_0' \geq \left| \frac{3}{8} E\delta \pm \frac{5}{8} \sqrt{(E\delta)^2 + 4(Gg)^2} \right|$$

scritta dall'autore in modo esteso, sostituendo al posto di δ e *g* le rispettive espressioni e ponendo $E/G = 5/2$. La (n') è "l'équation la plus générale de non altération de la cohésion d'une pièce solide homogène […]. Il faut, pour s'en servir, chercher, sur chaque section, les deux points où la quantité exprimée dans le 2e membre a les plus grands valeurs positive et négative, et prendre dans la pièce les plus grandes de toutes pour les comparer, l'une à R_0, l'autre à - R'_0"[27].

Seguono alcune considerazioni sui materiali anisotropi, come ad esempio il legno, e sui solidi di egual resistenza.

Il calcolo degli spostamenti nelle travi elastiche: un approccio generale

Con approccio rigoroso, Saint-Venant riconosce che gli spostamenti influiscono sulle condizioni di equilibrio riferite alla configurazione deformata del solido: "On ne connait pas […], à priori, les angles que forment les directions des forces avec les diverses tangentes et les diverses normales à l'axe, ni leurs bras de levier autour de ces tangentes et de ces normales quand les déplacements auront été opérés"[28]. Pur ammettendo che quasi sempre "les déplacements étant toujours fort petits, on peut le plus ordinairement négliger l'influence qu'ils peuvent avoir […]"[29], egli osserva con lucidità che questa semplificazione non è sempre possibile, perché in alcuni casi il minimo spostamento di alcuni punti dell'asse della trave aumenta in proporzione molto maggiore i momenti flettenti generati dalle forze applicate. È quello che accade, ad esempio, nella trave caricata di punta.

Lo studio degli spostamenti è inoltre fondamentale per la risoluzione delle strutture staticamente indeterminate: "Souvent les quantités qui déterminent en grandeur et en direction les forces inconnues, sont en plus grand nombre que ces équations […]. Alors, pour déterminer les composantes et les moments des actions et réactions cherchées il faut encore, comme nous le verrons, savoir résoudre le problème des déplacements éprouvés par les divers points d'une pièce solide, sous l'action de forces quelconques"[30].

Nell'ipotesi di piccoli spostamenti, Saint-Venant si propone di studiare la configurazione deformata dei punti dell'asse della trave invocando il principio di sovrapposizione degli effetti, "d'où il résulte que les déplacements réels de chaque point peuvent être décomposés, s'ils sont très petits, en déplacements partiels dont chacun répond à une composante d'une pression s'exerçant au même endroit […]"[31].

Negli articoli successivi, così, vengono espressi, attraverso equazioni separate, gli spostamenti dei punti dell'asse della trave elastica dovuti

- agli allungamenti e accorciamenti;

- agli scorrimenti trasversali;
- alla flessione;
- alla torsione.

"Nous résoudrons indépendamment les unes des autres, ces équations, dont chacune aura été posée comme si les déplacements dont on tient compte dans les autres étaient nuls, et nous composerons les déplacements effectifs cherchés, au moyen des déplacements partiels ainsi obtenus"[32].

La generalità dell'approccio proposto da Saint-Venant è confermata ancora dalla seguente osservazione: "Les composantes de forces et les moments […] qui entrent dans les équations […] d'où nous devons tirer les quatre espèces de déplacements partiels, dépendent de l'état modifié du corps, et par conséquent des déplacements effectives totaux des points de son axe, déplacements qui ne peuvent être connus qu'à la fin du calcul. Il faudrait donc, à la rigueur, résoudre en général toutes ces équations simultanément […]."[33].

All'art. 46 l'autore sottolinea come il calcolo degli spostamenti conduca alla determinazione delle reazioni incognite nelle strutture iperstatiche attraverso la scrittura delle effettive condizioni di vincolo esterno e di raccordo tra le parti della trave. In tal modo Saint-Venant - ragionando in termini di linea elastica - riconosce la necessità di imporre equazioni di congruenza esterne e interne prefigurando i metodi generali di risoluzione delle travature iperstatiche.

Sommaire *sugli sviluppi applicativi*

La seconda parte delle *Leçons* si configura come un *Sommaire destiné provisoirement à faire suite à la partie rédigée* e contiene numerosi esempi che contribuiscono a chiarire i concetti esposti nella prima parte.

Nel capitolo iniziale (capitolo IV) le "équations de la résistance des pièces solides"[34], in particolare l'espressione (n'), vengono applicate a casi in cui le condizioni di equilibrio della trave possono essere scritte trascurando l'effetto deformativo delle forze su di essa agenti (pp. 1-6). Vengono studiate travi rettilinee, anche inclinate, soggette a carichi concentrati o distribuiti; solidi di egual resistenza; archi isostatici; travi soggette a momenti torcenti.

Il testo prosegue riportando dapprima il calcolo degli spostamenti in travi piane, quando essi non influiscono sensibilmente sulle condizioni di equilibrio (capitolo V); in seguito, vengono studiati alcuni esempi in cui "on n'en peut pas négliger l'influence sur les composantes et les momens des forces, et lorsqu'il faut, en conséquence, traiter les équations comme différentielles implicites" (capitolo VI)[35].

In particolare, all'art. 87 viene affrontato il problema della stabilità dell'equilibrio elastico, studiando una trave rettilinea *AB* caricata di punta da un carico *Q*. Sono quindi riportati alcuni risultati - già presenti in altri autori (Eulero, Lagrange, Heim) - per i quali il carico critico risulta definito dalla formula (Y): $Q = E\,\mu\,i^2\pi^2 / a_0^2$, mentre la deformata assunta dalla trave è data dall'equazione $y = f \sin i\pi x/a$ ove a_0 e a rappresentano la lunghezza primitiva

della trave e la distanza tra le due estremità a deformazione avvenuta. Precisa Saint-Venant: "Si i=0 cette équation représente la ligne droite A_0B_0 qui continue d'être la forme de l'axe de la pièce lorsqu'il n'y a pas de flexion; si i=1, on a une courbe A_1B_1 à un seul ventre; si i=2 on a la courbe A_2B_2 à deux ventres égaux […]"[36]. Saint-Venant prosegue offrendo la condizione di resistenza: "On ne doit pas compter sur les courbures à inflexion pour lesquelles on aurais i = 2, 3 […]; le poids Q […] peut donc avoir, tout au plus, une grandeur capable de lui faire prendre une courbure très petite à un ventre, ce qui exige qu'il ne dépasse que d'une quanàtité extrêmement petite la quantité $E\mu\pi^2/a_0^2$ donnée […] quand on fait i=1"[37].

Per ottenere risultati più rigorosi egli osserva - dimostrando ancora una volta un approccio di grande generalità: "il faut, comme Lagrange l'a montré, se servoir d'une équation des déplacements dûs aux flexions, plus exacte que celle qui est fondée sur $ds = dx = dx_0$ "[38]. Non è possibile in questa sede entrare nei dettagli della formulazione matematica del problema e delle diffe renze tra i risultati ottenuti mediante la teoria semplificata e quella "rigorosa".

Vengono studiati, infine, alcuni casi significativi di travi inizialmente rettilinee soggette a diverse condizioni di carico e di vincolo.

[1] A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, *Leçons de Mécanique appliquée faites par intérim, 1837-1838*. Ms. conservato alla École Nat. des Ponts et Chaussées, FOL. 2290.

[2] I. Todhunter, K. Pearson, *A History of the Theory of Elasticity and of the Strength of Materials*, Cambridge 1886, pp. 833-841.

[3] E. Benvenuto, *A.-J.-C. Barré de Saint-Venant. The man, the scientist, the engineer*, Atti dei Convegni Lincei 140 "Il problema di De Saint-Venant: aspetti teorici e applicativi" (Roma, 6.03.1997), pp. 7-34.

[4] A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, *Mémoire sur la torsion des prismes […]*, «Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences de l'Institut Impérial de France», vol.14, pp. 233-560; Paris 1855.

[5] A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, *Mémoire sur la flexion des prismes, sur les glissements transversaux et longitudinaux […]*, «Journal de mathématiques pures et appliquées», vol. 1, pp. 89-189, Paris 1856.

[6] C.-L.Navier., *Résumé des Leçons données à l'Ecole des Ponts et Chaussées sur l'application de la Mécanique à l'établissement des constructions et des machines, avec des Notes et des Appendices par M. Barré de Saint-Venant*, Paris 1864.

[7] A. Clebsch, *Théorie de l'élasticité des corps solides, traduite par MM. Barré de Saint-Venant et Flamant, avec des Notes étendues de M. de Saint-Venant*, Paris 1883.

[8] A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, *Leçons*, cit., Prima parte, p. 1.

[9] *Ibidem*, p. 1.

[10] *Ibid*., p. 1.

[11] *Ibid*., p. 2.

[12] Per un'analisi del dibattito intorno alle cosiddette 'relazioni di Cauchy' e alla contrap-posizione fra teoria raricostante e multicostante si veda: F. Foce, *La teoria molecolare dell'elasticità dalla fondazione ottocentesca ai nuovi sviluppi del XX secolo*, Tesi di Dottorato, Firenze 1992; F. Foce, *Symétries en élasticité.*

Aspects du débat du XIX siècle sur le problème des "relations de Cauchy", in P.Radelet-de Grave (éd.), *Symétries*, Réminiscences 7, Brepols 2005, pp. 167-196.

[13] A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, *Leçons*, cit., Prima parte, p. 4, nota 4.

[14] *Ibidem*, p. 5.

[15] *Ibid.*, p. 7. La notazione a due indici per le componenti di tensione compare qui probabilmente per la prima volta.

[16] *Ibidem*, p. 8.

[17] *Ibid.*, p. 13.

[18] *Ibid.*, p. 14. La costante *A* corrisponde, naturalmente, al modulo elastico tangenziale *G*.

[19] *Ibid.*, p. 21.

[20] *Ibid.*, p. 21. Si può osservare che tale definizione è più generale rispetto a quella di "prisme", adottata nelle memorie successive sulla torsione e la flessione, ove viene considerato un cilindro generato da una superficie piana che si muove descrivendo con ogni suo punto una linea retta perpendicolare alla superficie generatrice.

[21] *Ibid.*, p. 22.

[22] *Ibid.*, p. 22.

[23] *Ibid.*, p. 26.

[24] *Ibid.*, p. 19.

[25] *Ibid.*, p. 19. Saint-Venant si riferisce a un "prisme dont la section transversal soit le mètre carré".

[26] *Ibid.*, p. 19.

[27] *Ibid.*, p. 27. L'autore si riferisce al "maximum numérique" delle quantità ottenute dalle relazioni (m') e (n'), senza utilizzare la notazione di valore assoluto.

[28] *Ibid.*, p. 30.

[29] *Ibid.*, p. 30.

[30] *Ibid.*, p. 31.

[31] *Ibid.*, p. 31. Scrive Saint-Venant alla nota (1): M. Navier a indiqué (*Leçons*, 2e édition n.° 483) ce principe de l'addition des effets partiels, mais sans l'appliquer […]".

[32] *Ibid.*, p. 31.

[33] *Ibid.*, p. 35.

[34] A.-J.-C. Barré de Saint-Venant, *Leçons*, cit., Seconda parte, p. 1.

[35] *Ibid.*, p. 16.

[36] *Ibid.*, p. 19.

[37] *Ibid.*, p. 20.

[38] *Ibid.*, pp. 20-21.

Roberto Gori

Pio Chicchi e l'insegnamento delle costruzioni metalliche nelle ultime decadi dell'Ottocento

Sommario

Pio Chicchi, ingegnere, unanimemente considerato l'erede di Gustavo Bucchia, fu professore ordinario di *Ponti in legno, ferro e muratura* e di *Strade ordinarie e ferrate*, e direttore del *Gabinetto di Costruzioni di ponti e strade* della Regia Scuola d'Applicazione per Ingegneri annessa all' Università di Padova, nell'ultima decade dell' Ottocento, fino alla sua morte, avvenuta nel 1898.

L'attività scientifica del Chicchi fu caratterizzata da una notevole produzione teorica e sperimentale. Da ricordare in modo particolare il *Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici,* che può essere considerato il primo testo completo sui ponti in ferro pubblicato in Italia. La prima edizione, a fascicoli, uscì dal 1879 al 1881, mentre la seconda edizione, molto arricchita, fu pubblicata nel 1886.

Particolarmente interessante e originale è la grande collezione di modelli didattici - ideata da Pio Chicchi a partire dal 1890 e proseguita da Luigi Vittorio Rossi nel 1899, anno in cui subentrò alla morte del Chicchi alla cattedra di *Ponti in legno e ferro* - destinata ad illustrare agli allievi le caratteristiche costruttive delle moderne costruzioni leggere dei maggiori ponti metallici, per lo più ferroviari, realizzati in Europa.

Tale collezione è tuttora esistente e in buono stato di conservazione e costituisce una delle più complete raccolte del genere al mondo.

Cenni biografici su Pio Chicchi (1848-1898)

Pio Chicchi, nato nel 1848, terminati gli studi universitari in ingegneria nel 1868 e abilitato all'esercizio della professione nel 1870, assunse nel 1875, come incaricato dalla Regia Scuola d'Applicazione annessa all'Università di Padova, l'insegnamento di *Strade ordinarie, ferrate, gallerie e ponti*, che in precedenza era appartenuto, insieme alle Costruzioni idrauliche, a Gustavo Bucchia.

Divenne quindi ordinario di *Ponti in legno, ferro e muratura* e di *Strade ordinarie e ferrate* nel 1885, fu direttore del *Gabinetto di Costruzioni di Ponti e Strade* dal 1889-90 al 1897-98.

Chicchi, oltre ad essere stato un valentissimo docente, come è attestato dalla vastità e dalla molteplicità degli insegnamenti di cui era responsabile, scrisse il testo: "*Corso teorico e pratico sulla costruzione dei ponti metallici*", che per molti anni fu il trattato più autorevole e più consultato dagli ingegneri e dai costruttori in Italia. La prima edizione, datata 1881, venne pubblicata a Padova e fu dedicata a Gusta-

vo Bucchia, dopo una uscita a fascicoli dal 1879 al 1881. Una seconda edizione, riveduta e notevolmente ampliata, fu pubblicata a Padova nel 1886 e fu dedicata al Turazza in occasione del suo giubileo accademico. Entrambe le edizioni sono accompagnate da un Atlante con le tavole dei progetti di alcuni tra i ponti in ferro più significativi realizzati in quegli anni sia in Italia che all'estero.

I suoi interessi scientifici si concentrarono sullo studio dei ponti, sollecitati anche dalla sua attività professionale. Era stato indotto, ad esempio, ad analizzare la capacità di resistenza delle fondazioni poste su alvei ghiaiosi o smosse dalle piene, in coincidenza con lo studio delle condizioni del ponte metallico sul Piave vicino a Fener, commissionatogli dall'Amministrazione di Valdobbiadene dopo le inondazioni del 1882 e del 1896.

Chicchi inoltre progettò e realizzò uno speciale flessimetro ed un flessigrafo, utili per registrare con precisione l'andamento delle deformazioni elastiche prodottesi nelle travate metalliche dei ponti.

La produzione scientifica del Chicchi fu rivolta in particolare a problemi riguardanti la statica ed il collaudo dei ponti metallici.

Nel 1882 pubblicò a Padova *"Procedimenti per le prove di stabilità delle travate metalliche per il calcolo delle freccie teoriche, e di un nuovo istrumento per la misura delle freccie effettive, con esempi pratici ed applicazione al collaudo del ponte su tre campate di Casalserugo"*.

In questo saggio Chicchi affronta il problema della determinazione delle frecce di inflessione delle travate metalliche, nonché il problema, allora molto dibattuto, del valore del modulo di elasticità.

Nello stesso scritto, Chicchi illustra pure un flessimetro da lui ideato per misurare con precisione la freccia effettiva delle travi dei ponti metallici.

Durante l'Ottocento la Scuola aveva raccolto consensi significativi, sempre rinnovati da parte di ampi settori del mondo tecnico e produttivo. Invitata a partecipare alle periodiche esposizioni nazionali ed internazionali (fu presente a Parigi alla mostra sull'elettricità del 1881 e alla Esposizione universale del 1900) si era fatta apprezzare per le pubblicazioni e gli strumenti dei suoi gabinetti scientifici. Nel 1884 in particolare il materiale inviato dal Chicchi alla mostra di Torino le valse il primo premio.

Nel 1884 Chicchi pubblicò a Torino: *"Sul modo di ricavare i diagrammi delle vibrazioni delle travate metalliche"*. In questo testo egli descrive gli stru-menti che aveva ideato per il rilievo delle oscillazioni verticali ed orizzontali delle travi, contestando gli analoghi strumenti creati dall'ing. Biadego poco tempo prima."

Chicchi si dedicò anche alla redazione di interessanti articoli sulla rivista: *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali.* Fra i suoi scritti si cita il saggio: *"Sulla determinazione delle tensioni nelle travi paraboliche ed in quelle diritte a traliccio dissimmetrico"* (Torino, 1882).

E ancora Chicchi, in alcuni dei suoi articoli, ci ricorda i pionieristici studi condotti sulla flessione dei solidi, che furono un tempestivo adeguamento della scuola padovana agli studi condotti da Jacques Bresse, il quale nel 1854 dava alla stampa le *Richerches analityques sur la flexion et la resistance des pièces courbes*.

Per quanto riguarda, invece, la realizzazione di ponti metallici progettati dal Chicchi, non si hanno purtroppo notizie certe. Sembra comunque che egli abbia partecipato alla costruzione di un ponte ferroviario a Brusegana ed uno a Vigodarzere, oltre ad una passerella pedonale sul fiume Limenella.

Pio Chicchi sviluppò e diresse l'esecuzione di molti progetti, tra cui va ricordato, per importanza particolare, l' adattamento, per la Facoltà di Ingegneria di Padova, dello storico palazzo Cavallo, alle Porte Contarine, già sede della Regia Dogana, soppressa nel 1891.

L'attività di ricerca e di divulgazione

L'attività scientifica del Chicchi fu caratterizzata da una notevole produzione teorica e sperimentale. Da ricordare in modo particolare è il già citato *"Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici",* pubblicato a Padova nel 1879-1881 e 1886, che può essere considerato il primo testo completo sui ponti in ferro. L'opera, prima del genere in Italia, si allineò con il *Bau der Bruckentrager*, Stuttgart, 1857, degli ingegneri F. Laissle e A. Schuebler, il *Grundzuge der constructiven Anordung ...*, II, 1, *Die statische Berechnung der Balkenbrucken*, Leipzig 1873, di F. Heinzerling, l' *Elementare Theorie und Berechnung eiserner Dach und Brucken Konstructionen*, Hannover 1873, di G. D. A. Ritter, e i *Vortrage uber Bruckenbau*, I, *Theorie der Brucken*, II, 2, Wien, 1875, di E. Winkler.

Le motivazioni di base che portarono il Chicchi a scrivere questo testo sono riportate nella prefazione: *"Si hanno, è vero, delle pregevolissime pubblicazioni a cui ricorrere, però alcune sono esclusivamente teoriche, altre limitate soltanto ad alcuni tipi di ponte, e solo le opere magistrali dell' Heinzerling e del Winkler trattano completamente e dettagliatamente questo argomento, ma per la difficoltà della lingua e per il loro costo elevato non sono generalmente alla portata degli allievi. E poiché manca un testo italiano che si occupi delle teorie ed insieme dello studio pratico, e dei dettagli costruttivi per i vari tipi di ponti metallici, così stimai fatica non sprecata quella di occuparmi di una tal opera."*

Il Chicchi, parlando della composizione del suo libro, afferma esplicitamente che la parte fondamentale dello studio sia quella dedicata alle cinque tipologie dei ponti in ferro (ponti a travata con travi dritte, ponti a travata con travi poligonali, ponti ad arco, ponti mobili e ponti sospesi) e non quella parte che egli definisce "*Riassunto sulla resistenza dei materiali"*, che avrebbe certamente potuto essere l'argomento esclusivo di un trattato teorico.

Nella prima parte del trattato il Chicchi espose la teoria della resistenza dei

materiali e i principi sulla spinta delle terre; nella seconda parte sviluppò lo studio degli elementi costruttivi e dei calcoli di stabilità dei principali tipi di ponti metallici a travi rettilinee e poligonali, dei ponti ad arco, dei ponti sospesi e dei ponti mobili, corredando il tutto con numerosi esempi numerici. Nel testo è particolarmente originale la ricerca della posizione che deve occupare un treno di carichi concentrati, di grandezza qualsiasi e con distanze reciproche prefissate, perché si produca un momento flettente massimo su una trave semplicemente appoggiata agli estremi, e della sezione in cui si ha tale momento flettente massimo. Originali sono pure molte applicazioni del metodo di Ritter, la ricerca dei momenti sugli appoggi di una trave continua con gli appoggi non a livello, e ricerche sul calcolo degli impalcati e sulla determinazione delle tensioni nelle aste delle travi dritte e poligonali.

Molti testi - tra i quali non può essere taciuto l'insuperato "*Traitè thèorique et pratique de la construction des ponts mètalliques"* di Molinos e Pronnier, Parigi, 1857, che documenta gli splendidi ponti di Chlichy, Ciron, Langon, Britannia, Asniéres, Windsor, Chepstow e Newmark e al contempo realizza la più imponente opera iconografica mai tentata sulle costruzioni metalliche - prima del Chicchi trattarono questo rilevante argomento. Tuttavia pochi autori pensarono di raccogliere in un testo unico sia le trattazioni teoriche sia l'applicazione delle stesse ai diversi casi della pratica, illustrando allo stesso tempo i particolari costruttivi più in uso e delineandone la loro evoluzione storica e commentandola con nuove deduzioni teoriche e utili osservazioni pratiche.

Nel suo trattato, Chicchi si propose di andare incontro alle esigenze non solo degli allievi delle Scuole di Applicazione, che, non ancora abituati a sviluppare progetti, hanno estremo bisogno di una guida nelle applicazioni pratiche, ma anche alle esigenze degli ingegneri e dei costruttori, che per lo studio dei progetti di qualsiasi ponte metallico e per le perizie e i collaudi ad esso relativi possano consultarlo come un vero e proprio manuale.

Il testo è diviso dall'autore in due parti principali, nella prima è esposto un riassunto delle teorie della resistenza dei materiali per quanto riguarda i ponti metallici, trattando quei quesiti che più frequentemente possono ricorrere nei diversi problemi di calcolo dei ponti, e nella seconda parte, dopo aver esposto uno studio particolareggiato sulla conformazione del tavolato per i vari tipi di ponte, ed i calcoli relativi alle diverse specie di tavolato, passa a considerare i ponti per quanto riguarda le travi principali ed il loro tipo e distinguendoli in cinque categorie: ponti a travata con travi dritte, a travata con travi poligonali, ad arco, mobili e sospesi. Per ognuno di questi tipi l'autore espone le varianti che servono a formare i tipi derivati e ne sviluppa i calcoli di stabilità relativi ed infine presenta diversi esempi con moltissime applicazioni numeriche per ogni caso particolare. Nella seconda edizione vennero

introdotte notevoli aggiunte tanto nel capitolo riguardante le travi reticolari a grandi maglie, per le quali l'autore espone il metodo di Ritter per la ricerca delle sollecitazioni nei vari elementi, quanto nel capitolo dei ponti ad arco per i quali presenta la risoluzione di un grande numero di casi.

Un'altra aggiunta consiste nell'applicazione delle leggi di Wohler e nella esposizione delle formule empiriche di Launhardt e Weyrauch, che dalle leggi di Wohler traggono origine. Notevole poi, in questa seconda edizione, è la quantità di esempi numerici e grafici sviluppati in modo assai dettagliato che illustrano come risolvere singoli casi pratici. Inoltre, l'Atlante, composto da 60 tavole di grande formato, contiene una raccolta molto accurata dei più significativi ponti fino ad allora realizzati. Negli anni 1882-1885 il Chicchi integrò il trattato con alcune memorie, dedicandone poi altre allo studio delle deformazioni elastiche nelle travate metalliche. Ideò e realizzò anche alcuni strumenti che consentirono di studiare con precisione le deformazioni prodotte nelle membrature di un ponte in ferro per effetto di carichi mobili: sono da ricordare il flessimetro, che forniva la misura delle massime inflessioni sia elastiche sia permanenti, e il flessigrafo, che riproduceva graficamente e con precisione l'andamento della flessione in corrispondenza delle varie posizioni del carico mobile, tanto per deforma-zioni elastiche vibratorie, positive o negative, in senso verticale, quanto per le orizzontali.

La collezione dei modelli didattici

Il *Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici,* del 1886, inizia con una breve prefazione nella quale il Chicchi enuncia le ragioni dell'importanza della didattica da lui promossa e perseguita presso la Scuola di Padova: "*L'odierno indirizzo delle scuole di applicazione per gli ingegneri esige che gli allievi, oltreché studiare le teorie debbano anche svolgere alcuni progetti per ogni ramo dell'ingegneria; ... poiché i giovani si trovano sempre incerti nello svolgimento complessivo del progetto, quanto nello studio di particolari, hanno quindi bisogno di una continua guida. Ma se fra i vari rami dell'insegnamento ve ne è uno dove queste difficoltà si moltiplicano, questo è certo lo studio dei ponti metallici, sia per le diverse teorie a cui s'informa, quanto per gli svariatissimi dettagli di costruzioni; ...il corso teorico e pratico potrà servire utilmente da guida per i bisogni della pratica, non soltanto per lo studio di progetti, ma anche per la loro revisione e per il collaudo dei manufatti eseguiti".*

Già due anni prima, Giovanni Curioni, docente di Costruzioni da oltre diciassette anni nella Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Torino, nel quarto volume dell'*Appendice dell'Arte di Fabbricare*, illustrava l'organizzazione didattica: *"ci ha giovato il coordinamento dall'insegnamento ora-le all'insegnamento individuale da farsi nella scuola di disegno, dove, col sussidio di appositi esemplari e stando a casi concreti, gradatamente si portano*

gli allievi a studiare progetti delle opere più importanti e di uso più frequente nella pratica delle costruzioni". L'uso costante di questi *"esemplari"* era per Curioni lo strumento fondamentale della sua didattica: essi dovevano essere *"nitidi e accuratamente quotati"* in modo da consentire agli studenti, non già di copiarli, ma di compilare opere analoghe a quelle in essi rappresentate, variando, per quanto fosse permesso, forme e dimensioni. Con questo mezzo si otteneva il vantaggio "*d'instradare gli allievi a quel lavoro di composizione, cui sul principio si mostrano tanto ritrosi, e di eliminare quel pericolo di scoraggiamento che generalmente, in mezzo ad una serie interminabile di dubbi, assale coloro che, per la prima volta si accingono a progettare e ad esprimere con disegni e con cifre le loro idee"*.

Le parole del docente torinese ci permettono di intuire quale fosse il ruolo centrale assegnato ai modelli nell' insegnamento delle discipline strutturali e quelle del docente padovano ci danno la testimonianza viva di un periodo storico veramente cruciale per gli studi di ingegneria e per la Scienza del Costruire. Va osservato che la collezione di modelli della Scuola torinese, iniziata dal Curioni nel 1866, riguarda principalmente costruzioni stradali, idrauliche e ferroviarie in muratura e lascia poco spazio alle opere metalliche. Chicchi fa realizzare, a partire dal 1890, modelli di travate, cerniere, pile e altri particolari di ponti metallici descritti nelle tavole dell'*Atlante* del suo *Corso teorico pratico*. Questa collezione era destinata ad illustrare agli allievi le caratteristiche costruttive dei più innovativi ponti metallici, realizzati in Europa. Dopo la sua morte, la raccolta fu proseguita da Luigi Vittorio Rossi. Questi modelli evidenziano l'evoluzione della travata reticolare metallica, delle grandi pile, delle complesse sezioni degli impalcati, fino ai nodi e ai particolari costruttivi degli apparecchi di appoggio. Dall'esame dei pezzi costituenti l'intera raccolta, si possono riconoscere gruppi di modelli omogenei, corrispondenti ai capitoli in cui era suddiviso il trattato del Chicchi.

I ponti a traliccio in legno

Le strutture metalliche ferro hanno trovato molti spunti nelle tipologie strutturali delle costruzioni in legno, utilizzandoli per giungere a forme geometriche essenziali, corroborate dalle tecniche e dalle tecnologie del nuovo materiale.

Le proposte del Palladio per travate da ponte avevano offerto schemi reticolari rigorosi dal punto di vista statico e geometrico. Tuttavia queste proposte erano spesso incompatibili con un materiale - il legno - condizionato da a modulo elastico relativamente basso e dalla tipologia delle giunzioni fin allora realizzabili. Le travate in legno quindi cominciarono a differenziarsi sempre più dagli schemi del Palladio, aumentando notevolmente il numero delle aste. Solo dopo il 1830 comparvero negli Stati Uniti i primi ponti ferroviari a travata reticolare di legno. Questi risultavano dall'irrigidimento dei ponti in legno ad arco - tipo Burr - nei quali gli elementi irrigidenti, le aste longitudinali e i diagonali, assume-

vano ora funzioni portanti principali.

In questo periodo di grande innovazione tecnologica va segnalata la trave Town (brevettata nel 1820), realizzabile con aste di parete di dimensioni ridotte. I primi ponti metallici tipo Town (Long e Howe) sono del 1843 e risultano come semplici imitazioni dei ponti il legno americani. Pochi anni dopo, la forma e i dettagli della trave metallica reticolare a graticcio risultano già ben definiti, così come appare ben superato il problema della stabilità del corrente superiore della parete.

Successivamente la tecnologia dell'acciaio si orientò sempre di più verso schemi reticolari semplici e chiari, con limitata iperstaticità interna, fino a ritrovare, all'inizio del Novecento, quegli schemi isostatici che erano stati proposti dal Palladio. Per la tipologia della trave tipo Howe, particolarmente interessanti risultano i modelli lignei di un ponte bavarese (progettato da M. Robinson nel 1840) e di un ponte sull'Oglio a traliccio multiplo con montanti in ferro (1852). Questo ultimo modello è attribuito, dallo stesso Chicchi, a Gustavo Bucchia, nelle *Note sulla Fermezza delle Armadure dei Ponti all'Americana*, pubblicate nel 1861: il Chicchi riferisce che Bucchia, con tale modello, veniva "*ad indagare se le modificazioni, introdotte in confronto della struttura immaginata dall'americano Town, fossero convenienti, e, dallo sviluppo della teoria sulla flessione della trave reticolare, ammirevole per lucidezza e semplicità di procedimenti, viene alla conclusione che alcune membra del sistema risultano oziose ed inutili, e sarebbero da eliminare*".



Fig. 1 - Modello del ponte in legno sull'Oglio a Capo di Ponte, commissionato da Gustavo Bucchia ed eseguito da L. Osorner di Longarone nel 1852

I ponti ad arco in ghisa

La derivazione dei primi ponti in ghisa dalle tipologie della tradizione costruttiva - in muratura e in legno - è evidente nel primo progetto di ponte metallico ad arco, Inveraray Bridge di Robert Mylne (1774), e nei progetti - in legno, in pietra, in ghisa - di Thomas Pritchard (1773-75), che successivamente (1777-1779) dette il suo contributo alla realizzazione del più famoso Coalbrookdale Bridge, con Abrams Darby III e John Wilkinson.

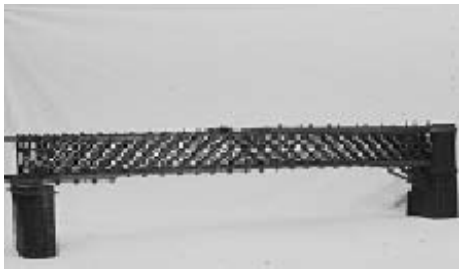


Fig. 2 - Modello di un ponte bavarese tipo Howe a doppia croce di S. Andrea con montanti in ferro (luce 49 m), progettato da Robinson nel 1840 e riprodotto nell'Atlante di Laissle e Schuebler, "Bau der Brückentrager", Stuttgart, 1857

Come è noto, questo ponte, di 30 m di luce, costituito da una serie di cinque nervature parallele ad asse curvilineo ad arco di cerchio, dette luogo ad una grande e stupita attenzione da parte di tecnici e costruttori di tutta l'Europa. Gli ispettori francesi del Corp des Ponts et Chaussées, organizzarono visite tecniche per studiarlo nei dettagli; un ponte analogo fu anche costruito a Worliz in Germania nel 1791, con le stesse proporzioni ma con dimensioni molto minori. Questo ponte in ghisa tuttavia non ebbe molti seguaci, diversamente da quanto avvenne con alcuni progetti francesi di ponti ad arco in ghisa e ferro della fine del Settecento, come il ponte ad archi paralleli a conci intelaiati di ghisa, collegati con copri-giunti di ferro forgiato, con luce di 120 m, proposto da Vincent de Montpetit negli anni 1783-1789.

Nel 1796 quella stessa tecnica a conci intelaiati di ghisa fu adottata da Wilson e Burdon per realizzare il ponte sul Wear a Sunderland, di 72 m di luce. Seguirono molte applicazione di questa tecnica in Inghilterra ed una celeberrima in Francia, il ponte di Austerlitz a Parigi, nel 1806, ad opera di Lamandé.

Per queste prime strutture con archi metallici, strutture leggere ma resistenti essenzialmente per forma e quindi più sensibili agli effetti dei carichi mobili, si presentò subito il problema delle grandi deformazioni flessionali. Era quindi vivo il bisogno di introdurre elementi irrigidenti.

Thomas Telford propose per primo di utilizzare i timpani come elementi irrigidenti, costruendoli con tipologia reticolare, realizzando un collegamento strutturale fra arco ed impalcato. Questo sistema fu messo a punto da Telford nel 1800 per il ponte ad arco sul Tamigi a Londra, con un'unica campata di 190 m e fu applicato successivamente per molti altri ponti.

Per illustrare i ponti in ghisa nella sua collezione di modelli didattici, Chicchi sceglie un'opera di Robert Stephenson: un ponte con archi in ghisa con timpani circolari, realizzata per la ferrovia Londra-Birmingham nel 1840.

I ponti a travata reticolare

Intorno al 1860 la trave reticolare, veniva ormai usata diffusamente per le grandi luci, la sua leggerezza e per le sue notevoli prestazioni, dimostrate in realizzazioni di grande effetto, in Fran-cia e Inghilterra, ad opera di Stephen-son, Fairbain, Flachat e Clapeyron

Le tipologie del ponte ferroviario a travata reticolare variavano in funzione delle caratteristiche dell'attraversamento e della luce della travata: a via superiore, sul modello dei primi ponti svizzeri di Bruggen, Berna e Friburgo, su linee di montagna; a via inferiore, per motivi di ingombro della travata, i ponti costruiti in pianura e nelle città; a sezione aperta i ponti con luce inferiore ai 30-40 metri; a sezione chiusa i ponti di luce superiore su modello dei primi grandi ponti tedeschi di Dirchau, Marienburg, Colonia. Le travi a profilo parabolico (bow-string), le travi tipo Schwedler e Pauli costituiscono una successiva evoluzione della tipologia della travata reticolare a traliccio con correnti paral-

leli. Chicchi fece realizzare in lamierino metallico numerosissimi modelli di travate reticolari e delle sezioni degli impalcati: delle travi poligonali realizzate per la ferrovia Veneto-Asburgo, alla trave Pauli per il ponte sul Rodach per la ferrovia Hochstad-Stockheim, realiz-zate tra il 1870 e il 1875, fino al caval-cavia di Monreale.

I ponti ad arco reticolare

A partire dal 1820 in tutta Europa il problema del superamento di grandi luci aveva trovato soluzione stabile nel ponte sospeso, almeno per il traffico leggero. Si trattava di strutture molto deformabili, i cui impalcati di legno, privi di una significativa rigidezza flessionale in rapporto alla luce, richiedevano continua sorveglianza e manutenzione. La loro deformabilità era incompatibile con il traffico ferroviario e ciò apparve subito, fin dal primo esemplare costruito sul fiume Tees, della linea Stockton-Darlington e realizzato da Samuel Brown nel 1830. Sarà poi John Roebling, nel 1855, a realizzare un ponte sospeso, più rigido e durevole, sul Niagara, per il collegamento fra la ferrovia americana New York Central e la canadese Great Western, su una luce di 250 metri.

Ma il ponte ferroviario di grande luce tecnicamente più importante fu il Britannia, ponte a travata continua costruito sullo stretto di Menai tra gli anni 1845-50, su progetto di R. Stephenson. La grande quantitadi ponti ferroviari a travata, realizzati in ogni parte d'Europa, a partire dal 1850, influenzò la tecnica della costruzione metallica da un punto di vista generale, determinan-do l'abbandono delle costruzioni in ghisa e portando all'affermazione di criteri ai quali più nessuna grande opera di ponte avrebbe potuto sottrarsi: la concezione tubolare e la conformazione reticolare della struttura nelle sue grandi membrature portanti; la composizione chiodata, di lamiere e profilati, delle sezioni e dei collegamenti.

Con questi nuovi criteri progettuali e con l'idea antica di Telford e di Stephenson di un montaggio a sbalzo dalle imposte, ebbe inizio la costruzione dei ponti ad arco di grande luce. Il primo fu il ponte a tre campate di oltre 150 m, sul Mississippi a St. Louis, di Eads, nel 1870. In Europa, sul Douro a Porto, fu realizzato nel 1873 il ponte di Seyrig ed Eiffel con una campata unica di 160 m.

All'inizio degli anni Ottanta due nuovi grandi ponti: il Luiz I ad Oporto, di 172 m, progettato da Seyrig, e il Garabit in Francia, di 165 m, progettato da Eiffel e Boyer, il più elegante. Successivamente fu realizzato il ponte di Paderno sull'Ad-da, di 150 m di luce.

Il grande viadotto di Garabit, opera somma di Eiffel, che attraversa la Truyère sulla ferrovia che collega le zone meridionali del Massiccio Centrale alle linee del Sud e alla Parigi-Lione-Marsiglia, ha un'altezza di 122 m sul livello del fiume e una lunghezza totale di 565 m. La travata è appoggiata sull' arco (in chiave e su due piccole pile intermedie) e su una serie di piloni a traliccio di forma tronco-piramidale. Per offrire maggior resistenza all'azione del vento trasversale, l'arco presenta una larghez-

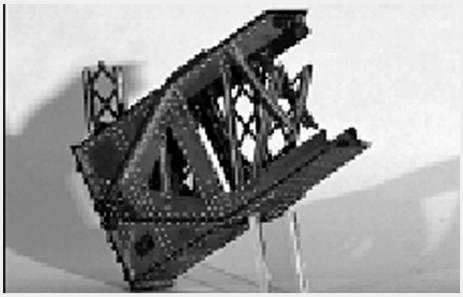


Fig. 3 - Modello della cerniera di imposta del Ponte di Coblenz sul Reno, ponte ad arco a due cerniere, progettato da M. Hartwich negli anni 1862-64 e riprodotto nell'Atlante di M. R. Morandière, Ponts en charpente et en metal, 1866

za maggiore alla base (20 m) e via via minore fino in chiave (6.28 m).

Il montaggio del ponte fu un'impresa di alta ingegneria: la travata fu montata parte sulla sponda sud e parte su quella nord e poi varata utilizzando un sistema brevettato da Eiffel per lo scorrimento su appositi rulli a bilico. L'arco fu montato a sbalzo con un sistema di cavi di sostegno dei due semiarchi costruiti in posizione di poco più alta di quella finale e poi abbassati fino a combaciare, grazie alla possibilità di rotazione sulle cerniere di base.

Questo metodo di montaggio a sbalzo, già usato da Eads per il ponte St. Louis sul Mississippi, costituì il riferimento per tutti i ponti ad arco di grande luce realizzati successivamente.

Chicchi, nella collezione dei modelli didattici per il suo corso, sceglie proprio questa opera: due modelli illustrano rispettivamente la cerniera di imposta dell'arco, e una parte dell'alta pila metallica a traliccio di sostegno della trave reticolare.

Gli apparecchi di appoggio, le cerniere, gli incastri

L'introduzione della cerniera nelle strutture ad arco costituì certamente uno dei meriti principali della costruzione metallica.

Per una mentalità progettuale ancora abituata al tradizionale arco in muratura e priva di quelle concezioni di vincolo che appartengono oggi al comune linguaggio ingegneristico, il concetto di cerniera era difficile da assimilare senza diffidenza.

Nelle prime applicazioni la cerniera veniva considerata quasi come una stonatura rispetto alla concezione usuale dell'arco ed era pertanto opportunamente mascherata.

Degna di menzione in proposito una frase del Cardellach, singolare commentatore delle tipologie strutturali: *"La cerniera esiste ma la dignità dell'ingegnere non ha permesso che venisse evidenziata".*

I particolari degli apparecchi di appoggio e delle cerniere realizzati in scala dal laboratorio del Chicchi sono numerosi e molto accurati nei dettagli.

Vanno citati in particolare: la cerniera di imposta del primo arco a due cerniere costruito sul canale di St. Denis su progetto di M. Couche e M. Mantion nel 1858, il singolare dispositivo di occultamento della cerniera del ponte di Coblenz sul Reno realizzato tra il 1862 e il 1864 su progetto dell'ingegnere M. Hartwich, le imposte del grande arco di 106 m di Horchhalm presso Coblenz del 1876-79, progettato da J. Zimmermann e M. M. Altenloh.

Bibliografia

M. Bellati, *Pio Chicchi*, in *Atti dell' Istituto veneto di scienze, lettere ed arti*, LVIII, 1898-99, pp. 147-148.

E. Benvenuto, *La Scienza delle Co-struzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, Firenze, 1981.

E. Benvenuto, *La teoria delle strutture nel periodo di maggiore influenza delle costruzioni metalliche, 1850-1880*, in *C.T.A., Contributi alla storia delle costruzioni metalliche*, Alinea, Firenze, 1982.

C. Bertolini, *I grandi ponti europei della fine dell'Ottocento rappresentati nei modellini didattici*, in *Atti Convegno Le costruzioni Metalliche a Padova nell'Ottocento*, Libreria Progetto, Padova, 1991.

L. Bisi, *I ponti in ferro italiani nell'Ottocento*, *Casabella* n°469, 1981

P. Chicchi, *Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici,* Angelo Draghi Librajo Editore, Padova, 1881.

G. Curioni, *Cenni storici e statistici sulla Scuola di Applicazione per gl'ingegneri, fondata in Torino nell'anno 1860, L'arte del Fabbricare, IV,* Torino, 1884.

A. Favaro, *Notizie sulla Scuola d'applicazione per gli ingegneri annessa alla Regia Università di Padova*, Padova, 1975.

R. Gori, A. Bujatti, *I modelli otto-centeschi di ponti del Dipartimento di Costruzioni e Trasporti dell'Università di Padova*, in *Galileo*, X, n. 102,1998, pp.26-28.

R. Jodice, *L'architettura del ferro: l'Italia 1796-1914*, Bulzoni, Roma, 1985.

V. Nascè, *La progettazione e la costruzione metallica dalle origini al periodo 1850-1860*, in *C.T.A. Contributi alla storia delle costruzioni metalliche*, Alinea, Firenze, 1982

Aa.Vv., *Notizie sull'Istituto di costruzioni, ponti e strade dal 1874, anno di fondazione, al 1976,* Università degli Studi di Padova, Padova 1976, p. 13.



Fig. 4 - Modello della cerniera di imposta del Ponte sul canale di St. Denis (luce 45 m), progettato da M. Couche e M. Mantion nel 1858, descritto anche nella Tavola n.° 43 dell'Atlante di Pio Chicchi, allegato al testo "Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici"



Fig. 5 - Modello della cerniera di imposta di un ponte ferroviario ad arco a tre cerniere con timpani reticolari, progettato da J. Palme nel 1880, descritto anche nella Tavola n.° 45 dell'Atlante di Pio Chicchi, allegato al testo Corso teorico pratico sulla costruzione dei ponti metallici



Fig. 6 - Modello dell'incastro all'imposta del Ponte di Sregadin sul Theiss, progettato da M. Cézanne e M. Maniel negli anni 1856-59, descritto anche in F. Heinzerling, Eiserne Brüchen, 1873

Michelangelo L. Giumanini

Storia, curricula studiorum e studenti della Scuola d'applicazione per gli ingegneri e gli architetti dell'Università di Bologna (1877-1899)

Storia dell'istituzione

Prima dell'istituzione della Scuola d'applicazione per ingegneri ed architetti in Bologna, secondo le disposizioni di legge del 1862 gli aspiranti ingegneri od architetti avrebbero, dopo l'ottenimento del diploma di licenza in matematiche pure, seguire il Corso pratico nell'università della durata di due anni ed attendere presso un ingegnere architetto due anni di pratica. Visto lo stato dell'insegnamento, retto da un professore ordinario e da due docenti incaricati, il 26 ottobre 1875 il Corso pratico, assieme a quello di Pisa, fu soppresso[1] . Inoltre, la scarsa preparazione sia teorica che pratica dei giovani, a cui si aggiungevano alcune irregolarità verificatesi nel rilascio dei certificati di praticantato da parte dei privati ingegneri[2], aveva fatto propendere il ministro dei Lavori pubblici, Silvio Spaventa, ad escludere i laureati bolognesi dai concorsi banditi dal Genio civile[3].

La soluzione a questa situazione che si era andata determinando in Bologna si ebbe con il decreto dell'ottobre 1875, con il quale fu data facoltà di istituire, a totale carico dello Stato[4] , il primo anno della Scuola di applicazione per gli ingegneri ed architetti, mentre il secondo ed il terzo anno poterono essere attivati grazie all'iniziativa della Provincia e del Comune di Bologna, le aziende Aldini e Valeriani[5], i collegi Comelli e Bertocchi che si riunirono in consorzio al fine di provvedere anche ai locali, alle suppellettili scientifiche. Con il decreto del 14 gennaio 1877, si riconosceva ed approvava lo statuto del consorzio, che fissava in Lire 100.000 la somma da destinarsi all'ammodernamento dei locali, alla somministrazione dei mobili ed all'acquisto del materiale scientifico; a questa somma aggiungeva poi una dotazione annua di 80.000 lire per il funzionamento degli ultimi due anni (questo per un periodo di trent'anni). Fin dalla sua costituzione la Scuola fu localizzata entro locali già in possesso dell'Università[6] , trovando collocazione fisica nel soppresso convento di san Giovanni dei Celestini, anziché nel ex convento di santa Lucia come era stato precedentemente preventivato.

Contemporaneamente al decreto regio che riconosceva il Consorzio, fu emanato un dispositivo legislativo (14 gennaio 1877) che istituiva, annessa alla Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali, la Scuola d'applicazione di Bologna con l'obiettivo di fornire un'adeguata istruzione scientifica e tecnica in grado di preparare ingegneri civili ed architetti ed abilitarli alla professione mediante il conferimento del diploma.

Ottenuto questo i primi potevano dirigere costruzioni rurali, civili, stradali, idrauliche e meccaniche, oltre a essere periti giudiziali nelle materie su accennate; i secondi erano abilitati e dirigere esclusivamente fabbriche civili e rurali, oltre svolgere funzioni di perito edilizio e rurale[7].

A seguito del ritorno dall'Università di Roma del professore Cesare Razzaboni[8] cui nel 1876 fu assegnata l'ideazione della struttura ed organizzazione che la futura scuola d'applicazione avrebbe posseduto. Tale compito venne svolto nonostante le resistenze dovute alla presenza in Torino, Milano e Padova di istituzioni preposte alla formazione degli ingegneri che rendevano apparentemente superflua la creazione in Bologna di questo tipo di istituzione scolastica[9].

L'organigramma della Scuola prevedeva un Direttore ed un Consiglio direttivo composto da un presidente –solitamente incarnato dal direttore della Scuola medesima–, da un rappresentante della Scuola, da un rappresentante della Facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali e da due rappresentanti del Consorzio universitario; a fianco del Direttore e del Consiglio esisteva un organo di segretaria, composto da un segretario, da un vice-segretario, da un bidello e da quattro inservienti.

La prima pianta organica fu fissata con il decreto regio del 4 marzo 1877, dove si assegnavano alla Scuola quattro professori ordinari, cinque straordinari e quattro incaricati[10], mentre nel suo complesso il corpo docente si articolava in insegnati strutturati (ordinari, straordinari ed incaricati), insegnati liberi ed assistenti.

Associata alla scuola vi erano il *Collegio degli ingegneri ed architetti di Bologna*[11] e l'*associazione fra utenti di caldaie a vapore delle provincie dell'Emilia e delle Marche* (il cui funzionamento risale dal 1889); quest'ultima, assieme alla Scuola stessa, fu dotata della più ricca collezione di guasti rinvenibile in Italia. Non ultima figurava la sezione italiana dell'*Associazione internazionale per le prove dei materiali da costruzione*[12].

Inoltre, la Scuola ed i suoi laboratori fornivano consulenza a enti terzi con prove di resistenza dei ma-teriali, determinazioni calorimetriche e dinamiche, analisi chimiche, rilievi topografici, modelli didattici ect.[13].

Dai docenti della Scuola il 1899 fu considerato un anno spartiacque, questa considerazione è da mettere in relazione alla legge del 26 marzo 1899, promulgata dietro iniziativa di Giosuè Carducci all'epoca senatore del Regno d'Italia che, riconoscendo la Convenzione universitaria del 4 dicembre 1897, stabilì la totale assunzione da parte dello Stato del mantenimento della Scuola, esonerando da tale compito il Consorzio universitario. A suggellare questo riconoscimento, in quello stesso anno la Scuola ebbe l'onore di ospitare il IX congresso degli ingegneri italiani, dove fu anche inaugurato (1 Ottobre 1899) un ricordo marmoreo del fondatore della Scuola stessa, Cesare Razzaboni.

Curricula studiorum

Per accedere alla Scuola si doveva aver conseguito la licenza fisico matematica dall'omonimo corso biennale appositamente costituito per gli aspiranti ingegneri-architetti nella facoltà di scienze matematiche, fisiche e naturali ed aver seguito i corsi di mineralogia, geologia, disegno d'ornato e disegno architettonico; a corredo di tale documentazione lo studente all'atto dell'iscrizione doveva presentare disegni d'ornato, architettura e di geometria proiettiva e descrittiva, realizzati durante detto biennio[14].

Nel regolamento per le regie Scuole d'applicazione del 1876 si fissavano anche le materie obbligatorie; per gli ingegneri e gli architetti era stabilito che nel primo anno, comune ad entrambi, essi avrebbero dovuto seguire le seguenti discipline: meccanica razionale, geodesia teorica, statica grafica, applicazioni della geometria descrittiva, chimica docimastica (per i primi due elencati ci si sarebbe avvalsi degli insegnati della facoltà fisica, matematica e naturale dell'Università). La differenziazione tra i due percorsi formativi avveniva dal secondo anno. Durante il secondo ed il terzo anno gli ingegneri avrebbero seguito le lezioni di geometria pratica, meccanica applicata alle macchine, meccanica applicata alle costruzioni, economia ed estimo rurale, materie giuridiche e fisica tecnica (secondo anno), mineralogia e geologia applicate ai materiali da costruzione, idraulica pratica, macchine idrauliche, macchine agricole, macchine termiche, archi-tettura tecnica, costruzioni civile e rurali, fondazioni, ponti in muratura, in legno ed in ferro, strade ordinarie, ferrate e gallerie, costruzioni idrauliche e lavori marittimi, idraulica agricola e bonificazioni (terzo anno). Gli aspiranti architetti invece avrebbero dovuto seguire mineralogia e geologia applicate ai materiali da costruzione, meccanica applicata alle costruzioni, geometria pratica, architettura tecnica, costruzioni civili e rurali, economia ed estimo rurale, fisica tecnica e materie giuridiche[15]; a queste aggiungevano gli insegnamenti impartiti nella classe d'architettura dell'Istituto di belle arti: stili architettonici, composizione e modellazione in creta degli ornamenti architettonici, decorazione interna, disegno di prospettiva, acquerello ed estetica applicata all'architettura, misurazioni dal vero[16]. Nel 1879 una nuova disposizione legislativa stabilì che l'insegnamento di Agraria dovesse essere assegnato alla Scuola, la quale fu conseguentemente corredata anche dell'orto botanico e dell'annessa Palazzina della Viola[17]. Un altro aspetto saliente della didattica svolta nella Scuola è rappresentato dalle escursioni, dalle esercitazioni pratiche e dai viaggi d'istruzione.

L'interrelazione tra Istituto di belle arti e Scuola d'applicazione é recepita anche dallo statuto dell'Istituto del 1878, nella parte relativa alla composizione del Consiglio dei professori, dove compare l'indicazione che un membro di detto Consiglio dovesse essere un docente della Scuola d'applicazione; suddetto statuto, inoltre, fissa in tre anni

il periodo di frequentazione della classe d'architettura e prevede il superamento di un esame per conseguire il diploma di architetto o proseguire nella classe d'architettura per un ulteriore anno ed ottenere poi la licenza di professore di disegno architettonico. Non ultimo, nella formazione del calendario delle lezioni, l'orario della classe d'architettura si sarebbe dovuto concordare con la Scuola d'applicazione[18]. Curiosamente, nel Regolamento universitario e nel piano di studio degli aspiranti architetti il periodo di studi da spendersi nell'Istituto è ridotto a due anni da frequentarsi durante il secondo ed il terzo anno della Scuola d'applicazione.

Riguardo le materie insegnate nel corso speciale d'architettura, un quadro dettagliato viene fornito direttamente dal professore Pietro Tincolini, che resse la cattedra dal 1878 al 1895; secondo le indicazioni del docente nel primo anno gli studenti si sarebbero impratichiti con misurazioni dal vero di edifici –affiancandovi un esame stilistico e statico dell'opera rilevata–, studio degli elementi della composizione architettonica e di prospettiva, al secondo anno si sarebbe affrontato lo studio della decorazione interna ed esterna, la metodologia del restauro dei monumenti antichi, lo studio dei diversi stili architettonici e proseguito con il rilievo architettonico associato ad esercizi a mano libera. Infine, durante il terzo e quarto anno facoltativo si sarebbero proseguite le esperienze condotte negli anni precedenti[19].

Sulla formazione degli architetti e sul dibattito sviluppato nel periodo preso in esame, occorre sottolineare come già in occasione dei primi convegni degli ingegneri ed architetti italiani si suggeriva la necessità di separare l'educazione dell'architetto da quella dell'ingegnere e, dove non esistevano scuole d'applicazione, di collocarla nell'alveo delle accademie di belle arti. Sull'argomento ritornò anche Camillo Boito che, nel capitolo *Condizioni presenti degli architetti in Italia*, si mostra ancor più radicale argomentando sull'opportunità di eliminare la sezione d'architettura dalle scuole d'applicazione e di affidare l'istruzione agli istituti di belle arti. Con l'obiettivo di garantire una formazione libera dalle pastoie della scienza ed affidata in massima parte alle discipline della creatività. Nel proseguo, ribadendo che l'arte non necessità di diplomi, porta all'attenzione la figura licenziata –dopo un curriculum di studi della durata di otto anni (un anno di corso preparatori, tre di corso comune e quattro di corso speciale, lo stesso frequentato dagli studenti delle scuole d'applicazione)– dagli istituti di belle arti, quella di professore di disegno architettonico, una figura che considera più degna di portare il titolo di architetto, la cui formalizzazione in un corso di studi spiega l'assenza di studenti in architettura nelle scuole d'applicazione[20]. Un problema questo, sentito anche nella Scuola bolognese, infatti nel 1890 il Razzaboni, discutendo il Senato di un nuovo progetto che prevedeva l'ampliamento delle discipline artistiche nelle scuole d'applicazione, fu chiamato dal relatore Cremona per esprimere un suo parere che

concordava l'impianto del progetto[21].

Il carico degli studi era mediamente di sette ore al giorno suddivise in tre ore di lezioni teoriche (tenute nella mattinata) e quattro di esercitazioni pomeridiane per un periodo di ventitre settimane, in ragione di questa mole di lezioni dal 1895 furono soppresse le prove di profitto di metà anno[22]. Secondo il regolamento interno della Scuola d'applicazione la valutazione degli studenti veniva fatta due volte all'anno: i docenti, a metà ed alla fine dell'anno, riportavano su un apposito registro le votazioni ottenute da ciascun allievo in conferenze, esercitazioni e disegno. Se al termine del medesimo anno avessero ricevuto una valutazione media superiore a 60 centesimi si consideravano promossi, mentre coloro che non avevano raggiunto tale punteggio, ma comunque non inferiore a 40 centesimi potevano accedere agli esami di riparazione al principio dell'anno accademico seguente costituente in una conferenza su tutta la materia.

In merito agli esami generali di diploma, questi si tenevano in due sessioni una autunnale ed una estiva. Qui l'allievo che aveva ottenuto una media uguale o superiore a 80 centesimi aveva facoltà di scegliere il tema del progetto, mentre coloro i quali avevano ottenuto una media superiore ai 90 centesimi, non dovevano sottostare alla sorveglianza imposta durante i 15 giorni dati per lo svolgimento dell'elaborato grafico[23]. La seconda prova, della durata di un'ora, era orale e verteva sia sul tema scelto o dato che sulle materie affini a questo. La commissione esaminatrice, uno per gli ingegneri e l'altra per gli architetti, era composta da cinque membri di questi quattro facevano parte del corpo docente, mentre uno era scelto tra gli ingegneri per gli aspiranti ingegneri e tra gli architetti per gli aspiranti architetti con la condizione che questi avessero svolto la professione da almeno cinque anni[24].

Nell'analisi delle tracce assegnate nel periodo 1893-1898 emerge evidente che tra coloro che avevano facoltà di scelta del tema vi era una netta preferenza per argomenti affini a problematiche ferroviarie, il che è indice della futura scelta professionale dei diplomandi, del resto in linea con le opportunità offerte dal mercato del lavoro e con quanto suggerito del Ministro ai lavori pubblici, Alfredo Baccarini, in occasione del III congresso degli ingegneri ed architetti (Napoli, 1879) che indicava come compito patriottico degli ingegneri quello di occuparsi di ferrovie e bonifiche[25] . Le stesse materie impartite nella Scuola confermeranno la centralità del settore agricolo e sottolineano l'importanza che in tale contesto assume la figura dell'ingegnere, in particolar modo per la Padania avviata ad un'agricoltura di tipo capitalistico dove gli ingegneri furono i protagonisti[26] .

Analisi della popolazione studentesca

Da un'analisi condotta sulla popolazione studentesca presente nella scuola dalla data di fondazione all'anno accademico 1898/99, gli studenti furono 1023, di questi 867 (85%) ottennero il

diploma in ingegneria, mentre furono solo tre gli studenti che scelsero il percorso formativo riservato agli architetti ottenendone il titolo; quattordici furono coloro i quali, ottenuto il grado di ingegnere civile, proseguirono i loro studi nella facoltà architettonica; uno solo fece il percorso inverso[27].

Del rimanente 15% degli studenti sappiamo che 49 cambiarono sede di studio scegliendo di recarsi in massima parte all'Università di Torino, seguita nelle preferenze da quella romana. La capacità della Scuola di diplomare un numero così elevato di studenti è da mettere in relazione alla severità degli studi di impronta militare e paternalistica[28], dove i rapporti tra studenti e docenti è improntata ad una disciplina severa; una situazione non dissimile a quanto si verificava, per esempio, anche nella Scuola superiore navale di Genova[29].

I diplomati trovarono impiego in massima parte negli uffici ferroviari, in quelli catastali, in quelli tecnici di comuni, province e consorzi. Altri trovarono occupazione nella libera professione e nell'insegnamento[30].

Sugli studi compiuti dagli alunni precedentemente alla loro iscrizione all'università siamo informati del loro percorso scolastico solo relativamente a 498 studenti: 317 provenienti da istituti tecnici (sezione fisico-matematica), mentre i rimanenti avevano frequentato il liceo. Essendo che al biennio fisico-matematico per gli ingegneri dell'Università venivano ammessi sia studenti licenziati da istituti tecnici che da licei, questo, secondo Camillo Boito, determinava lacune formative, soprattutto negli studenti liceali, per quanto riguarda la preparazione matematica e l'apprendimento dell'arte del disegno; per quest'arte la situazione si andava ulteriormente peggiorando nel biennio. Una situazione che si andava aggravando nel proseguo degli studi; infatti, nelle scuole d'applicazione dominava la teoria a discapito della pratica e gli stessi docenti erano uno specchio fedele di questo stato di cose, non avendo mai essi realizzato alcuna costruzione o concreto progetto[31].

Cinquecentotto furono coloro i quali precedentemente all'iscrizione alla Scuola avevano frequentato a vario titolo l'Università di Bologna (25 Corso pratico, 87 Matematica pura, 2 Fisica e 394 Matematica (Biennio per gli ingegneri)), i rimanenti arrivano licenziati dal biennio delle università di Modena (59), di Ferrara (50) e Parma (47), seguite Pisa (28), Padova (17), Urbino (11), Pavia (8), Roma (7), Cagliari e Torino (5) e Catania (1). Altri 190 studenti sono coloro provenienti da altre scuole d'applicazione (53 Pavia, 36 Torino, 29 Roma, 19 Pisa, 19 Padova, 16 Milano); a questi si devono aggiungere gli studenti della Scuola superiore navale di Genova (11) e coloro che frequentarono istituti superiori militari (18). Durante gli anni 1882-1885 assistiamo ad una trasmigrazione di studenti (94) che, provenienti dal soppresso Istituto tecnico superiore dall'Università di Firenze, si presentarono alla Scuola chiedendo l'ammissione al esame finale; di questi in 60 ottennero diploma (tali

figure non compaiono nell'elenco dei diplomati presente nell'annuario della Scuola del 1900/01 e neppure negli annuari riferibili all'anno del conseguimento del diploma)[32].

Per ciò che concerne la provenienza geografica degli studenti, la massima parte di questi è espressione della regione Emilia Romagna con 495 studenti: 189 Bologna (130 città e 59 provincia), 83 Modena (46 città e 37 provincia), 56 Ferrara (28 città e provincia), 55 Ravenna (12 città e 43 provincia), 35 Parma (21 città e 14 provincia), 33 Reggio nell'Emilia (16 città e 17 provincia), 26 Forlì e Cesena (13 Forlì, 4 Cesena, 9 provincia), 13 Piacenza (7 città e 6 provincia) e 5 da Rimini. La regione che più contribuisce all'incremento della popolazione studentesca è la Lombardia con 147 presenze, seguono la Toscana (87), le Marche (76), il Veneto (59) ed il Piemonte (35).

Gli stranieri sono in numero complessivo di nove, provenienti da Volo (Grecia), Pamplona (Spagna), Nizza (Francia), Lugano (Svizzera), Londra (Inghilterra), Cairo (Egitto), 2 da Buenos Aires (Argentina), Alessandria (Egitto). L'andamento delle iscrizioni dalla data di fondazione mostra un *treand* positivo fino al 1891 per poi progressivamente calare fino all'anno accademico 1898, con una media di iscrizioni di 116 per anno.

Singolare, e questo vale per quasi tutti gli anni accademici presi in esame, è che gli iscritti al secondo e terzo anno sono sempre in numero superiore a quelli del primo anno, infatti, gli iscritti al primo anno ammontano complessivamente a 790, mentre nei rimanenti due anni la popolazione studentesca esprime rispettivamente i seguenti valori: 874 e 890.

Una spiegazione ai picchi di iscritti del 1886 e del 1887 è dovuta alla presenza di 9 studenti che arrivano dall'Università di Pavia iscrivendosi a Bologna al secondo anno proseguendo i loro studi fino all'ottenimento del diploma.

Grazie agli annuari siamo informati che durante l'intervallo cronologico 1888/89-1897/98 coloro che ebbero la facoltà di scegliere il tema furono mediamente il 46% dei candidati, con un calo della performance scolastica degli studenti negli anni 1891, 1893 e 1895, con percentuali pari rispettivamente a 40%, 38% e 42%. Sempre grazie agli annuari, ma per un arco temporale inferiore (1892/93-1897/98), possiamo avere un'idea dell'esito finale, dove la media generale corrisponde a una valutazione di 83 centesimi. Occorre fare un'annotazione in merito all'anno 1897/98 dove, contrariamente ad un generale miglioramento della valutazione complessiva della carriera scolastica (il 56% degli studenti ebbe la possibilità di scegliere il tema) si assiste ad un calo, seppur marginale, del risultato medio (82 centesimi).

[1] G.C. Calcagno, *La Scuola per gli ingegneri dell'Università di Bologna tra Otto e Novecento*, «Annali di storia delle università italiane», 1, 1997, p. 152.

[2] Sullo stato della scuola pratica bolognese e non, un preciso quadro ci viene dato nel 1875 dalla relazione redatta da Luigi Cremona, Fortunato Padula e Prospero Richelmy per conto del ministro della Pubblica istruzione, Ruggero Borghi e del Segretario generale, Enrico Betti, base per la compilazione del *Regolamento per le regie scuole d'applicazione per gli ingegneri approvato per decreto reale l'8 0ttobre 1876*. M. Moretti, *La riorganizzazione degli studi di ingegneria nell'Italia liberale. Documenti sulla preparazione del Regolamento del 1875*, in *Ricerche di storia moderna IV. In onore Mario Mirri*, Ospedaletto (Pisa), Paccini editore, 1995, pp. 404-411.

[3] *Annuario della R. scuola d'applicazione per gli ingegneri. Anno scolastico 1893-94*, Bologna, Società tipografica già Compositori, 1894, p. 111.

[4] Con lo stesso decreto fu istituito a Pisa il primo anno della Scuola d'applicazione per ingegneri. G. Cocchi, *Cento anni di Scuola d'ingegneria a Bologna*, in *Università a Bologna, maestri, studenti e luoghi dal XVI al XX secolo*, a cura di G. P. Brizzi, L. Marini, P. Pombeni, Bologna 1988, pp. 195-205. In Italia negli anni 1875/76 si giunse alla creazione di un sistema, dove il titolo di ingegnere si acquisiva dopo un percorso di studi quinquennale di livello universitario, garantendo l'accesso alla professione sia in ambito privato che nella pubblica amministrazione; dove si assiste, sul piano dell'offerta didattica ad una dicotomia tra il modello francese, seguito nella formazione degli ingegneri civili e quello tedesco a cui si richiamava il Politecnico di Milano e più tardi la Scuola d'applicazione di Torino che nel 1906 acquisì il nome di Politecnico. M. Minesso, *L'ingegnere dall'età napoleonica al fascismo*, in *Storia d'Italia, Annali 10, I Professionisti*, a cura di M. Malatesta, Torino, Einaudi, 1996, p. 269.

[5] Le aziende si trasformarono di li a poco nell'Istituto Aldini Valeriani, una scuola che si poneva come obiettivo l'istituzione degli insegnamenti di fisica-meccanica, chimica applicata alle arti e disegno applicato alle arti e mestieri. Nonostante l'approvazione del piano costituente (1874), l'istituto dovette attendere la fine del 1878 per trovare definitivo avviamento, questo perché si volle che l'istituzione facesse parte del Consorzio universitario e poi provvedesse all'adattamento dei locali nei quali avrebbe trovato sede (ex convento di santa Lucia) ed all'acquisto del materiale didattico. L'Istituto ebbe stretti rapporti con la Scuola d'applicazione sia a livello organizzativo, con la presenza nel consiglio direttivo di docenti universitari, che dal punto di vista didattico. *Notizie sull'Istituto Aldini-Valeriani per le arti e i mestieri in Bologna per l'anno scolastico 1883-84 (VI anno di vita) pubblicate nell'occasione dell'Esposizione generale italiana in Torino*, Bologna, Società tipografica Azzoguidi, 1884.

[6] *Annuario della R. scuola d'applicazione per gli ingegneri in Bologna per l'anno scolastico 1899-1900, compilato con notizie più estese per l'occasione della Esposizione universale di Parigi*, Bologna, Società tipografica già Compositori, 1900, pp. 3-6.

[7] Scuola d'applicazione per gli ingegneri in Bologna, *Anno 1899, XXII dalla Fondazione. Notizie generali*, Bologna, Società tipografica già Compositori, 1899, p. 3.

[8] Su Razzaboni si veda *Prof. Comm. Cesare Razzaboni*, in *Annuario della R*, cit., pp. 109-122, F. Cavani, *Elogio storico di Cesare Razzaboni*, Bologna, Società tipografica già Compositori, 1899.

[9] *Annuario della R*, cit., pp. 111-113.

[10] L'organico fu poi modificato il 25 ottobre 1889 con l'aggiunta di un nuovo posto in organico, il 7 settembre 1891 (altri tre posti) ed il 23 marzo 1895 che portava complessivamente ad otto i professori ordinari, a cinque gli straordinari ed a cinque gli incaricati, a questi si sommavano cinque direttori dei gabinetti scientifici coadiuvati da due condirettori.

[11] Il Collegio, evoluzione del Circolo tecnico bolognese (fondato nel 1876), fu ospitato, dietro iniziativa del Razzaboni, dalla Scuola a partire dal 1882 dandogli la possibilità di utilizzare la biblioteca della Scuola e con l'obiettivo che,

confluendovi i docenti, questo trovasse un'*operosità che le mancava*. Sulle iniziative intraprese dal Collegio di veda M. Benassi Capuano, *L'associazionismo degli ingegneri architetti nel processo di modernizzazione di Bologna*, «Strenna storica bolognese», 51, 2001, pp. 29-53.

[12] *Notizie generali*, cit., pp. 9-10. Quest'associazione fu evidentemente una derivazione dell'*Associazione internazionale per le prove dei materiali* fondata a Zurigo nel 1895, con l'intento fissare delle norme per la prova dei materiali utilizzati in edilizia, al fine di tutelare sia i consumatori che produttori di nuove tecnologie; a questa aderì anche il direttore della Scuola, Jacopo Benetti. Cocchi, *Cento anni*, cit., p. 197.

[13] *Notizie generali*, cit., p. 10.

[14] *Regolamento 1876*, cit., art. 3; la Scuola si dotò di un proprio regolamento interno, riconosciuto dal ministero l'8 febbraio 1879. Il regolamento sarà poi modificato negli anni 1880, 1882 e nel 1895.

[15] La Scuola era poi corredata da un supporto didattico costituito da gabinetti (meccanica applicata alle macchine, geologia, architettura, idraulica, ponti e costruzioni idrauliche, geometria pratica, bilance, costruzioni civili, fisica teorica), da laboratori, da collezioni scientifiche e da l'orto agrario; non ultima la biblioteca.

[16] G. Lipparini, *La R. accademia di belle arti di Bologna*, Firenze, Felice Le Monnier, 1941, p. 187. Occorre sottolineare che l'iscrizione all'Accademia di belle arti era una prassi consolidata per gli ingegneri-architetti, infatti già dagli ordinamenti universitari napoleonici compare l'obbligo di frequentare la classe d'architettura e che questi risultano presenti negli elenchi degli studenti dell'Accademia. Da un'analisi della popolazione studentesca dell'Accademia di belle arti di Bologna riferibile al periodo 1803-1877, è emerso che un terzo degli alunni era rappresentato dagli aspiranti ingegneri-architetti. M.L. Giumanini, *Tra disegno e scienza. Gli studenti dell'Accademia di belle arti di Bologna*, Bologna, Minerva soluzioni editoriali, 2002. Un'interrelazione questa che si verifica anche a livello professorale dove i docenti d'architettura risultano di ruolo nella facoltà fisico matematica; non a caso la carica di presidente dell'Accademia veniva soventemente occupata da ingegneri, come per esempio Luigi Aldrovandi o Maurizio Brighenti.

[17] *Annuario della R. scuola d'applicazione*, cit., pp. 7-8.

[18] Lipparini, *La R. accademia*, p. 184, 189 e 192. Non ultimo dal 1879 al 1886 l'Istituto di belle arti fu presieduto dall'ingegnere ferroviario Jean Louis Protche, una carica ricoperta dopo aver svolto quella di facente funzioni di direttore (1872-1879).

[19] M. L. Giumanini, *L'architettura in Accademia*, in *Figure del Novecento 2. Oltre l'Accademia*, catalogo della mostra (Bologna, 2001), a cura di A. Bacillieri e R. Bentini, Bologna 2001, p. 372.

[20] C. Boito, *Questioni pratiche di belle arti per Camillo Boito. Restauri, concorsi, legislazione, professione insegnamento*, Milano, Ulrico Hoepli editore-libraio della real casa, 1893, pp. 353-363. In perfetta consonanza con il Boito era l'architetto L. Broggi. *L'architettura all'esposizione di Torino*, «Il Politecnico. Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale», 23, 4-5, 1891, pp. 308-318.

[21] A. Muggia, *Parole del prof. Attilio Muggia dette a nome degli ingegneri laureati nella Scuola per la inaugurazione del ricordo marmoreo dedicato al prof. Cesare Razzaboni. 1° ottobre 1899 in occasione dell'apertura del IX congresso degli ingegneri ed architetti italiani*, Società tipografica già Compositori Bologna, 1899, p. 8.

[22] *Annuario della R. scuola d'applicazione*, p. 11-12.

[23] Presso la Sezione architettura dell'Archivio storico dell'Università di Bologna si conservano circa un migliaio di disegni riferibili all'esame di diploma. M. B. Bettazzi, *Archivi aggregati. La sezione di architettura e i fondi degli architetti moderni*, Bologna, Archivio storico, 2003, pp. 89-90. Dalla lettura degli annuari è possibile ricavare un'idea di quanto veniva richiesto ai giovani essendo li pubblicati i temi ad essi assegnati, i quali erano solitamente riferibili progetti ferroviari (Ferrovia di montagna con sviluppo artificiale, Stazione ferroviaria, Ferrovia a dentiera-sistema misto, Rimessa ad anfite-

atro per 18 locomotori, Progetto di una ferrovia provvisoria su di una falda franosa), edilizia civile (Spedale per 100 ammalati, Teatro diurno e notturno capace di 2.500 spettatori, Museo nazionale per antichità e belle arti, Gruppo di scuole elementari, Ammazzatoio pubblico per bovini, suini e lanuti, Riparto di abitazioni per inquilini borghesi, Cimitero per una popolazione di 10.000 abitanti, Palazzina fornita di ogni accessorio), ponti e strade (Ponte sospeso irrigidito per strada ordinaria, Strada provinciale, Ponte obliquo in muratura, Viadotto in muratura, Ponte metallico con travature ad altezza costante, Progetto definitivo di una strada comunale, Progetto di rettificazione di un tronco di strada ordinaria) ed opere idrauliche (Impianto di due turbine girare per alimentare, mediante pompe, un serbatoio d'acqua, Condotta d'acqua potabile per l'alimentazione di una città di 250.00 abitanti, Canale a scopo d'irrigazione e industriale, Canalizzazione di un tronco di fiume mediante dighe). Occorre sottolineare comunque una certa ripetitività nelle tracce individuate dalle commissioni.

[24] M. Benassi, *Architetti, ingegneri e società a Bologna fra Otto e Novecento*, Università degli studi di Bologna, tesi di laurea (a.a. 1999-2000) e regolamento dell'8 ottobre 1876 e regolamento interno del 1895.

[25] C. Bucchioni, *L'Ottocento e la Scuola d'applicazione per gli ingegneri in Bologna*, in *Il patrimonio librario antico della biblioteca d'ingegneria*, a cura di B. Brunelli-C. Bucchioni-M. P. Torricelli, Biblioteca centrale «G. P. Dore», Università di Bologna-Facoltà di ingegneria, Bologna, 1, pp. 31-33.

[26] Minesso, *L'ingegnere*, cit., p. 271.

[27] Una situazione simile si verificò anche all'Istituto tecnico superiore di Milano, dove nei primi quarant'anni di funzionamento diplomarono solo quarantasei architetti. L. Besana, *Il concetto e l'uffìcio della scienza nella scuola*, in *Storia d'Italia, Annali, 3, Scienza e tecnica nella cultura e nella società dal rinascimento a oggi*, Torino, Einaudi, p. 1225. Coloro i quali ottennero il grado di architetto sono presenti negli elenchi degli studenti dell'Istituto in belle arti di Bologna, istituzione la quale conserva anche il loro fascicolo personale della carriera scolastica.

[28] Sul rapporto instaurato con i docenti Attilio Muggia così si esprimeva: "Scrupoloso dei doveri proprî e di quelli degli allievi non transigeva con essi, ma non conosceva asprezza nel rimprovero. Egli parlava ai discepoli come padre amoroso al più amato dei figli, e *padre* essi lo chiamarono nel 1888, nella ricorrenza dell'VIII centenario dell'Università, alla inaugurazione del busto che lo effigia e che oggi è qui trasportato. E come padre a Lui facevano appello anche per cose estranee alla Scuola, per richiederlo di consiglio e di guida nelle difficoltà della professione … Egli conservava di certo le reminiscenze della disciplina militare … Questa disciplina, contemperata dalla Sua grande bontà, il Razzaboni applicò con felice intuizione qui dove, mancando una tradizione riguardo ai severi studi applicativi, quali sono quelli dell'ingegneria, occorreva stabilirla. Ed egli riuscì, colla assidua sorveglianza personale, ad ottenere quanto con nessun altro mezzo sarebbe stato conseguito, sì che la frequenza quotidiana e continua, richiesta dalla difficoltà e molteplicità degli studî, divenne per gli allievi la consuetudine di un gradito dovere", Muggia, *Parole del prof.*, cit., pp. 5-6.

[29] Calcagno, *La Scuola per gli ingegneri*, cit., p. 159 e A. Marcenaro e M. Elisabetta Tonizzi, *Dalla Regia scuola superiore navale alla Facoltà di Ingegneria*, «Atti della società ligure di storia patria», Nuova serie, XXXVII (CXI), Fonti e studi per la storia dell'Università di Genova, 3, 1997, p. 87.

[30] *Notizie generali*, cit., p. 10.

[31] Boito, *Questioni pratiche di belle arti*, cit., pp. 355-356.

[32] *Annuario della R. scuola d'applicazione*, cit., pp. 133-181.

Filippo Nieddu

Il viaggio di istruzione del professor Bonacossa nell'Isère, nella Loire e nella Saône-Loire (settembre 1883)

Introduzione

Dalla riforma risorgimentale dell'istruzione, avvenuta in virtù del regio decreto n.3725 del 13/11/1859, ben più nota sotto il nome di "legge Casati", agli studenti delle scuole politecniche del Nord Italia, specialmente quelli di Milano e Torino, fu istituzionalmente concessa la possibilità di svolgere viaggi di istruzione, in special modo all'estero, al fine di complementare la loro preparazione teorica con esperienze dirette delle attività oggetto di studio. Per garantire la copertura economica dei viaggi erano istituiti dei fondi finanziati dagli stessi studenti, come spiega Michela Minesso: "…nel caso di Milano e Torino la formazione pratica degli ingegneri trovava un importante complemento nei viaggi di istruzione, pagati dagli stessi studenti con tasse speciali. Venivano programmati tour di istruzione per ciascun anno di corso, ma i più interessanti erano riservati ai laureandi. I percorsi, che toccavano i maggiori centri d'Europa, erano comuni nelle diverse scuole, e le mete erano per lo più città artistiche, moderne aziende agricole, arditi trafori, gallerie e linee ferroviarie, grandi porti, rinomate industrie."[1]

Contatti di questo tipo si protrassero per tutto il periodo sino alla Prima Guerra Mondiale. Esempio di questi viaggi è quello compiuto dal professor Bonacossa e dai suoi studenti nel giugno del 1883. Lo stesso Bonacossa ne dà più che ampia relazione nell'edizione del 1883/84 dell'Annuario del Regio Museo Industriale.[2]

Sebbene risalenti a un periodo anteriore, esistono presso diverse scuole tecniche francesi (École Polytechnique, École des Mines, École des Ponts et Chaussées, Conservatoire des Arts et des Métiers, École Centrale des Arts et des Manufactures) dei *cahiers de voyage* di allievi ingegneri, relazioni fatte in occorrenza di viaggi di istruzione che sovente prevedevano come meta il Piemonte. In questi quaderni si trovano molte annotazioni, specialmente sulle caratteristiche delle miniere[3] , ma anche sui macchinari utilizzati presso quelle industrie.

I viaggi d'istruzione acquisirono negli anni valenza didattica istituzionale anche per il polo tecnico torinese: lo stesso articolo 88 del Regolamento del Regio Politecnico recita: "Ove nulla osti, ha luogo un viaggio d'istruzione per gli allievi dell'ultimo corso sotto la guida di insegnanti ed assistenti. Il Consiglio d'amministrazione, sulla proposta del Direttore, delibera intorno al concorso del Politecnico ed alle altre relative condizioni".

La tradizione proseguì a lungo: è del 1935 la pubblicazione di un libretto da

parte del Politecnico di Torino, *I viaggi d'istruzione*, che spiega dettagliatamente gli itinerari dei viaggi compiuti nell'anno accademico appena concluso.

Il professor Bonacossa

Alessandro Bonacossa dal 1880/81 fu docente al Regio Museo Industriale. La sua cattedra era quella di Arte Mineraria e Metallurgia, e la detenne per oltre trentacinque anni, prima come "professore esterno", poi come "professore straordinario" e infine come "ordinario".

La relazione sul "viaggio per le esercitazioni pratiche di Metallurgia e di Arte Mineraria" costituisce un prezioso documento sullo stato dell'arte della materia in quel periodo, poiché insieme alle descrizioni si ha una valutazione comparata del valore delle singole istallazioni con la condizione italiana, affrontata nelle lezioni in aula.

Nelle oltre duecentocinquanta pagine dello scritto si trovano le minuziosissime descrizioni di "parecchie miniere e officine metallurgiche nelle regioni dell'Isère, della Loire e della Saône-Loire"[4] , al fine di "coordinare le osservazioni tecniche che s'ebbe occasione di fare nelle varie località, cogli insegnamenti dati in scuola lungo l'anno, e di mettere in rilievo ciò che più deve interessare nello scopo di studio che s'ebbe di mira".[5]

A evidenziare la stima nella quale tali comitive erano tenute, Bonacossa ricorda come in molte occasioni il suo gruppo sia stato accolto ed accompagnato nella visita dagli stessi direttori delle miniere o delle fabbriche oggetti della visita.

I rilievi del relatore spaziano dalle osservazioni di tipo quasi paesaggistico, per andare a quelle relative alle caratteristiche degli opifici, delle macchine, del personale al lavoro sino ai paragoni con la situazione italiana, sino a notazioni di carattere geologico sulle regioni attraversate. Bonacossa non tralascia di accennare a particolari complementari, che tuttavia danno un'impronta interdisciplinare alla relazione: esempio ne sia la sommaria, ma indicativa per un addetto ai lavori, descrizione della ferrovia che collega le miniere di ferro di Allevard con il paese di Cheylas la Buissière: "…è congiunta con questa miniera con una ferrovia di circa 6 chilometri di lunghezza e parecchi grandiosi piani inclinati automotori, recentemente eseguiti dalla Società del Creusot proprietaria della miniera stessa."[6]

Nei termini consentiti dalla natura dello scritto, Bonacossa si dimostra un entusiasta, a tal punto che quando trova un'officina per la produzione di lamiere e ferri profilati che utilizza ancora forni ordinari per puddellaggio in luogo dei nuovi forni che operano con il materiale fuso, non esita a esprimersi in questi termini: "È rimarchevole questa officina per la costanza avuta nella fabbricazione dei ferri esclusivamente ordinari senza avere introdotto ancora la moderna fabbricazione di prodotti fusi, tanto applicata ora in tutte le officine francesi della valle del Rodano."[7]

La cronaca del viaggio costituisce la prima sezione dello scritto; la parte seguente è dedicata all'analisi comparata dei diversi metodi di estrazione e produzione incontrati. Seguono descrizioni più dettagliate di sei stabilimenti: l'officina siderurgica di Terrenoire, lo stabilimento siderurgico di Saint-Chamond, la miniera di ferro spaltico di Allevard, la miniera di litantrace della Beraudière e di Montrambert, l'officina siderurgica di Allevard e l'officina di piombo e disargentazione Dulong di Vienne[8].

Diverse volte la descrizione di questo o quell'impianto termina con considerazioni del tipo: "È questa fabbricazione molto interessante, per noi specialmente, perché trovasi in condizioni tali da non riuscire impossibile industrialmente di venire introdotta anche nel nostro paese e richiamò pertanto da parte nostra particolare attenzione."[9]

Il viaggio, in definitiva, serve sì a mostrare agli allievi ingegneri la pratica delle attività studiate durante il corso, ma anche a trarre spunti per l'impianto di tali attività anche dall'altra parte delle Alpi: Bonacossa non fa mistero del fatto che le industrie mineraria e siderurgica francese siano ad un livello superiore delle corrispettive italiane (in particolare di quella piemontese, che costituisce il suo punto di riferimento iniziale), e la sua speranza è di poter compiere un adeguato trasferimento di conoscenze, per consentire un aggiornamento delle attività italiane alle nuove tecniche recentemente scoperte e già introdotte nelle imprese francesi.

Il "viaggio per le esercitazioni pratiche di Metallurgia e di Arte Mineraria"

Il programma del viaggio previde la partenza da Torino nella serata del 14 giugno 1883. Nella mattinata successiva il treno giunse, attraverso "la linea di Susa-Modane",[10] alla stazione di Cheylas la Buissière, dove il signor Cluzel, direttore delle miniere di Allevard, attendeva la comitiva. Con un treno messo a disposizione dalla direzione della miniera, il gruppo si recò al sito di Saint-Pierre d'Allevard, sede degli impianti principali, dove si fermarono per ben tre giorni. Tale era l'importanza di questo impianto che nella terza parte, dedicata alla descrizione dei più importanti stabilimenti visitati, si dà ampio spazio sia alla miniera di ferro spaltico di Allevard, sia all'officina siderurgica.

Riguardo alla ferriera, le prime notazioni riguardano la ferrovia di circa tre chilometri che collegava l'officina con la miniera e quella a piano inclinato già utilizzata dalla comitiva. In particolare, notevole è il dislivello di 300 metri colmato da quest'ultima. Tali linee servivano per il trasporto del coke e del litantrace provenienti dalle miniere del Gard e della Loire; questi materiali erano indispensabili per i processi metallurgici svolti nella ferriera.

Seguono le descrizioni dei processi e dei prodotti dello stabilimento. Il prodotto principale (due terzi del totale) era acciaio ottenuto con il metodo Martin o mediante "pudellatura"; il rimanente era ferro dolce. Il rilievo dato dall'estensore dell'articolo a queste produzioni è for-

te: "Questi prodotti sono di un pregio speciale e valgono a dare una rinomanza ed un'importanza allo stabilimento molto distinte. Si è perciò che noi richiamiamo su questo stabilimento la nostra attenzione e tanto più perché esso si trova in condizioni di esercizio molto analoghe a quelle in cui troverebbesi le nostre ferriere delle Valli Lombarde specialmente."[11]

Detto brevemente dell'energia ricavata dalla caduta d'acqua del torrente Breda, è poi descritto lo stabilimento, composto da due parti: la prima, quella a monte, più importante, nella quale si compiva la torrefazione dei minerali; la seconda, a valle era destinata alla fucinazione. I principali prodotti erano molle per vagoni e "una specialità tutta moderna cioè la fucinazione di barre di acciaio che servono per costruire magneti di induzione per le macchine dinamo-elettriche e magneto-elettriche".[12]

Bonacossa passa poi a descrivere l'altoforno, che tratteggia nelle sue parti complementari e negli impianti correlati. Tra le prime il sistema di innalzamento delle cariche, le macchine soffianti, gli apparecchi per il riscaldamento dell'aria e i magazzini per i combustibili e per i minerali. Tra le seconde un forno Hoffmann[13] a gas (per la torrefazione dei minerali), un forno elettrico Martin Siemens[14] per la fabbricazione dell'acciaio (alimentato dai gas provenienti da una batteria di "gazogeni"), un forno a riverbero di riscaldo dei materiali di carico per il forno Martin-Siemens, un altro forno di riverbero per il riscaldamento dei lingotti d'acciaio, due forni di puddellaggio, tre treni di laminatoi di cui uno sbozzatore e gli altri finitori e alcuni magli a coda mossi dalla forza dell'acqua.

La descrizione della miniera è alquanto particolareggiata. Una prima parte tratteggia le principali caratteristiche della formazione metallifera, della composizione media del minerale estratto e delle peculiarità delle vene sotterranee. Segue la spiegazione dei lavori sotterranei, divisi nelle due zone della *Madeleine* e del *Croix Reculet*. In base alle caratteristiche della *Rue* (il filone) è successivamente spiegato il metodo di coltivazione: creazione del caminetto per la ventilazione e l'accesso dei minatori, secondo l'inclinazione della faglia, anche al fine di poter scaricare più agevolmente il materiale di riempimento; costituzione della struttura di sostegno in legno; metodo di scavo del materiale; successivo riempimento del volume scavato, anche al fine di costituire un pavimento a partire dal quale, senza ulteriori supporti, i minatori potessero procedere allo scavo della parte seguente.

Sono poi enunciati i vantaggi dei metodi di coltivazione adottati, vantaggi che accomuna con tutti i metodi per ripiene (cioè con alternanza di scavo e riempimento del volume scavato): "1° Permette di dare ampiezza ai cantieri e quindi di facilitare l'escavo per il buon effetto che vengono ad avere le mine e per la comodità in cui viene a trovarsi il minatore. – Permette facilità nel caricamento dei minerali del cantiere nei vagoni di trasporto ed assicura l'indi-

pendenza dei cantieri fra loro e l'indipendenza loro dai lavori preparatori;

2° Facilita la messa in porto delle ripiene e assicura compattezza e una buona disposizione delle medesime contro le pareti dei vuoti formati dagli scavi, ciò che garantisce la fermezza e stabilità di esse pareti e quindi la sicurezza dei cantieri;

3° E' economico pei legnami;

4° Permette molta concentrazione di cantieri e quindi facilita la sorveglianza dei medesimi ed assicura una buona e suddivisa ventilazione."[15]

L'analisi dei costi non è trascurata, che rende conto della paga oraria dei minatori, del costo dei riempimenti e di quello dei trasporti, oltre che di quello delle successive operazioni, come la torrefazione e quelle compiute dagli altri forni, che passa a descrivere nelle pagine successive. In questo caso l'estensore racconta delle difficoltà che la società del Creusot, concessionaria della miniera, ebbe in relazione all'attività soprattutto del forno di torrefazione: se all'officina di Allevard fu scelto un forno Hoffmann riscaldato con i gas dell'altoforno, in questo caso la soluzione considerata ottimale fu l'utilizzo di forni a tino. L'eccesso di materiale minuto (il 40% dell'estrazione), che non poteva essere torrefatto nei forni di questo tipo (nei quali poteva essere introdotta una frazione non superiore al 30%), era lavorato da un forno apposito. Tale soluzione fu messa in pratica dallo stesso direttore dello stabilimento, il già citato signor Cloizel. Oltre alla dettagliata descrizione dei due tipi di forni, sono messe in rilievo le specificità adottate nello stabilimento di Allevard, necessarie per la particolare tipologia di materiale. In tal senso non mancano esempi di vari tipi di forni (Moler, Vordenberg, oltre al noto Hoffmann) dislocati in un po' tutta Europa (Stiria, Carinzia, Svezia, Norvegia, altre località della Francia), che danno prova dell'ottima conoscenza dello stato dell'arte da parte del professore torinese.

Alla fine del XIX secolo la metallurgia nell'area di Saint-Etienne dovette rinnovarsi pesantemente, a causa di una crisi originata dalla scoperta del metodo Gilchrister-Thomas per la conversione della ghisa in acciaio. Grazie a tale metodo si poterono sfruttare i minerali metalliferi abbondanti ma fosforosi della Lorena. Attorno al 1880, tale crisi, anche per una situazione più generalizzata di sovrapproduzione, si fece duramente sentire, con un ribasso annuale della produzione nella Loira di oltre 60.000 tonnellate. La siderurgia di Saint-Etienne prese così la strada della fabbricazione di qualità.

Apparvero nel 1860 e 1861 due memorie di Grüner[16], professore all'istituto minerario di Saint-Etienne, sul metodo di conversione Bessemer, messo a punto un anno prima da parte dai fratelli inglesi Jackson, da Petin e Gaudet a St-Seurin, nei pressi di Bordeaux, ed applicato su scala industriale stessi dall'anno più tardi a Assailly nella Loire, prima di essere adottato nel 1865 a Terrenoire. Nel 1867, il metodo Martin-Siemens conobbe anche la sua prima

attuazione industriale da Verdié. Nei due casi, si è cercato un più grande controllo del raffinamento per fornire l'esercito ("combatte cannone/armatura", fucile Chassepot in 1866) e le ferrovie (la barra d'acciaio si utilizza 24 volte meno rapidamente della barra di ferro) di prodotti affidabili in grande quantità." Si sviluppano a questo proposito ricerche sulle sfumature dell'acciaio in funzione dei modi operativi e delle aggiunte di leghe in diverse proporzioni. In 1877, J. Boussingault ed Aimé Brustlein fabbricano da Holtzer a Unieux dei ferrocromi e degli acciai al cromo per la prima volta in Europa. Quando la siderurgia lorena si sviluppò, la regione di Saint-Etienne fu dunque preparata a ritrovare il suo vecchio ruolo di trasformazione piuttosto che di prima elaborazione dei metalli[17] .

Nella descrizione del viaggio, si ha prima una digressione sulla vallata dell'Arc, della quale l'estensore elenca le peculiarità geologiche. Poi, proseguendo nell'itinerario, la comitiva passava alla zona del lionese, trovandosi il 17 giugno sera a Vienne, dove si fermò per due giorni. Motivo della sosta era la visita dello stabilimento De Long, specializzato nel trattamento dei minerali di piombo. Degni di nota erano, secondo Bonacossa, il forno Plitz per la fusione dei minerali di piombo, oltre agli ultimi procedimenti per la disargentazione dei piombi d'opera, cioè la copellazione tedesca, il pattisonaggio e lo zimaggio. Particolare attenzione destava l'impianto Keith di disargentazione per mezzo dell'elettricità (il professore nota con dispiacere che al momento il sistema non era in uso).

La sera del 19 giugno la classe si muoveva da Vienne per arrivare a Rive de Giers, dove si fermò un giorno, dopo aver visitato le due officine dei fratelli Marrel e l'officina Harbel. Rispetto in particolare alle prime, non destavano l'attenzione tanto i metodi di lavorazione, quanto le dimensioni dei pezzi lavorati: nella prima officina si producevano delle piastre di corazzatura pesanti sino a 25 tonnellate.

L'officina Marrel, costituita nel 1853, aveva installato già nel 1859 un maglio da 25 tonnellate, il più potente della sua epoca, che sostituiva i "martinetti" in uso sino a quel momento. L'attuazione di queste nuove lavorazioni, dopo l'installazione del primo esemplare di maglio nel 1841, presso la forgia di Petin e Gaudet, richiese la presenza di manodopera straniera qualificata (tedesca o inglese secondo i casi), mentre proprio l'esperienza con i "martinetti" aveva dato agli operai locali la competenza necessaria all'uso del maglio[18] . La ciminiera dell'officina Marrel, ultimata nel 1867, e unica superstite attuale di tutto il complesso, è alta 108 metri, e fu per lungo tempo la più alta d'Europa[19].

Seguono, come per ogni altra località, note sulla composizione geologica del terreno[20].

Il mattino del 21 giugno vide il gruppo arrivare a Saint-Chamond, dove si compì la visita al più grande stabilimento siderurgico della Loire, quello della "Société des hautes [sic] fourneaux, forges et acieries [sic] de la marine et

des chemins de fer", fondata nel 1854 dagli stessi fratelli Jackson, da Petin e Gaudet[21] . Arrivavano allo stabilimento materie prime e semilavorati prodotti ad Assailly, a Lorette, a Givors, nelle miniere di litantrace nella Loire e negli stabilimenti presenti in altre regioni francesi. Anche per questa attività si ha una descrizione molto più particolareggiata nella terza sezione dello scritto, come già visto per le attività presenti ad Allevard. Una prevista visita all'officina siderurgica di Horme non fu possibile per mancanza di tempo.

Nel 1849, in un laminatoio di Saint-Chamond fu realizzata per la prima volta in Francia l'unione di più parti metalliche senza saldatura. Nel 1864 le forge di Saint-Chamond fornirono le prime rotaie francesi ottenute con il metodo Bessemer, brevettato nel 1853. Sin dalle prime produzioni, il metodo, pur suscettibile di miglioramenti, diede l'impressione di poter fornire prodotti migliori rispetto all'antica operazione di puddellaggio, sia per il ferro sia per l'acciaio.

Nel 1875 a Saint-Chamond risultavano installati degli altiforni, delle officine di puddellaggio, un'acciaieria Martin ed una Bessemer; la produzione poteva raggiungere le 75 tonnellate d'acciaio al giorno. I forni Martin erano alimentati a gas ed erano forniti di radiatori Siemens; per la maggior parte erano rotatori, secondo il sistema Pernot (ingegnere della società); potevano servire tanto al puddellaggio che alla fabbricazione dell'acciaio[22]. A Saint-Chamond il metodo Bessemer fu utilizzato soltanto per gli acciai correnti (barre, ruote di vagone), essendo il metodo Martin preferito per gli altri impieghi che esigevano "un metallo morbido e suscettibile di un grande allungamento". Tuttavia la società utilizzò a lungo l'acciaio Bessemer per fabbricare i tubi e corpo di cannone in acciaio della marina, di cui all'epoca era peraltro il solo fornitore, come riporta Conturie. Nel 1878, quest'acciaio era elaborato al forno Pernot[23] .

Il giorno seguente, il viaggio della comitiva continuò per Saint-Etienne, dove il ruolino di marcia prevedeva la visita anzitutto delle miniere di Beraudière[24] e Montrambert. A questo punto Bonacossa sente doverosa una qualche nota sulle miniere carbonifere della zona: "Le frequenti installazioni di pozzi di miniere, di laverie di carbone, di forni a coke che vedevamo lungo il viaggio e specialmente in vicinanza della città in cui ci trovavamo, ci invogliavano sempre di più ad occuparci un poco di miniere. Si è potuto soddisfare a questo desiderio abbastanza bene relativamente al tempo che avevamo disponibile, grazie alla cooperazione del direttore della scuola mineraria di Saint-Etienne."[25]

Segue una descrizione delle due miniere. Elemento dominante del resoconto erano le dimensioni grandiose degli impianti, che impressionavano anche un tecnico esperto come il professore torinese: "quello del pozzo di Treuil, per la grandiosità di costruzione e per l'applicazione di tutti i mezzi e congegni dell'arte moderna al servizio di estrazione

per grandi produzioni e da grande profondità, non che per l'esaurimento acque fatto con benne."[26]

Tra le due miniere quella di maggiore rilevanza era quella di Montrambert, i cui apparati furono spesso portati ad esempio nelle esposizioni nazionali e internazionali, come quella di Parigi del 1900, nella quale si trovavano, tra gli altri[27] :

Guidage par longrines éclissées des mines de Montrambert pour compenser les effets de tassement des puits (guida per rotaie con stecche delle miniere di Montrambert per compensare gli effetti dell'assestamento dei pozzi)[28] ;

Barrières semi-automatiques pour recettes de puits d'extraction des mines de Montrambert (barriere semi-automatiche per i piani di scarico dei pozzi d'estrazione delle miniere di Montambert)[29] ;

Appareil réchauffeur d'air des mines de Montrambert et de la Béraudière (apparecchio riscaldatore d'aria delle miniere di Montrambert e della Béraudière)[30] ;

Appareil enregistreur du volume d'air circulant par seconde dans une galerie de mine (apparecchio misuratore del volume d'aria circolante per secondo in una galleria di miniera)[31] .

In particolare gli ultimi due apparecchi destano un certo interesse.

L'apparecchio riscaldatore evitava la formazione di ghiaccio all'esterno delle pareti di una miniera, formando un ambiente più vivibile per i minatori ed impedendo la rottura di condutture nel periodo invernale. Il secondo, grazie a un tubo di Pitot, consentiva la misurazione della corrente d'aria passante all'interno della galleria della miniera, permettendo il controllo del ricambio dell'aria stessa attraverso i ventilatori.

Passato il 24 giugno visitando l'installazione denominata "Barrage", distante una decina di chilometri da Saint-Etienne e utile per la derivazione dell'acqua potabile ad uso della città, in seguito la comitiva si occupò di siderurgia, con la visita all'officina del signor Barroin, sempre a Saint-Etienne, e allo stabilimento Verdiè della Société des Acieries et Forges a Firminy.

Nella prima la comitiva poté ammirare il primo convertitore Bessemer "costituito di due piccoli convertitori della capacità di non più di 3 tonnellate, […] un forno rotativo Pernot a gas per acciaio fuso, anch'esso di piccole dimensioni, e 15 e forse più forni ordinari di pudellatura con relativo treno laminatoio e magli di due tonnellate circa per la prima sbozzatura del ferro."[32]

L'altoforno di Firminy era però il pezzo forte di tutta la visita, per come lo stesso Bonacossa lo presenta: "Questo grandioso impianto è ciò che maggiormente attirò la nostra attenzione, perché veggonsi in esso riuniti e colle migliori disposizioni tutti i congegni ed apparecchi i più perfezionati dell'industria moderna per la produzione della ghisa."[33]

Anche a questo impianto è dedicata una descrizione nella terza sezione del suo scritto, ma non manca di darne i tratti essenziali già nelle stesse pagine. Analizzando le diverse descrizioni di

impianti di questo tipo appare evidente come sia dato molto risalto a certi aspetti. Anzitutto, alla fattibilità di riparazioni senza interruzione della produzione; in secondo luogo, alla possibilità di carica di materiale senza che questo abbia subito particolari operazioni termiche precedenti; infine, alla capacità degli impianti di riciclare l'energia termica di scarto (come nel caso di gas che mettono in azione forni secondari).

Il 25 giugno il carnet di viaggio prevedeva la visita dell'impianto siderurgico della Société des Fonderies et Forges di Terrenoire (la Voulte et Bessège)[34] . Anche in questo caso nella terza sezione si ha una descrizione più circostanziata dello stabilimento, rimarchevole, secondo Bonacossa, per l'utilizzo di un metodo di produzione di acciaio al silicio senza soffiature; il metodo prende il nome dalla località stessa di Terrenoire. Il processo fu spiegato al gruppo dal direttore di stabilimento, il signor Pourcel, "al quale l'industria deve l'aver reso pratico questo processo, e parecchi studi e risultati pratici sulle attuali fabbricazioni sull'acciaio fuso".[35] Le applicazioni di questo metallo erano per lo più di tipo militare, viste le caratteristiche di resistenza da esso dimostrate.

L'officina di Terrenoire fu la prima della zona a lavorare con un altoforno, nel 1822; nello stesso anno iniziarono le operazioni di puddellaggio del ferro. Il primo forno Martin-Siemens fu installato nel 1868, grazie alla presenza di un valente tecnico come Henri Ferdinand Valton, che si occupò dell'installazione. In quell'epoca, anche per la presenza di un direttore come Alexandre Pourcel, giuntovi nel 1875, lo stabilimento di Terrenoire raggiunse il massimo splendore[36] . Il signor Pourcel, come Valton, suo cognato, avrebbe abbandonato la direzione dello stabilimento di Terrenoire solo un mese dopo la visita di Bonacossa, e il complesso, privato del suo riferimento principale, sarebbe precipitato in tali difficoltà da essere chiuso nel 1888.

La sera del 25 giugno vede il trasferimento a Lione, compiuto in poche ore di viaggio.

Il pomeriggio del giorno 27 giugno il gruppo ripartiva per Torino, dove giunse a metà mattinata del 28.

Nella seconda sezione si trova qualche giudizio sui metodi di lavorazione e su quelli complementari adottati negli stabilimenti visitati. Se da un lato la grandiosità di numerosi opifici era la caratteristica che maggiormente colpisce il professore torinese, d'altro canto egli non tralascia di rimarcare qualche manchevolezza di questi impianti, concentrandosi soprattutto sui metodi di trasporto. La forza delle miniere del Sud-Est francese, secondo Bonacossa, risiedeva perlopiù nella prima lavorazione dei minerali, dove si presentano metodi all'avanguardia, sebbene alcuni ancora in fase di sperimentazione.

Quando la descrizione passa alle operazioni di metallurgia, lo spunto è buono per confrontare la situazione vista con quella italiana, non mancando di puntare il dito sulle manchevolezze di quest'ultima, e suggerendo qualche

possibile cambiamento alla portata delle industrie metallurgiche piemontesi e padane.

Il viaggio e l'attività accademica

Nel programma del corso dell'anno accademico 1883/84 di arte delle miniere e metallurgia, tenuto dal professor Alessandro Bonacossa (presentato qui di seguito), si possono notare forti parallelismi con la descrizione del viaggio d'istruzione compiuto solamente qualche mese prima.

Tutte le fasi enunciate nel programma del corso corrispondono a una parte della visita, e anche l'analisi dei costi, che vivo interesse riscuote in tutta la relazione del viaggio francese, è tenuta in considerazione. Non è dato sapere quanto il viaggio francese del giugno possa aver influito sul programma presentato nell'autunno del 1883, o quanto sia invece vero l'inverso. Quale che sia il processo prevalente, questo è un ottimo esempio di trasferimento di conoscenze tra realtà industriale e insegnamento tecnico superiore, senza soluzione di continuità tra i due ambiti, avente come fine ultimo quello di preparare gli allievi ingegneri sul campo, oltre che a livello teorico. Un modo di procedere, questo, che coniuga le esperienze tipiche delle scuole inglesi, votate alla pratica dimostrazione dei processi, con quelle dei politecnici di stampo tedesco, dove la parte teorica era preponderante e costituiva la base per ogni successiva esperienza.

[1] M. Minesso, *L'ingegnere dall'età napoleonica al fascismo*, in *Storia d'Italia – Annali, vol. 10 – I professionisti*, Torino : Einaudi, 1996, p. 273.
[2] A. Bonacossa, *Relazione del Prof. Bonacossa sul viaggio per le esercitazioni pratiche di Metallurgia e di Arte Mineraria, fatto dagli allievi Ingegneri industriali nel giugno 1883*, in Regio Museo Industriale in Torino, *Annuario per l'anno scolastico 1883-84*, Torino, Candeletti, 1884, pp. 135-399.
[3] In particolare nei *cahiers* presenti presso l'Ecole des Mines.
[4] A. Bonacossa, *Relazione del Prof. Bonacossa sul viaggio…*, cit., p. 135.
[5] *Ibidem*.
[6] *Ivi*, p. 136.
[7] *Ivi*, p. 146.
[8] L'importanza per la Francia di fine Ottocento delle att*ivi*tà in questa filiera è indubbia, se nel 1891 la classifica delle aziende con la maggiore capitalizzazione vedeva in decima posizione la Société des Mines de la Loire con 105 milioni di franchi, e in diciassettesima la Société des Houillères de Montrambert, con 75 milioni. In prima posizione svettava la Banque de France con 810 milioni, ma al quarto posto la Compagnie Générale des Eaux scendeva già a 177 milioni. Si dovrà attendere il 1936 perché nessuna società del settore estrattivo-siderurgico compaia nelle prime dieci posizioni. Vedi Pierre-Cyrille Hautcœur, *Le marché boursier et le financement des entreprises françaises (1890-1939)*, thèse de doctorat (dir. Prof. Christian de Boissieu), Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 1994, p. 50.
[9] *Ivi*, p. 155.
[10] *Ivi*, p. 136.
[11] *Ivi*, pp. 295-96.
[12] *Ivi*, p. 296.
[13] Il forno Hoffmann, brevettato nel 1858 dall'architetto berlinese Friedrich Hoffmann, rappresenta un modello di forno anulare di funzionamento abbastanza complesso. Il principio di questo forno è il focolare mobile. Il forno si fermava soltanto una volta l'anno ed era messo in funzionamento da becchi a gas per il riscalda-

mento dell'aria. Oggi, sebbene questo tipo di forno sia quasi completamente in disuso, l'alimentazione a carbone è automatizzata ed il forno può funzionare di continuo tutti i giorni dell'anno. Il primo modello di forno a forma circolare, detto anulare o circolare a focolare mobile, fu rapidamente abbandonato per una diversa forma, che favoriva una circolazione omogenea dell'aria. In questa versione era costituito da due corridoi paralleli lunghi circa 100 m, collegati tra loro alle loro estremità a formare una galleria ovale, di circa 5 m di larghezza per 3 d'altezza. Con un sistema di valvole per l'estrazione dei fumi nella parte centrale, il fuoco progrediva nel forno avanzando lentamente sempre nello stesso senso, mentre l'alimentazione del carbone avveniva dalla volta, attraverso valvole apposite. Con il fuoco al lavoro in un corridoio, nell'altro la temperatura si era abbassata, e i "briquetiers" sfornavano, cioè facevano uscire i mattoni cotti e ne inserivano altri "verdi", cioè non cotti. Una parete d'accatastamento rappresentava cinque "strati", cioè circa 3.000 pezzi.
Altri operai erano incaricati di porre d*ivi*sioni di carta Kraft in modo da bene controllare l'estrazione dei fumi evitando le correnti d'aria. Infornata e sfornatura si effettuavano in due zone separate da una trentina di metri. Mentre la zona dei mattoni cucinati seguiva il fuoco, la zona dei mattoni da cucinare lo precedeva. Per accedere facilmente all'interno del forno, erano previste aperture tutto attorno all'edificio. Quando i mattoni verdi erano caricati, queste aperture erano murate sino a dopo la cottura. Quando i mattoni erano cotti e raffreddati, i "briquetiers" rompevano la parete provvisoria di chiusura per l'operazione di sfornatura. Vedi http://www.ploegsteert.com/prp/four_hoffmann.htm, http://www.arts-et-metiers.net/magic. php?P=44&id=7&lang=fra&flash=f.

[14] Il procedimento Martin-Siemens fu adottato dalla fine degli anni '60, e godette subito della fama, peraltro meritata, di produrre acciaio di qualità sensibilmente migliore rispetto al processo Bessemer; uno dei mot*ivi* di questa differenza risiedeva nell'uso di un forno aperto, che permetteva agli operai di intervenire con correzioni in corso di lavorazione. Il forno Martin-Siemens del complesso era già celebre una decina di anni prima rispetto allo scritto di Bonacossa, se il fisico Lucien Jules Gabriel Violle, nelle sue sperimentazioni per la determinazione della temperatura del Sole, si recò sul massiccio del Monte Bianco per misurare la costante solare, e al complesso di Allevard per valutare la reazione di alcuni suoi termometri in prossimità di una fonte di calore terrestre. Nell'articolo "Sur la température du Soleil", pubblicato negli *Annales scientifiques de l'Ecole Normale Supérieure*, 2ª serie, tomo 4 (1875), pp. 363-370, Violle spiega: "Grâce à l'obligeance de M. Charrière, directeur des forges d'Allevard, et de M. l'ingénieur Pinat, j'ai pu operer sur la coulée d'acier de leur beau four Martin-Siemens".

[15] A. Bonacossa, *op. cit.,* p. 357.

[16] Vero e proprio nume tutelare della metallurgia e della geologia della regione, Emmanuel-Louis Gruner nacque l'11 maggio 1809, a Worblaufen, nei pressi di Berna. Fece domanda per un posto alla scuola mineraria di Saint-Étienne; fu assunto nel 1834. Gruner fu nominato, nel 1835, professore di chimica e di metallurgia all'Ecole des Mines. Conservò il suo corso fino a 1847, epoca nella quale fu nominato ingegnere capo a Poitiers; fu nominato, nel 1852, alla direzione dell'Ecole des Mines di Saint-Étienne; occupò questo posto fino a 1858. Successivamente fu destinato a occupare il posto di direttore all'analogo istituto parigino, che lasciò soltanto nel 1872, dopo avere svolto le funzioni d'ispettore della scuola dal 1862 al 1870. Dal 1879, anno del suo pensionamento, al 1882, si occupò della pubblicazione di una grande descrizione del bacino carboniero della Loira, cominciata fin dall'inizio della sua carriera e data alle stampe un anno soltanto prima della sua morte. Già colpito da polmonite nel 1877, lo fu ancora nel 1882 e nel 1883. Quest'ultimo attacco gli fu fatale: morì il 26 marzo 1883.
Gruner lascia una grande mole di scritti: sulla costituzione geologica del dipartimento (anche se fu soltanto nel 1859 che completò la sua descrizione geologica della Loira), sul trattamento dei minerali metalliferi auro-argentiferi, sulla disargentazione delle metalline con imbibizione;

sulla sostituzione del carbone rosso al carbone nero usato nella fabbricazione della ghisa, sull'analisi di minerali metalliferi (tra cui un silicato ferrifero che prese il nome di Grunerite), sulle proprietà caratteristiche dei combustibili minerali, sulla metallurgia del ferro e sull'analisi del processo Bessemer a quella degli altri forni. V. Arthur Jean Baptiste Lodin de Lèpinay, *Notice nécrologique sur L. E. Gruner, Inspecteur Général des Mines*, in *Annales des Mines*, 8e série vol. 13, 1888.

[17] Jean-Marie Auzias et al., *Rhône-Alpes, la naissance d'une région*, Lyon : Fédérop - Librairie nouvelle, 1983, *passim*.

[18] *Ivi*, pp. 88-89.

[19] V. Réseau Patrimoine, <http://www.reseau-patrimoine.net/>, [20/10/2005].

[20] Non si ha in questo caso riscontro diretto, ma è possibile che le notazioni di questo tipo riportate da Bonacossa facciano riferimento alle opere di Gruner *Carte géologique du département de la Loire*, Paris : Imprimèrie Impériale, 1857, e *Le bassin houiller de la Loire*, Paris : Imprimèrie Quantin, 1882. La prima opera fu soggetta a revisioni da parte dell'autore sino a tutto il corso degli anni Settanta.

[21] La ragione societaria corretta è "Compagnie des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries de la Marine et des Chemins de Fer".

[22] Vedi Bernard Lutun, *Du fer à l'acier : petite excursion du côté de l'industrie nationale (1867-1878)*, in *Marins et océans*, vol. 3, Paris : Economica, 1991, e *La Marine à l'éxposition universelle de 1878*, in 2 tomi e volume (quota alla Bibliothèque Nationale: 8° V 3164) ed atlante in 2 volumi (quota alla Bibliothèque Nationale: fo V 418), 1879, "lavoro pubblicato da ordine del ministro della marina e delle colonie".

[23] Il forno Pernot apparve nel 1873 come forno di puddellaggio, e permetteva di ottenere acciaio da ghise grigie anche senza aggiunta di residui; in questo caso la decarburazione era spinta all'estremo e la materia ricarburata tramite un'aggiunta di *spiegeleisen* (lega di ferro-manganese), come nel convertitore Bessemer. Il forno è costituito da una base a forma di bacino, mobile attorno ad un asse inclinato. Le correnti d'aria e di gas caldi, che provengono da ricuperatori Siemens e da gazogeni, arrivano normalmente alla superficie del bagno formando la volta, che può durare molti mesi. Il forno, riscaldato preventivamente, riceve la ghisa, quindi i residui. Lo strato di metallo che è immediatamente in contatto con la base emerge sempre dal lato ascendente, ed immerge dalla parte del discendente; allo stesso tempo lo strato emergente è sostituito da nuovo metallo che viene dagli strati superiori. Si ottiene così una mescolanza automatica e regolare di tutto il bagno, una lega dei metalli messi sulla base ed una decarburazione rapida. E' l'alta temperatura sviluppata e la buona ripartizione del calore in tutta la massa che hanno permesso di convertire la ghisa grigia in acciaio, senza aggiunta di residui. Vedi Vedi Bernard Lutun, *Du fer à l'acier: petite excursion du côté de l'industrie nationale (1867-1878)*, in *Marins et océans*, vol. 3, Paris : Economica, 1991.

[24] Altra forma del toponimo (occorre ad es. nei *Rapports du jury international de l'éxposition universelle de 1900*, di cui sotto) è "Béraudière".

[25] A. Bonacossa, *op. cit.,* p. 162.

[26] *Ivi,* p. 163.

[27] Gli apparati descritti sono citati nei *Rapports du jury international de l'éxposition universelle de 1900*, Groupe XI. – Mines et Métallurgie, Troisième partie. – Classe 63 (Tome III), Paris : Imprimerie Nationale, 1904.

[28] *Ivi*, p. 139.

[29] *Ivi*, p. 259.

[30] *Ivi*, p. 319.

[31] *Ivi*, p. 332.

[32] A. Bonacossa, *op. cit.,*pp. 167-68.

[33] *Ivi*, p. 168-69.

[34] « Bulletin de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole des Mines de Paris », Juin 1912.

[35] A. Bonacossa, *op. cit.*, p. 164, G. Magniny, *Un grande métallurgiste : Alexandre Pourcel*, Saint-Etienne : Bulletin de la Société amicale des anciens élèves de l'Ecole des mines de Saint-Etienne, 1925.

Raffaella Gobbo

Gli archivi del Politecnico di Milano, fonti per la storia dell'ingegneria fra Ottocento e Novecento

Da alcuni decenni la storia della scienza e della tecnica è sempre più al centro dell'attenzione storiografica mentre si moltiplicano, nelle facoltà umanistiche come in quelle scientifiche, le cattedre dedicate a questa disciplina. Sempre più si affermano, di conseguenza, la "scoperta" e l'interesse per gli archivi scientifici. Fra i precedenti illustri va ricordato il convegno internazionale di studi, promosso dal Ministero per i beni culturali, intitolato proprio *Gli archivi per la storia della scienza e della tecnica*[1] che dal 4 all'8 giugno 1991 ha raccolto attorno a questo tema archivisti, scienziati, ingegneri, storici, docenti. Da quel momento si sono susseguite numerose altre iniziative di censimento di archivi scientifici conservati da accademie e istituzioni scientifiche, istituti di istruzione secondaria, biblioteche, università.

Dal canto loro, anche le *Settimane della cultura scientifica e tecnologica*, giunte nello scorso 2005 alla loro XV edizione, hanno spesso favorito la conoscenza di questa tipologia di archivi; per limitarci all'oggetto di questo intervento, si pensi alla mostre *Per ricordare e conoscere: dai laboratori e dagli archivi del Politecnico* e *Galileo Ferraris e l'AEI. Uomini e sodalizi della scienza elettrica,* allestite al Politecnico rispettivamente nel 1996 e 1997[2].

Della storia della scienza e della tecnica fa naturalmente parte a pieno titolo anche la storia dell'ingegneria; quest'ultima può, a sua volta, essere "disegnata" attraverso la scomposizione in una molteplicità di aree tematiche: essa può essere interpretata come *storia della scienza applicata*, come *storia di quella formazione superiore* che ha l'ingegneria al centro della propria missione didattica, come *storia dell'industria* che l'ingegneria ha supportato, o come *storia dell'attività professionale degli ingegneri*. Sono queste le chiavi di lettura alle quali, in questo saggio, si cercherà di abbinare le relative fonti archivistiche conservate presso il Politecnico.

Il decennio 1860-70, in cui si colloca la nascita dell'Istituto Tecnico Superiore di Milano[3], è il periodo in cui, portata a compimento l'Unità politica del Paese, prende avvio anche in Italia il processo di industrializzazione che si affermerà in modo sempre più consistente durante l'età giolittiana, mentre, con l'espansione delle funzioni dello Stato, gli ingegneri divengono parte della amministrazione pubblica dell'Italia che si sta centralizzando e burocratizzando.

Il Politecnico di Milano fu inaugurato dal suo primo direttore, il matematico Francesco Brioschi[4], il 29 novembre 1863[5]. Esso nacque come scuola di

applicazione per ingegneri, triennale, con due sezioni distinte, per ingegneri civili e per ingegneri meccanici; nel 1865 fu istituita la scuola di applicazione per architetti civili, e tre anni dopo la sezione per ingegneri meccanici fu trasformata in sezione per ingegneri industriali. Nel 1875 fu istituito il biennio preparatorio propedeutico che fu comune ad allievi ingegneri e allievi architetti fino al 1903, anno nel quale si ebbero due distinti bienni. Nel 1899 fu creata una sottosezione per ingegneri chimici. Tra gli anni Ottanta e la prima guerra mondiale, grazie a donazioni e sovvenzioni di industriali e imprenditori, sorsero numerose scuole, laboratori e stazioni sperimentali: nel 1887 nacque la Istituzione elettrotecnica Carlo Erba[6] finanziata dall'in-dustriale chimico al cui nome fu intitolata; nel 1897 vari enti, fra cui l'Associazione dei fabbricanti di carta e l'Associazione fra gli industriali cotonieri, concorsero alla costituzione della Scuola laboratorio per l'industria della carta e lo studio delle fibre tessili (dal 1909 R. Stazione sperimentale per l'industria della carta e lo studio delle fibre tessili); nel 1904 sorse, su iniziativa di un gruppo di industriali saponieri, la Scuola per l'industria delle materie grasse ed affini.

Al 1932 risale l'istituzione di una specifica *Facoltà di Architettura* distinta da quella di ingegneria e si deve a una legge del 1960 il radicale rinnovamento che ha moltiplicato le lauree introducendo, al posto delle precedenti due sezioni (civile e industriale), con le tre sottosezioni di quella industriale (meccanica, chimica, elettrotecnica), ben sette diverse lauree in ingegneria: aeronautica, chimica, civile sezione edile, idraulica e trasporti, elettronica, elettrotecnica, meccanica, nucleare. Dal 1982 sono state attivate anche le lauree in ingegneria civile per la difesa del suolo e la pianificazione territoriale, e in ingegneria delle tecnologie industriali a indirizzo economico-organizzativo, ciascuna con diversi indirizzi. Nello stesso anno gli istituti sono arrivati gradualmente alla costituzione in *Dipartimenti*, la sperimentazione organizzativa raccomandata dal DPR 382/1980. Nel 1982 erano stati formalmente istituiti 14 dipartimenti, mentre permanevano ancora 7 istituti. Attualmente al Politecnico sono operanti 6 facoltà di ingegneria[7], per un totale di 20 corsi di laurea, 2 facoltà di architettura e una facoltà di design.

Nella evoluzione delle cattedre, nella creazione di nuovi istituti, nella lettura dei programmi e degli ordinamenti è possibile avanzare una lettura della storia dell'ingegneria come storia dei processi formativi che hanno accompagnato e assecondato – quando non anticipato – il progresso tecnologico e industriale in corso e la modernizzazione dell'Italia. Storia e progresso passano, al Politecnico, anche attraverso la nascita nel 1957 del CESNEF (*Centro di studi nucleari Enrico Fermi*) o, in tempi più recenti, attraverso "nuove frontiere" quali l'ingegneria gestionale, che dal 1990 impegna questi "tecnici superiori" sui temi dell'economia, del management, della progettazione e gestione dei sistemi produttivi, o l'ingegneria

biomedica che, all'interno di un Dipartimento nato nel 1995, mette al servizio della medicina le competenze riconducibili all'ingegneria elettronica e meccanica, o l'ingegneria dei materiali.

Di molti di questi fatti sono autorevoli testimoni gli archivi del Politecnico, che sono stati oggetto negli anni scorsi di un censimento nell'ambito del più generale progetto ministeriale *Studium 2000*[8].

L'*archivio centrale del Politecnico*, che fino al 1982 concentrava sia le carte dell'amministrazione centrale sia quelle dei dipartimenti[9] contava, alla data del censimento, circa 13.000 tra faldoni, registri, volumi, unità archivistiche diverse. Si tratta indubbiamente di un archivio molto ricco, con carte che risalgono all'origine dell'Ateneo, ma tra le vicende del Politecnico che possono avere avuto influenza sulla conservazione delle carte (sia dell'archivio centrale sia dei dipartimenti) sono da indicare i trasferimenti attraverso tre sedi che esso ha subíto; gli spostamenti in nuovi *campus*; i traslochi che hanno interessato diversi Dipartimenti e che possono essere stati "scuse ragionevoli" per sbarazzarsi di "vecchie carte polverose" che occupano vanamente spazi sempre più ambiti e sempre meno disponibili.

Le carte dell'archivio centrale riguardano il funzionamento degli organi accademici e di tutte le strutture dell'Ateneo, comprese le fondazioni[10]; l'attività didattica; le carriere del personale e quelle degli allievi; progetti e contratti di ricerca; i rapporti con altri atenei o istituti di ricerca, fino alle recenti convenzioni quadro stipulate con enti come AEM, Assimpredil, Esem, Euratom, Enea, Cise, Regione Lombardia, Università Cattolica del Sacro Cuore di Milano, Università Bocconi ecc.

Gli *archivi dipartimentali* conservano documentazione che può essere schematicamente divisa in alcune grandi partizioni: documentazione amministrativa e contabile; inerente il funzionamento e gli organi interni del Dipartimento; sull'attività didattica e scientifica del Dipartimento[11].

Tra le fonti meno "scontate" dell'archivio centrale spicca una preziosa raccolta di foto di gruppo di laureati, ora riprodotta in un volume assieme a 84 schede biografiche di ex allievi del Politecnico e all'elenco nominativo di circa 10.000 laureati[12] che, accostata alla serie di registri degli studenti che data dalla nascita del Politecnico e ai fascicoli personali degli stessi può offrirsi come efficace strumento di analisi sociologica e prosopografica applicata a una categoria professionale come quella degli ingegneri.

Altri fondi fotografici si trovano al Dipartimento di ingegneria aeronautica: il fondo fotografico intestato al "Rapporto Bonomi" che raccoglie fotografie degli alianti di tutto il mondo degli anni '30 mentre il Fondo Fotografico "Gianfranco Rotondi" comprende 12.000 fotografie di aerei e miscellanee di materiale divulgativo e pubblicitario dagli anni Cinquanta agli anni Ottanta. Al Dipartimento di ingegneria nucleare si trova la documentazione fotografica della storia del primo reattore utilizzato

in Italia per scopi scientifici, che giunse al Politecnico di Milano nel secondo trimestre del 1958 e divenne operante a partire dal novembre 1959. Presso il Dipartimento di fisica è conservata una bella raccolta di fotografie degli anni Cinquanta e Sessanta che ne illustrano la storia.

Importante anche l'archivio dell'ex Centro di cinematografia scientifica (ora presso il Servizio Storia d'Ateneo) che comprende oltre 550 filmati di natura scientifica e didattica e una ricca collezione di documentari riguardanti attività artigianali, arti e mestieri, lavorazioni proto-industriali e industriali che datano dagli anni Trenta; l'archivio audiovisivo[13] è attualmente oggetto di un progetto di recupero e messa in rete che prevede anche il riversamento in formati digitali dei vecchi formati audiovisivi.

La storia della ricerca applicata in Italia nel '900 non può prescindere dalla storia del Consiglio Nazionale delle ricerche al quale, fin dall'origine, nel 1923, fu assegnato il compito della formazione, la promozione e il coordinamento della ricerca in tutti i settori scientifici e tecnologici[14]. Fonti per la storia e per il radicamento del C.N.R. nelle istituzioni formative milanesi possono venire anche dagli archivi del Politecnico, dove erano, e sono tuttora attivi, numerosi dei suoi centri di ricerca. Qui, infatti, rimangono, quali tracce significative, contratti di ricerca, richieste di finanziamento, rendicontazioni amministrative e scientifiche sulle attività condotte. Tra i centri del C.N.R. aperti presso il Politecnico di Milano si possono citare, a titolo esemplificativo, il *Centro lombardo di ricerche idrauliche* aperto nel 1934 presso l'Istituto di ingegneria idraulica, infrastrutture, e rilevamento (ora DIIAR); il *Centro per lo studio delle cause di deperimento e dei metodi di conservazione delle opere d'arte "Gino Bozza"*, il *Centro di studio di elettronica quantistica e strumentazione elettronica,* aperti presso il Dipartimento di fisica, il *CNPM*, *Centro di studio per ricerche sulla propulsione e sull'energetica*, aperto originariamente presso il Dipartimento di fisica e ora attivo presso quello di energetica. Presso l'Istituto di Chimica ebbero sede la sezione II del Centro di chimica industriale e il Centro per la chimica delle sostanze organiche naturali. Altro materiale documentario risalente ai primi rapporti tra Politecnico e C.N.R. degli anni 1938-86 si trova in alcune buste dell'archivio centrale.

I rapporti tra formazione superiore e mondo industriale, che rappresentano un fertile campo d'indagine per la storia dell'ingegneria, trovano ampi riscontri nelle fonti documentarie del Politecnico. Adottando questa chiave di lettura si può cominciare richiamando l'importanza dei molti laboratori e delle scuole di perfezionamento aperti presso diversi istituti e finanziati dall'industria privata; ne sono esempi la *Scuola di perfezionamento in siderurgia* e il *Corso di perfezionamento in elettrochimica per laureati* finanziati dalla Fondazione Falck e dalla Fondazione Vanzetti e costituiti nel 1935 all'interno dell'Istituto di chimica fisica, dove

sono ancor oggi conservate le relative carte; il *Corso di specializzazione per le costruzioni in cemento armato "F.lli Pesenti"*, nato nel 1928 con il contributo della società Italcementi, e della famiglia Pesenti che ne era proprietaria, dal 1930 annesso come corso di specializzazione all'Istituto di ingegneria strutturale, presso cui le carte rimasero depositate fino a tempi recenti[15]. Al DIIAR (Dipartimento di ingegneria idraulica, infrastrutture, ambientale e rileva-mento) faceva invece capo il *Centro di addestramento e studi fotogrammetrici* nato dalla liberalità delle Officine Galileo e della OMI (Ottico Meccanica Italiana). La sezione di Topografia dello stesso Dipartimento conservava anche carte della SIFET (Società italiana di fotogrammetria) e della SITE (Società italiana telerilevamento), il cui tramite con il Politecnico era rappresentato da due docenti dello stesso dipartimento, Gino Cassinis (1885-1964) – rettore del Politecnico di Milano, sindaco di Milano, presidente dell'Accademia dei Lincei, della Commissione Geodetica Italiana, dell'Associazione Geodetica Internazionale, della Società internazionale di fotogrammetria – e Mariano Cunietti (1921-97), docente e direttore dell'Istituto di topografia, fotogrammetria e geofisica. Presso lo stesso dipartimento si trovavano anche il fondo Cassinis con un importante carteggio degli anni 1929-35 relativo alla Commissione Geodetica Italiana e al Comitato nazionale geodetico e geofisico del C.N.R. e il fondo Cunietti, con carte relative a collaborazioni e consulenze del docente per regioni, province, comuni, catasto, Cassa per il Mezzogiorno, Istituto geografico militare[16].

A questo "capitolo" dei rapporti università/industria possono essere ascritti anche gli archivi delle *prove conto terzi* (su materiali, strumenti, o come attività di certificazione) che hanno da sempre costituito una importante attività per il Politecnico e che permettono di seguire diacronicamente le esigenze del mondo industriale, le tendenze all'innovazione e le risposte fornite dai centri di ricerca. Nell'archivio prove del Dipartimento di elettrotecnica le richieste su apparecchiature, macchine, strumenti (provenienti da amministrazioni pubbliche e ditte quali Pirelli, Ercole Marelli, Edison, Associazione cotonieri, Ufficio tecnico di finanza) sono registrate in una serie di più di 300 unità tra registri, buste, scatole, che coprono un arco cronologico che va dal 1900 agli anni Novanta. L'archivio prove del Dipartimento di ingegneria strutturale data dal 1926 ed è composto di circa 2.000 buste di prove strutturali su ponti, strade, autostrade, edifici, ecc. Anche il Dipartimento di ingegneria nucleare ha un archivio delle prove conto terzi e del servizio di dosimetria che è perfettamente ordinato e dotato di una propria specifica catalogazione interna.

Archivio più strettamente "industriale" è il Fondo della ditta Nardi Costruzioni aeronautiche s.p.a., conservato presso il Dipartimento di ingegneria aerospaziale[17] e composto di lastre fotografiche e manuali dei prodotti, re-

gistri prove, giornali, matrici. Qui si trova anche l'archivio del Centro di Volo a Vela (CVV)[18], pionieristico centro aeronautico italiano, che comprende 24 buste di corrispondenza, disegni, fotografie tra il 1924 e il 1947.

Nella storia dei rapporti tra università e industria esemplare è l'archivio di Giulio Natta (1903-79)[19], conservato presso il Dipartimento di chimica dove egli insegnava e dove erano in corso le ricerche, in collaborazione con la Montecatini, che condussero alla scoperta, nel 1954, della polimerizzazione stereo specifica. La scoperta del "polipropilene stereoregolare", definito da Natta "isotattico", ebbe una enorme rilevanza nella produzione di fibre sintetiche e le sue ricadute industriali meritarono nel 1963 a Natta il premio Nobel per la chimica. L'archivio consta di più di 100 buste a cui si aggiungono la raccolta delle pubblicazioni e dei brevetti di Natta. Esso copre un arco cronologico che va dagli inizi degli anni Cinquanta agli anni Settanta e comprende carteggi, contratti, relazioni scientifico-tecniche e alcuni fascicoli prodotti nel corso dell'attività scientifica svolta presso il Politecnico nonché carte sui corsi di perfezionamento Montecatini organizzati presso il Politecnico per 12-15 laureati in chimica da formare nel settore della petrolchimica attraverso un anno di ricerca sperimentale e lezioni teoriche tenute da docenti del Politecnico e da tecnici dell'industria e cui furono indirizzati, dopo il 1954, anche numerosi dipendenti della stessa Montecatini.

Seguire la storia dell'ingegneria tra '800 e '900 vuol dire, tra le altre cose, assistere al mutamento del ruolo dell'ingegnere come figura professionale che passa a una progressiva specializzazione e contemporaneamente a un allargamento e a una diversificazione delle sue attribuzioni: dalla quasi esclusiva funzione di ingegnere civile e agronomo a ingegnere industriale, a funzionario della pubblica amministrazione, a manager di aziende municipalizzate e pubbliche, a interprete e protagonista della progressiva industrializzazione e modernizzazione del Paese[20]. A questa lettura della storia dell'ingegneria come storia della libera professione dell'ingegnere si prestano, in particolare, due importanti archivi privati conservati presso il Servizio storia d'Ateneo[21]: quello del celebre grande scienziato piemontese Galileo Ferraris[22] (1847-1897), scopritore del campo magnetico rotante, e quello dell'ingegnere Alessandro Panzarasa.

L'archivio Ferraris, di singolare interesse per la storia della scienza e per la storia della tecnica raccoglie[23]: carte e documenti personali; numerosi carteggi con importanti personaggi del tempo; materiale documentario relativo alla attività didattica che Ferraris svolse fin dall'indomani della laurea, nel 1869, prima come assistente e poi, dal 1877, come successore di Giovanni Codazza alla cattedra di fisica tecnologica del Museo industriale di Torino e presso il quale, nel 1886, istituì la Scuola di elettrotecnica per gli ingegneri nella quale insegnò fino alla morte; carte delle

attività di studio e di ricerca condotte prima nei campi dell'ottica geometrica, dela elettrologia e della tecnologia del calore e successivamente, dopo l'esposizione di Parigi del 1881, concentrate sull'elettrotecnica e sullo studio dei trasformatori, e che lo condussero, nel 1885, alla fondamentale scoperta del campo magnetico rotante. Si noti, tuttavia, come la parte numericamente più consistente di fascicoli dell'archivio Ferraris si trovi nella sezione *Pareri, relazioni, perizie* con la documentazione relativa all'attività professionale dello scienziato: le perizie sui mulini, condotte su incarico ministeriale nel corso degli anni '70 per l'applicazione della tassa sul macinato; la partecipazione a collegi arbitrali chiamati a dirimere controversie legate al malfunzionamento di motori o impianti elettrici o alla difesa di privative industriali; le consulenze e i pareri rilasciati a amministrazioni comunali di tutta Italia (da Trieste a Siracusa, da Aosta a Foligno, da Genova a Lugo) interessate ad adottare il nuovo sistema di illuminazione elettrica che si stava affermando, basato sulla trasmissione a distanza dell'energia, che proprio le sue scoperte avevano reso più facilmente attuabile.

Altro archivio privato è quello dell'ingegnere elettrico Alessandro Panzarasa (1866-1960), antesignano degli impianti idroelettrici di pompaggio. Dopo aver frequentato i due anni preparatori all'Università di Pavia Panzarasa seguì al Politecnico di Milano nel 1887 il primo corso applicativo per ingegneri industriali, allievo diretto di Giuseppe Colombo e Ettore Paladini, e nel 1891-92 i corsi del professor Weber presso il Politecnico di Zurigo. Nelle circa 30 buste che abbracciano il periodo 1854-1957 si trovano molti materiali relativi alle attività di consulenza tecnica svolte come "ingegnere elettricista consulente" per progetti di impianti elettrici (Ponale, Rovereto, Modena, Mortara, Trento, Como, Tripoli), ferrovie e tramvie elettriche (la ferrovia Trento-Malè, e quella monofase della Valle Brembana, la tramvia elettrica di Cantù) nonché per collaudi (ad esempio quello sull'impianto elettrico dell'Ospedale maggiore di Vercelli). In una interessante raccolta di studi, originariamente organizzati dallo stesso Panzarasa in categorie come *Macchinario idraulico*, *Macchinario termico*, *Macchinario elettrico*, *Trasporto e distribuzione*, *Trazione*, *Misure*, *Idraulica*, è inoltre possibile trovare una esemplificazione del costante aggiornamento professionale richiesto a un ingegnere.

Una emblematica sintesi di molte delle declinazioni in cui si è voluta articolare, in queste pagine, la storia dell'ingegneria si può trovare nell'archivio di Ercole Bottani conservato presso il Servizio storia d'Ateneo[24]. Bottani (1897-1978) laureatosi in ingegneria industriale (sezione elettrotecnica) al Politecnico di Milano qui rimase prima come assistente di Angelo Barbagelata poi, dal 1929, come docente presso la Scuola di perfezionamento per ingegneri elettricisti dell'Istituzione elettrotecnica "Carlo Erba"; nel tempo, assunse le cattedre di tecnologie elettriche, misu-

re elettriche, elettrotecnica (di cui avviò pionieristicamente al Politecnico l'insegna-mento), campi elettromagnetici e circuiti, nonché la direzione dell'Istituto di elettrotecnica e del Centro calcoli numerici – primo centro di calcolo elettronico in Europa aperto anche alle industrie, che aveva contribuito a fondare, nel 1955, assieme al rettore, Gino Cassinis. Nel 1956 istituì il CESI, Centro Elettrotecnico Sperimentale "Giacinto Motta" di cui rimase presidente fino alla morte. Bottani fu inoltre impegnato in istituti e enti di ricerca industriale (CEI, CESI, AEI, CNR, ecc.) e fu in contatto con numerose aziende costruttrici di impianti e centrali (Acciaierie Falck, Ercole Marelli, Franco Tosi, Pirelli, Magneti Marelli, Montecatini). Le carte dell'archivio Bottani ne documentano l'attività didattica al Politecnico e all'Università di Milano; l'attività di ricerca scientifica e industriale condotta come commissario per l'energia elettrica dal 1945 al 1969, come membro di commissioni di studio della Associazione nazionale imprese distributrici di energia elettrica dal 1932 al 1963, della Commissione per lo studio della riforma dell'IRI, nel 1953, e in numerosi istituti e commissioni di ricerca e di normazione (UNEL, UNI, Istituto marchio di qualità); l'attività professionale consacrata dalla nomina a presidente dell'Ordine degli ingegneri della provincia di Milano nel 1961-63 e condotta anche in qualità di presidente della Siemens o della Società nazionale delle Officine di Savigliano; l'attività di amministratore comunale, nella Milano della Ricostruzione, come assessore alla edilizia dal 1946 al 1956; l'attività di consulente in cause e ver-tenze diverse. Tra gli esempi di nuclei documentari particolarmente significativi vi sono carte della Edison (1934-64) con fascicoli sull'attività del Comitato tecnico consultivo; relazioni tecniche, studi e progetti di centrali e impianti pubblici e privati in stabilimenti industriali (impianti di Santa Massenza, Vizzola, Turbigo, Tavazzano, dighe di Lucendro e Lago Sella); carteggi con tecnici di diverse aziende; carte dal 1958 al 1978 sulla nazionalizzazione dell'industria elettrica e l'attività dell'Enel; relazioni sul nuovo piano regolatore di Milano (1945-53) e sul nuovo regolamento edilizio (1955-56).

Importanti anche le carte relative alla Metropolitana milanese, di cui Bottani fu fondatore e presidente dal 1956 al 1961 e di cui sono conservati atto costitutivo, Statuto, bilanci, relazioni, planimetrie, progetti, fotografie.

Dolorosamente significativi i tre fascicoli relativi al disastro del Vajont, del 9 ottobre 1963 contenenti gli atti dell'inchiesta giudiziaria e carte relative alle difese di Dino Tonini e Roberto Marin. I numerosi carteggi con corrispondenti (tra i quali Annoni, Barbagelata, Bonomo, Cassinis, Casci, Chiodi, Conti, Danusso, Jervis, Molteni, Motta, Ponti, Pizzardi, Portaluppi) consentono anche di ricostruire il momento storico in cui i fatti oggetto delle missive si sono svolti e di contestualizzare così i relativi avvenimenti. Come hanno cercato di dimostrare gli esempi

qui sopra illustrati, gli archivi della scienza e della tecnica, nella loro concreta e tangibile materialità, possono contenere sia le carte prodotte nei processi di "astrazione" impliciti nei grandi sistemi teorici propri della scienza, sia quelle che danno prova del pragmatismo e delle realizzazioni della tecnica. Tanto più assolvono a questa duplice funzione le carte degli ingegneri, rappresentanti eletti della scienza applicata.

[1] *Gli archivi per la storia della scienza e della tecnica. Atti del convegno internazionale, Desenzano sul Garda, 4-8 giugno 1991*, Roma, Ministero per i beni culturali e ambientali, Ufficio centrale per i beni archivistici, 1995.

[2] *Per ricordare e conoscere: dai laboratori e dagli archivi del Politecnico*, a cura di A. Silvestri, Milano, All'insegna del pesce d'oro di Vanni Scheiwiller, 1997; *Galileo Ferraris e l'AEI. Uomini e sodalizi della scienza elettrica. Atti del Convegno e catalogo della Mostra Milano-Livorno Ferraris, marzo-maggio 1997*, a cura di A. Silvestri, Milano, All'insegna del pesce d'oro di Vanni Scheiwiller, 1998.

[3] Il Politecnico di Milano, previsto dalla legge Casati del 1859, nacque nel 1863 con la denominazione di *Regio Istituto Tecnico Superiore*; con la legge Gentile del 1923 esso assunse il nome di *Regia Scuola di ingegneria di Milano*, e poi, nel 1935-37, secondo il dettato della legge De Vecchi, di *Regio Istituto Superiore d'ingegneria di Milano*. L'attuale denominazione di *Politecnico di Milano* fu assunta soltanto nel 1937 e da allora si conservò invariata, perdendo soltanto l'aggettivo *Regio*. Nel testo si è scelto di adottare, indipendentemente dal periodo considerato, il termine "Politecnico di Milano".

[4] Francesco Brioschi (1824-97) illustre matematico e idraulico, fondatore, primo direttore e docente del Politecnico, è stato al centro di una mostra organizzata dal Politecnico nel 1997 in occasione del centenario della morte. Gli atti del convegno, il catalogo della mostra, l'inventario dell'archivio, conservato presso la Biblioteca Centrale di Ingegneria del Politecnico, sono pubblicati in: *Francesco Brioschi e il suo tempo (1824-1897)*, I, *Saggi*, a cura di C. G. Lacaita e A. Silvestri; II *Inventari*, a cura di C. Brunati, D. Franchetti, P. Papagna e P. Pozzi; III, *Scritti e discorsi*, a cura di C. G. Lacaita, Milano, FrancoAngeli, 2002-2003.

[5] F. Lori, *Storia del R. Politecnico di Milano*, Milano, Tip. A. Cordani, 1941; *Il Centenario del Politecnico di Milano 1863-1963*, a cura di G. Bozza e I. Bassi, Milano 1964; *Il Politecnico di Milano 1863-1914. Una scuola nella formazione della società industriale*, Milano, Electa, 1981.

[6] Questa istituzione, dovuta alla munificenza dell'industriale Carlo Erba è alle origini dell'attuale Dipartimento di elettrotecnica del Politecnico, uno dei più longevi e dei più ricchi dal punto di vista archivistico.

[7] Le facoltà di ingegneria sono: ingegneria civile, ambientale e territoriale; ingegneria dei processi industriali, ingegneria dell'informazione, ingegneria industriale, ingegneria edile/architettura, ingegneria dei sistemi. Le facoltà di architettura: architettura e società; architettura civile.

[8] *Studium 2000* è stato avviato nel 1999 dalla Direzione generale per gli archivi in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova, ed è coordinato dalle Soprintendenze archivistiche regionali; si propone di descrivere gli archivi di tutti gli atenei e istituti di istruzione universitaria italiani. I risultati di questo censimento sono già stati oggetto di un *1° Rapporto sugli archivi delle università italiane* pubblicato nel 2002 dall'Università di Padova e sono già stati visibili in rete nel sito del Ministero dei beni culturali, Direzione generale degli archivi, servizio III [http://archivi.beniculturali.it/divisione_III/siusa/html].

[9] Dopo la riforma dell'istruzione superiore sancita dal d.p.r. 382/1980 che diede il via alla sostituzione dei precedenti "Istituti" con i "Dipartimenti" e assegnò loro autonomia gestionale è

stata demandata agli stessi dipartimenti la conservazione delle carte della loro gestione.

[10] Fondazioni Falck, Vanzetti, Paoli, Motta, Lerici, Bonomi, Malfatti, Mayr, per citarne alcune.

[11] Si deve tuttavia rilevare che in genere gli archivi sopra descritti non sono ancora stati riordinati e non dispongono di strumenti di consultazione. Più "fortunata" è la situazione degli archivi di architettura, che il Politecnico conserva in larga misura e per i quali si rimanda a www.biblio.polimi.it/biblioteche/. Su una panoramica complessiva degli archivi di architettura in Lombardia, comprendente anche quelli conservati presso il Politecnico, si veda: *Censimento delle fonti. Gli archivi di architettura in Lombardia*, a cura di G. Leyla Ciagà, Milano, Comune di Milano – CASVA, 2004.

[12] Su questa raccolta di 60 fotografie, arricchita anche da un'ampia rassegna bio-bibliografica di un centinaio di laureati "illustri" e dall'elenco nominativo dei circa diecimila laureati del periodo cfr. *Foto di gruppo 1865-1939*, a cura di A. Silvestri e A. Galbani, Milano, Politecnico, 2005. Un tentativo "monografico" in questo senso è già stato condotto su un campione molto particolare di ingegneri, quelli femminili, e ha dato luogo alla mostra e al volume *Donne Politecniche. Atti del convegno e catalogo della mostra*, a cura di A. Galbani, Milano, Libri Scheiwiller, 2001.

[13] Centro di cinematografia scientifica ed audiovisivi, Politecnico di Milano, *Catalogo della cineteca e videoteca scientifica "Ottorino Sesini"*, redazione a cura di A. Berbenni, Milano, Politecnico, 1997.

[14] Sull'archivio del C.N.R. si veda: G. Fioravanti, *L'archivio del CNR presso l'Archivio centrale dello Stato*, in *Gli archivi per la storia della scienza e della tecnica*, cit., pp. 307-328.

[15] In seguito a una recente ristrutturazione di alcuni locali del Dipartimento alcune carte dell'archivio sono state depositate presso il Servizio Storia d'Ateneo.

[16] Entrambi i fondi, Cassinis e Cunietti, sono attualmente depositati presso un centro di conservazione del Politecnico gestito dal Servizio Storia d'Ateneo.

[17] Allo stesso dipartimento afferiscono anche l'archivio di Cesare Dal Fabbro (1870-1941), tenente del Genio, tra i primi in Italia ad occuparsi di aeronautica e ad impartire il relativo insegnamento al Politecnico, costruttore di aerostati, dirigibili e idroplani, anche in collaborazione con Enrico Forlanini (altro personaggio di cui il Politecnico conserva alcune carte presso la Biblioteca centrale di Ingegneria).

[18] R. Politecnico di Milano, *Centro Studi ed Esperienze per il Volo a Vela "Liberato De Amici", 1935-1939*, [Milano], s.n.t.

[19] Dipartimento di Chimica Industriale e Ingegneria Chimica "Giulio Natta", *Giulio Natta. L'uomo e lo scienziato. Documenti e immagini*, Milano, 1998; Accademia nazionale dei Lincei, Fondazione "Guido Donegani", *Convegno nel centenario della nascita di Giulio Natta (Roma, 12-13 marzo 2003)*, Roma, Accademia nazionale dei Lincei, 2004.

[20] Sul ruolo degli ingegneri si veda *Gli ingegneri in Italia tra '800 e '900*, a cura di A. Giuntini e M. Minesso, Milano, FrancoAngeli, 1999.

[21] Il Servizio Storia d'Ateneo, nato negli anni Novanta come Cesa, Centro per la storia d'Ateneo e coordinato dal professor Andrea Silvestri, ha tra i propri obiettivi l'allargamento della visibilità degli archivi del Politecnico, per promuovere, attraverso la documentazione della loro esistenza, ma anche attraverso riordini e inventariazioni, un'opera di sensibilizzazione sulla loro importanza e sulla necessità della loro salvaguardia.

[22] Su questo grande scienziato piemontese la bibliografia è molto ampia; si rimanda pertanto a una bibliografia di prossima pubblicazione sulla rivista "Physis".

[23] Su questo archivio cfr. R. Gobbo, *L'archivio di Galileo Ferraris*, in "Rassegna degli Archivi di Stato", nuova serie, I (2005), n. 1-2, pp. 9-169. Sulla corrispondenza di Ferraris si veda *L'archivio Galileo Ferraris. I. Corrispondenza. Inventario*, a cura di R. Gobbo, A. Silvestri, Vercelli, Tipografia Gallo, 1997.

[24] Una parte del Carteggio Bottani, complessivamente 6 buste di corrispondenza, manoscritti, dattiloscritti dal 1921 al 1973, è conservata presso la Biblioteca Centrale della Facoltà di Ingegneria. L'archivio Bottani, che comprende circa 500 buste, è descritto in *Archivio Ercole Bottani. Inventario*, a cura di CaeB, 5 voll., Milano, 2002.

Annalisa Dameri

La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino: didattica e sperimentazione fra Otto e Novecento

La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino (istituita nel 1859 e divenuta nel 1906 Regio Politecnico) fonda i propri prgrammi didattici sulle esperienze dei politecnici tedeschi e delle Ecole francesi. Già nella seconda metà dell'Ottocento l'offerta didattica si trova a dover rispondere alle nuove esigenze maturate nel settore idraulico, edilizio, industriale. I programmi e, conseguentemente, gli spazi in cui la ricerca, la sperimentazione e la didattica vengono svolte in stretta correlazione si piegano alle nuove necessità: da una parte laboratori e aule devono essere costruiti per accogliere un sempre maggior numero di studenti provenienti da tutta Italia attratti da programmi innovativi e dalla certezza di poter ricevere una preparazione competitiva e aggiornata. Parallelamente i docenti si impegnano a modificare costantemente i curricula universitari in base alle sempre più diversificate esigenze e ai nuovi ritrovati della tecnica. Le specializzazioni all'interno della Regia Scuola torinese sono molte e spaziano dall'idraulica, alla chimica, alla geologia, all'edilizia e, in secondo momento, all'aeronautica. Se nei primi anni della sua istituzione gli esperiementi idraulici, alla base della formazione di ogni ingegnere, richiedono spazi adeguati e strutture aggiornate, alla soglia del nuovo secolo l'applicazione di nuovi materiali costruttivi, e in particolare del cemento armato, impone scelte didattiche differenti per il corso di ingegneria civile con conseguenti ricadute sui cantieri dei primi anni del Novecento in cui si trovano ad operare gli ingegneri civili laureati a Torino.

Il 13 novembre 1859 viene promulgata nel regno sardo (e in seguito estesa all'intero regno d'Italia finalmente unito) la legge sulla istruzione pubblica cui viene dato il nome del ministro Gabrio Casati, suo principale ispiratore.
Gli articoli 53 e 55 istituiscono una Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in ciascuna delle città capoluogo di regione del nuovo stato (Torino e Milano), rimandando per i programmi e per la durata dei corsi a un regolamento che le singole facoltà avrebbero dovuto redigere successivamente. Le due Scuole saranno ben presto denominate Politecnici, sul modello francese e tedesco, anche se questo nome verrà assunto ufficialmente in decenni successivi (a Torino solo nel 1906). Nasce in questo modo a Torino la prima istituzione universitaria atta a formare in modo specifico e mirato la figura dell'ingegnere attraverso un corso di studi appositamente formulato[1]: il primo anno accademico prenderà avvio nell'autunno successivo. La vicenda dell'istituzione della Regia Scuola di Applicazione[2] si inserisce nella breve



Fig. 1 - Il castello del Valentino in una foto d'epoca

stagione che vede Torino passare da capitale sabauda a capitale nazionale –e perderne repentinamente il primato– ricca di entusiasmi patriottici, illusioni facili e cupe delusioni: amministratori e cittadini vivono il momento di profonde trasformazioni accomunati dalle medesime speranze e dalle stesse disillusioni. In questo clima, colmo di aspettative per il decennio che si sta aprendo e che dovrebbe portare, insieme all'unità nazionale, un nuovo ruolo per la città, oltre che una nuova solidità economica, viene inaugurato il primo anno accademico della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri: in un primo momento viene individuata una sede provvisoria in un palazzo all'interno del centro storico cittadino.

Da subito emerge la necessità di assegnare alla Scuola di Applicazione una sede spaziosa, non troppo lontana dalla città, facilmente raggiungibile da studenti e professori. Al contempo è indispensabile poter disporre di grosse portate d'acqua, in quanto all'interno del curriculum dei futuri ingegneri i corsi di idraulica (con le prove sperimentali annesse) costituiscono un momento formativo fondamentale. Quintino Sella[3], gioca un ruolo primario sia nella stesura della legge Casati, nella quale fa confluire la sua esperienza e la sua conoscenza di istituzioni universitarie europee in particolare francesi, sia nella scelta della nuova sede. Dal 1852 professore di geometria applicata alle arti presso l'Istituto tecnico di Torino e, in seguito, di matematica presso la Regia Università, si rivela la persona più adatta e preparata per esporre le proprie opinioni a riguardo del "problema istruzione". Già nel 1853 è incaricato dal Ministro della Istruzione Pubblica di sistemare nei locali dell'Istituto Tecnico il museo mineralogico già appartenente all'Azienda Generale Economica degli Interni, soppressa in quello stesso anno. Nel novembre 1860 è nominato professore di mineralogia e direttore del museo geomineralogico all'interno della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri. Quintino Sella ha modo di riflettere e di intervenire ripetutamente sull'ordinamento degli studi, sul ruolo della cultura e delle istituzioni formative in una società come quella italiana impegnata, in quegli anni, in un difficile processo di trasformazione. Le lettere degli anni giovanili, scritte mentre frequenta a Torino gli studi di ingegneria, lo mostrano vivamente interessato alla riforma delle strutture scolastiche. Sella si sofferma sul sistema formativo francese e riferisce dei contatti da lui avuti con gli ambienti scientifici e produttivi d'oltralpe in occasione di viaggi e missioni[4]. Da ricordare che Sella, laureato in ingegneria a Torino nel 1847, è inviato dal governo sardo a Pa-

rigi a perfezionarsi alle Ecole des Mines e si trattiene sino al 1860 all'estero per completare i propri studi. Durante gli anni trascorsi all'Ecole des Mines il giovane Sella ha la possibilità di vivere all'interno del più famoso complesso di alti studi tecnico-scientifici dell'epoca. Durante e dopo il perfezionamento in ingegneria mineraria può studiare i numerosi distretti industriali francesi, inglesi, belgi e tedeschi. La conoscenza diretta della realtà produttiva contemporanea genera in lui una visione ampia e complessa dello sviluppo industriale, all'interno del quale un posto non secondario è assegnato all'istruzione e agli orientamenti culturali dei soggetti sociali. La sua tesi, quindi, che la modernizzazione dell'Italia e il suo inserimento nell'Europa più evoluta implichi una crescita del livello culturale e un'ampia diffusione dell'istruzione e delle conoscenze tecnico scientifiche in particolare, diviene assai presto uno dei punti fermi del discorso da lui portato avanti negli anni dell'unificazione sul sistema formativo nazionale in via di costituzione. Alla preparazione della legge Casati, nel 1859, l'ingegnere scienziato è chiamato a contribuire, insieme ad altri esperti: sostiene in questa occasione la necessità di riorganizzare gli studi superiori per elevarli ai più alti livelli raggiunti dalla scienza del tempo. Proprio in funzione di una politica di riquali-ficazione delle strutture universitarie Sella si pronuncia per la soppressione di quegli organismi che, come l'Università di Cagliari, sono considerati incompleti e asfittici. Ridimensionare il numero delle sedi universitarie italiane non implica per Sella un inevitabile accentramento degli studi, come i difensori degli interessi locali sostengono. Con l'autunno del 1861 la Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri inaugura il suo secondo anno accademico nella nuova sede assegnatale grazie ai ripetuti interventi di Sella: il castello del Valentino, finalmente lasciato libero dalla caserma del Genio Pontieri trasferita nell'estate, offre ampi spazi coperti e all'aperto (sale, gallerie e giardini che presto dimostreranno, comunque, la propria inadeguatezza a fronte di un costante aumento del numero degli iscritti) in una zona della città periferica, ma non troppo distante dal centro, sulle sponde del Po che garantisce quantità di acqua considerevole per poter condurre gli esperimenti idraulici. La formulazione di piani di studi sempre più aperti a una ricaduta professionale specifica e specializzata crea la necessità di avere spazi adeguati e attrezzati. Si innesca, quindi, a partire dalla metà degli anni sessanta la trasformazione edilizia all'interno dell'edificio storico e, contemporaneamente, l'ampliamento dei locali: l'area a sud del castello, antico giardino seicentesco ormai completamente cancellato, viene individuata come superficie atta ad accogliere i corpi di fabbrica che nel corso di vari decenni si addosseranno gli uni agli altri nella costante ricerca di nuovi spazi. Nel 1862 sei ingegneri ottengono il titolo di laurea presso la Scuola di Applicazione torinese; ma già alla fine degli anni sessanta il numero dei laureati in un anno oscilla tra i cinquanta e i novanta. Parallelamente

vengono formalizzate e affinate le diverse specializzazioni dei corsi di laurea volte a costruire figure professionali sempre più rispondenti alle nuove esigenze dell'industria nascente. Dal suo primo anno di vita l'attività della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino va sempre più crescendo. Le modeste collezioni ereditate dall'Istituto tecnico torinese si trasformano in breve in veri e propri musei, mentre i numerosi insegnamenti occupano le sale del castello. Gli otto iscritti al primo anno di corso nel 1860 diventano sessantatrè nell'anno successivo e aumentano continuamente raggiungendo la cifra di 361 nell'anno scolastico 1875-76. La fama della Scuola richiama allievi da tutta Italia La direzione della Scuola deve affrontare da subito lo sgombero delle merci accatastate residue della caserma che per circa quarant'anni ha occupato il castello, l'installazione dell'impianto di riscaldamento e la sistemazione del materiale didattico. Nei primi anni i lavori all'interno del corpo seiottocentesco sono limitati ad attrezzare le aule e a trovare la sistemazione più funzionale. Paratie in legno sono disposte per dividere i saloni più ampi al piano nobile per ottenere un maggior numero di aule, mentre al piano terreno delle maniche ottocentesche si insediano le aule di disegno che sfruttano la luce garantita dalle ampie vetrate. Ben presto appare evidente che i locali dei corpi aulici del castello, pur comprendendo le maniche ottocentesche con le due grandi gallerie finestrate, sono inadeguati e insufficienti per il grande numero di studenti, docenti e macchinari. L'unica soluzione possibile appare la costruzione di nuovo locali spaziosi e attrezzati: viene individuata nel cortile a sud del castello l'area adeguata che dovrà ospitare, prima di ogni altro istituto, lo stabilimento per gli esperimenti idraulici.

Con l'istituzione della Regia Scuola di Applicazione gli allievi e il corpo docente continuano a condurre i propri esperimenti nello stabilimento idraulico ubicato a circa quattro chilomentri dalla città, lungo l'antica strada per Collegno, in prossimità della cascina Parella[5]. I rapidi progressi dell'idraulica rendono ben presto insufficiente lo stabilimento sorto quasi unicamente per verificare le leggi della "foronomia": i coefficienti ottenuti presso la Parella perdono di importanza a causa delle dimensioni ridotte dei fori della torre idraulica. Il limitato numero di macchine idrauliche adatto alle nuove esigenze, l'esigua disponibilità d'acqua, non sempre limpida e la lontananza dello stabilimento dalla città sono gli inconvenienti che spingono la direzione della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri a cercare una nuova soluzione. Risultando non praticabile e non economicamente vantaggioso apportare migliorie allo stabilimento della Parella, ancora una volta è Quintino Sella a proporre di costruire un nuovo edificio per le esperienze idrauliche nell'area a sud del castello del Valentino. Il politico biellese, sempre attento alle crescenti esigenze della Scuola torinese, è a conoscenza dei problemi che la distanza della Parella comporta sugli spostamenti forzati di studenti e professori. Per pri-

mo affronta l'argomento con il direttore della Scuola di Applicazione Prospero Richelmy che entusiasticamente aderisce all'iniziativa e relaziona al Ministro della Pubblica Istruzione[6]. La spianata a meridione del castello, della superficie di circa un ettaro, è delimitata verso il fiume, da un muro di sostruzione dell'altezza di sette metri. L'acqua destinata agli esperimenti è prelevata dal canale demaniale del Valentino ed è reimmessa direttamente nel Po, disponendo così di una cascata naturale ragguardevole che permette l'installazione e il funzionamento dei motori idraulici.

L'edificio idraulico prende il posto di una tettoia addossata al muro di sostegno e destinata al ricovero dei raccolti del vicino podere della Pallamaglio (fieno, paglia, fascine) e della barca regale detta Bucintoro[7]. Nel gennaio 1864 Quintino Sella si fa interprete delle necessità della Scuola e propone una collaborazione finanziaria tra il governo e il municipio di Torino. Sebbene la Scuola di Applicazione sia di competenza statale, un ampliamento dei locali gioverà maggiormente alla municipalità in quanto è l'intera città ad acquistare maggiore prestigio: si propone inoltre di affiancare all'edificio idraulico due "giochi d'acqua" ad abbellimento del parco pubblico. L'area, ancora di proprietà demaniale, viene ceduta alla Regia Scuola di Applicazione già nel 1864; l'esistenza sin dallo stesso anno di un progetto di massima realizzato da Prospero Richelmy non ha un risultato immediato. Il problema maggiore è sicuramente rappresentato dal reperimento dei fondi per poter dare avvio ai lavori. Nel 1867 viene richiesto il parere della Società degli Ingegneri e degli Industriali di Torino sul trasporto dello stabilimento idraulico presso il castello. Due soci, Cavallero e Albert sono incaricati di esaminare il progetto: inevitabilmente, essendo troppo evidenti i problemi che la sfavorevole dislocazione alla Parella comporta e avendo il Demanio già ceduto il terreno, il responso è favorevole. Il 10 luglio 1867 il consiglio comunale delibera un concorso di spesa pari a 25.000 lire, ma l'inzio dei lavori è ancora lontano. Il progetto esecutivo, redatto nel 1868 da Prospero Richelmy[9] sarà realizzato in cinque fasi distinte (e concluso solo nel 1929). La localizzazione rende più efficaci gli esperimenti che possono essere effettuati con maggiore frequenza e in ogni stagione; inoltre sono possibili le osservazioni giornaliere del Po per gli studi sulla portata del fiume.

L'impianto idraulico prevede vasche e canali nell'area dell'antico giardino (denominata spianata degli sperimenti idraulici) e altri manufatti sistemati sotto il portico addossato al muro di sostegno. Il progetto, pensato da subito completo e monumentale viene, per mancanza di fondi, ridimensionato in fase di costruzione. L'esiguità dei mezzi finanziari costringe a compiere una sola parte di quanto ideato: i canali superiori, la torre idraulica, la vasca di misura, una turbina e nove arcate centrali delle ventuno previste[10]. Nel 1870 il laureando Achille Pariani presenta in sede di laurea, al fine di conseguire il titolo di ingegnere, una dissertazione intitolata *I nuovi edifizi per*

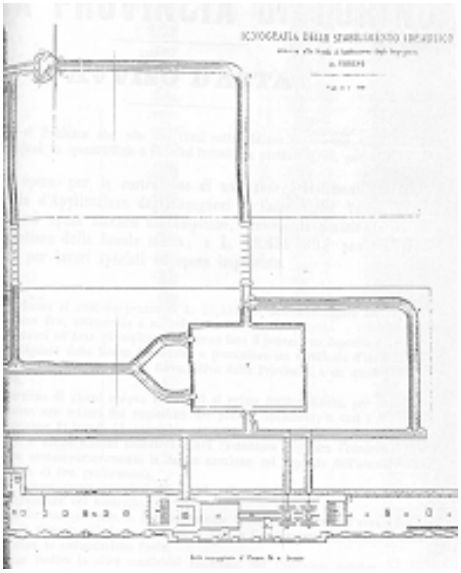


Fig. 2 - La spianata degli esperimenti idraulici

le esperienze idrauliche della Regia Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri di Torino.

La tesi di laurea si trasforma nell'occasione per monitorare il cantiere dello stabilimento idraulico descrivendo minuziosamente i lavori compiuti e quelli ancora da ultimare; contemporaneamente l'allievo illustra gli esperimenti compiuti ai fini didattici con dovizia di particolari

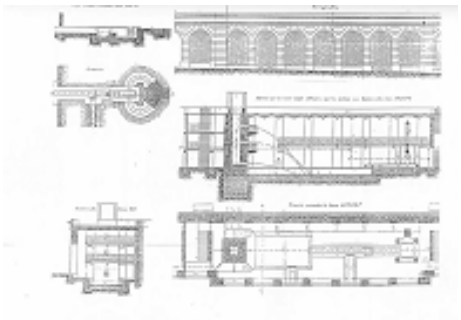


Fig. 3 - Lo stabilimento idraulico. Tavola tratta dalla tesi di laurea di Achille Pariani

tecnici e costruttivi dei diversi elementi. A differenza del laboratorio della Parella, in cui si è svolta una ragguardevole attività di ricerca sperimentale, il laboratorio annesso al Valentino ha finalità essenzialmente didattiche rivolte, in particolare, al settore delle macchine idrauliche. L'acqua proveniente dal canale demaniale situato ad ovest della cancellata si introduce in un primo tratto di canale in muratura, il cui fondo è costituito da mattoni disposti "a coltello" e poggianti sopra una platea in calcestruzzo. Segue una vasca con fondo più profondo del canale introduttore; qui l'acqua perdendo gran parte della velocità e depositando le eventuali materie in sospensione è resa più limpida «Gli edifici che ho detto di sperimentazione saranno col tempo parecchi, per ora sono tre.

La torre idraulica, la vasca di misura, l'edifizio per le turbini. Chi voglia vederli, deve dallo spianato, dove sono le opere finora descritte scendere verso Po per un'altezza di m. 7,50 […] La torre si è voluto ricopiare quasi esattamente da quella dell'antico Stabilimento. Dopo le celebri ricerche, ed i più celebri trovati dei Michelotti e del Bidone altri annette alla torre della Parella, ed io con essi ho sempre annesso una certa venerazione come a strumento di patrie glorie […] La vasca di misura fu collocata in modo che mentre da un lato riceve gli efflussi dalla torre riceve anche dalla parte opposta l'acqua impiegata a muovere la turbine, per tal modo le esperienze intorno a questo motore idraulico riusciranno perfettamente complete, si potrà misurare con esattezza l'altezza

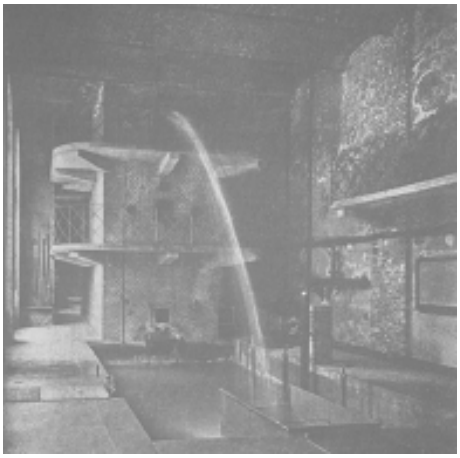


Fig. 4- La torre idraulica

della caduta, e la quantità di acqua smaltita, il freno dinamomentrico di Prony ci darà di riscontro l'effetto utile, ed il coefficiente di rendimento potrà calcolarsi esatto fin oltre i centesimi. L'edifizio delle turbini consiste in un grosso tubo che pigliando l'acqua dal canale superiore viene a introdurla in una tinozza chiusa, e dalla quale per isgorgare convien che passi a traverso all'apparecchio distributore del motore idraulico»[11].

Alle soglie del nuovo secolo la Regia Scuola di Applicazione porta avanti ormai da quattro decenni una febbrile attività che trae dalla stretta correlazione tra didattica e sperimentazione un punto di forza assoluto. All'edificio dello stabilimento idraulico e alla spianata per gli esperimenti (solcata da una fitta rete di canali e vasche) si sono affiancati laboratori, aule e biblioteche dove le diverse specializzazioni dell'ingegneria sono studiate e approfondite. Il corpo docente, sempre più numeroso, dimostra la propria competenza e preparazione attraverso lezioni, conferenze, prove di laboratorio, pubblicazioni. In particolare il settore della statica e della scienza delle costruzioni si avvale di un consistente numero di docenti impegnati nella ricerca e nella sperimentazione, protagonisti del panorama scientifico nazionale. A fine Ottocento vi sono alcune condizioni che permettono il capovolgimento radicale del modo di progettare e costruire. Primo fra tutti il nuovo sistema messo a punto presso il Politecnico di Zurigo da Karl Cullmann, la statica grafica, permette ad ogni ingegnere medio di calcolare strutture complesse con metodi grafici. L'acciaio, il nuovo materiale omogeneo, subentra alla ghisa nei cantieri europei e il cemento armato si avvia ai grandi brevetti proclamandosi protagonista assoluto del futuro dell'edilizia. La comunità scientifica internazionale degli ingegneri strutturisti si interroga su come adattare la teoria dell'elasticità al calcestruzzo armato. L'Italia, pur con alcune difficoltà legate a un iniziale ritardo dello sviluppo industriale, è al centro di questi eventi ed esiste una "via" piemontese della ricerca applicata alla scienza delle costruzioni. Luigi Federico Menabrea, professore di scienza delle costruzioni all'Università di Torino tra il 1846 e il 1860, dà una prima formulazione dell'analisi strutturale basata sul principio del lavoro virtuale e studia la teoria dei sistemi elastici. Alberto Castigliano, laureato ingegnere civile nel 1873 presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino, giunge alla definizione di un teorema di meccanica tecnica, cui viene dato il suo nome, impiegato nel calcolo

delle deformazioni di sistemi statici indefiniti. Parallelamente allo studio della statica grafica, prende avvio il decollo industriale in Italia della siderurgia e si diffonde il cemento armato, grazie a una rete di concessionari del brevetto Hennebique ma anche del sistema Monier. La cattedra di Scienza delle Costruzioni dal 1865 al 1887 presso la Regia Scuola di Applicazione torinese è tenuta da Giovanni Curioni (dal 1880 anche direttore della Scuola)[12].

La sua esperienza di scienziato e professionista è raccolta nel trattato *L'Arte di fabbricare. Corso completo di istituzioni teorico-pratiche per gl'ingegneri, per gli architetti, pei periti in costruzione e pei periti misuratori*, in sei volumi e cinque appendici (il primo volume è stampato nel 1864 e l'ultima appendice nel 1884). Malgrado le numerose attività di ricerca, professionali e politiche (è consigliere provinciale per il mandamento di Arona dal 1873 al 1884 e deputato al parlamento dal 1880 sino alla morte), Curioni si dimostra un docente appassionato. Entrato non ancora trentenne in una scuola di nuova istituzione, voluta e sognata da tempo dai protagonisti del mondo scientifico, crede nell'importanza del proprio compito e ne sente la responsabilità. All'interno dell'organizzazione della Scuola di Applicazione, Curioni imposta il proprio insegnamento e si impegna nell'ideazione e realizzazione delle attrezzature necessarie. Per merito suo è creato il gabinetto di costruzioni costituito da tre collezioni didattiche: la raccolta dei campioni di materiali da costruzione, la collezione dei

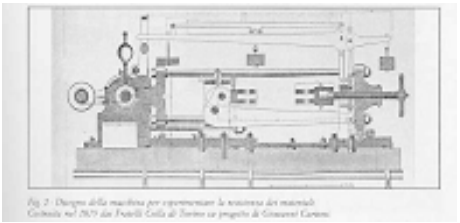


Fig. 5 – La macchina progettata da Giovanni Curioni per testare la resistenza dei materiali

modelli di costruzione in legno, in muratura, in metallo e delle attrezzature di cantiere, la raccolta di disegni e fotografie. Sempre a lui si deve l'istituzione del laboratorio di esperimentazione dei materiali situato nella sala colonne, al piano terreno del castello del Valentino. Attuato il laboratorio nel 1879, Curioni intraprende lo studio del comportamento dei materiali costruzione, progettando appositamente un macchinario.

Alla cattedra di scienza delle costruzioni si avvicendano Giovanni Curioni e Camillo Guidi, entrambi uniti dal profondo interesse per la costante sperimentazione e ricerca. Infatti nel 1900 Camillo Guidi, ordinario di scienza delle costruzioni, è il primo accademico italiano a tenere una serie di conferenze, all'interno del proprio corso universitario, sul cemento armato. Alla teoria unisce una serie di sopralluoghi in cantieri torinesi dove, in un ambito ancora pionieristico, grazie al concessionario del sistema Hennebique per il Piemonte, Giovanni Porcheddu, si sta mettendo in opera il materiale innovativo destinaro a stravolgere il futuro dell'edilizia. Nel 1906 Guidi allega al suo volume di lezioni sulla Scienza delle Costruzioni un'appendice dedicata esclusivamente al cemento ar-



Fig. 6 – Il laboratorio per la resistenza dei materiali all'interno della sala delle colonne al castello del Valentino.

mato nella quale compare una breve sintesi dei principali sistemi costruttivi e delle relative applicazioni seguita da un'ampia trattazione degli aspetti statici e di calcolo. Ed è nelle aule del Valentino che si è formato il protagonista assoluto dell'introduzione del brevetto Hennebique in Piemonte e nel resto d'Italia, Giovanni Antonio Porcheddu[13]. Infatti con il brevetto Hennebique, depositato in Italia dieci soli giorni dopo essere stato depositato in Francia, inizia la vera storia moderna del cemento armato non solo per la diversa concezione della tecnologia costruttiva ma anche e soprattutto per il risvolto imprenditoriale . E nel 1894 apre a Torino, in piazza Cavour, lo Studio tecnico degli ingegneri Ferrero e Porcheddu, concessionari per il Piemonte e "l'Alta Italia" del sistema Hennebique[14].

Nell'ambito dell'organizzazione creata da Hennebique, la Società Porcheddu riveste il ruolo di concessionario. Nei primi anni di attività gli elaborati grafici e lo sviluppo dei progetti delle strutture giungono dal "Bureau Technique de Bruxelles" o dagli agenti della sede di Napoli. A partire dal 1899 lo studio torinese raggiunge l'autonomia di calcolo e di progetto per la maggior parte dei lavori; alcune opere di rilievo saranno, comunque, anche negli anni seguenti, impostate dagli uffici centrali Hennebique[15]. In un primo momento il sistema costruttivo innovativo viene applicato principalmente, nell'edilizia civile locale, nei solai. Già nel 1892 Carlo Ceppi progetta casa Bellia e parte dei solai vengono realizzati con solai in sistema Hennebique[16]. Nel 1901 la Società Porcheddu si è ingrandita e ha creato filiali a Genova, Milano[17] e Roma. La Società, pur rimanendo fedele agli schemi costruttivi sperimentati dallo stesso Hennebique, apporta negli anni alcune varianti migliorative anche semplici e di facile sperimentazione. Porcheddu adotta ad esempio i blocchi di alleggerimento, in un primo momento costituiti da semplici mattoni, poi dalle volterrane e, infine, da blocchi appositamente concepiti. Inoltre la Società non si limita alla progettazione e realizzazione di strutture con sistema Hennebique, ma svolge anche un importante ruolo propositivo e sperimentale. Nel 1911 Porcheddu ha già brevettato le prime barre di ferro ad aderenza migliorata e un sistema di pavimentazione costituito da piastrelle formate da amianto e cemento[18].

[1] Nelle Costituzioni promulgate nel 1772 per l'Università di Torino si prevede, fra gli altri, un corso di studi per ingegneri: per gli studenti è previsto un solo professore di matematica che deve insegnare durante i cinque anni di corso analisi algebrica, sezioni coniche, analisi di infinitesimi, istituzioni di architettura, teoria del moto dei solidi, teoria del moto dei liquidi; un iter molto ridotto, quasi penalizzato, affidato a un solo professore chiamato a rispondere a diverse competenze. Durante gli anni dell'occupazione napoleonica una stretta cerchia di privilegiati ha la possibilità di intraprendere i propri studi tecnici presso l'Ecole Polytechnique di Parigi, istituzione prestigiosa che ha garantito ai propri allievi una formazione all'avanguardia. A. Dameri, *Giovanni Antonio Carbonazzi e gli studenti piemontesi all'Ecole Polytechnique*, in N. Vassallo (a cura di), *Giovanni Antonio Carbonazzi. Ingegnere del Genio Civile e "grand commis" dei lavori pubblici del Regno di Sardegna (1792-1873*), atti della giornata di studi (Felizzano 13 dicembre 1997), Alessandria, Ugo Boccassi Editore, 1999, pp. 45-51.

[2] A. Dameri, *La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino (1859-1906) al castello del Valentino*, tesi di laurea, Politecnico di Torino, facoltà di Architettura, rel. V. Comoli Mandracci,, a.a. 1990-1991.

[3] Quintino Sella (Sella di Mosso 1827 – Biella 1884) politico, ingegnere, mineralogo, compie i propri studi di ingegneria a Torino, perfezionandosi successivamente in diversi paesi europei. Professore di mineralogia, deputato dal 1860, nominato monistro delle Finanze nel 1862. G Quazza, *L'utopia di Quintino Sella. La politica della scienza*, Savigliano 1992. C. VERNIZZI (a cura di), *Quintino Sella tra politica e cultura 1827-1884*, Torino 1984.

[4] G. e M. Quazza (a cura di), *Epistolario di Quintino Sella*, Roma 1980, 2 voll.

[5] Lo stabilimento Parella è fondato nel 1763 per iniziativa di Francesco Domenico Michelotti, professore di matematica presso la Regia Università di Torino, e grazie alla benevolenza di Carlo Emanuele III che finanzia l'opera. La località scelta permette di disporre di un notevole dislivello; l'acqua occorrente viene prelavata dal canale irriguo Cossola, che deriva tuttora le acque dalla Dora Riparia presso Collegno, e dopo l'utilizzazione viene reimmessa nel sottostante canale dei Mulini. Archivio di Stato di Torino (AST), *Genio Civile*, versamento 1937, mazzo 7, *Piano Regolato dello Stabilimento dalla Parella col fabbricato e terreni annessi passato al Demanio dalla Regia Università degli Studi*, 1871.

[6] Archivio Centrale dello Stato di Roma, *Ministero della Pubblica Istruzione, Divisione Istruzione Superiore 1860-61*, inventario 396, busta 61, *Sullo stato e sui bisogni della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri esistente a Torino. Relazione fatta all'Ill. mo Ministro della pubblica istruzione da Prospero Richelmy direttore della scuola medesima*, 22 settembre 1863.

[7] Il Bucintoro era una grande barca riccamente decorata e dorata che venne costruita a Venezia nel 1730 per Carlo Emanuele III. Fu denominata il "Bucintoro di Savoia" impropriamente perché del vero Bucintoro veneziano non ebbe mai né il significato né l'importanza.

[8] Archivio Storico della Città di Torino (ASCT), *Ufficio Lavori Pubblici*, Corrispondenza 1864-1868, 23 gennaio 1864.

[9] AST, Genio Civile, versamento 1935, mazzo 6, fascicolo 55, Progetto degli edificìzi per le esperienza idrauliche, 12 settembre 1868.

[10] ASCT, Ufficio Lavori Pubblici, Corrispondenza 1869, Nuovo edificio idraulico.

[11] Prospero Richelmy, Notizie intorno al nuovo edificio erettovi per esperienze idrauliche, Torino, Tipografia Favale, 1870.

[12] Nato nel 1831 a Invorio, in provincia di Novara, Giovanni Curioni si laurea in ingegneria idraulica e architettura nel 1855 presso l'Università di Torino. Appena laureato si dedica all'insegnamento e nel 1857 è nominato Assistente per la Scuola di Disegno e per le esercitazioni pratiche di geometria pratica. Nel 1861 è chiamato dalla Scuola di Applicazione a ricoprire il ruolo di assistente nel corso di Costruzioni ed Architettura, tenuto da Giulio Marchesi (addetto alla direzione delle costruzioni delle ferrovie liguri e ferrovie meridionali).

[13] Giovanni Antonio Porcheddu, nato a Sassari, si laurea in ingegneria presso la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino nel 1880.

[14] R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione*

del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique, Milano, Aitec, 1990.

[15]I calcoli per i Silos Granari del porto di Genova e per il ponte Risorgimento di Roma (1910-1911) saranno elaborati dagli uffiic centrali Hennebique.

[16]Archivio Porcheddu, dossier Torino 1895.

[17]Nella filiale milanese lavora Daniele Donghi.

[18]Giovanni Antonio Porcheddu intuisce ben presto l'importanza della strategia adottata da Hennebique in Francia e in Belgio così inizia lui stesso a promuovere nel nord Italia il sitema costruttivo in cemento armato. Contatta professori universitari e ingegneri del Genio Civile invitandoli a visitare i suoi cantieri per illustrare i vantaggi della nuova tecnica. Inoltre non esita a ribassare i prezzi per aggiudicarsi i lavori di prestigio, che gli permettono di r eclamizzare le soluzioni maggiormente innovative.

Luisa Erba

L'insegnamento per ingegneri nell'Università di Pavia

In seguito al rinnovamento dell'organizzazione degli studi voluto da Maria Teresa d'Austria (1771), tra le cattedre assegnate alla Facoltà Filosofica di Pavia compaiono *Geometria*, *Algebra elementare*, *Fisica generale*, *Algebra sublime*, *Meccanica e Fisica sperimentale* (che sarà tenuta, dal 1778, da Alessandro Volta).

La presenza di numerose materie di carattere matematico favorisce, in breve tempo, l'individuazione di un indirizzo di studi per la formazione dei futuri ingegneri.

"Essendo la Regia Università di Pavia il centro della Istruzione Nazionale", nel 1786 il Consiglio di Governo decreta che "debbano fare i loro studi a Pavia anche que' giovani che vogliono esercitare la professione d'Ingegnere o Architetto" e afferma che nessuno può essere ammesso all'esercizio della professione se non dopo aver "riportato il grado della Licenza nell'Università"[1].

Decorrono dall'anno successivo gli elenchi dei "licenziati" in architettura, idraulica e agrimensura[2].

Nel 1788, su richiesta di alcuni studenti, viene istituito un corso di *Disegno* il cui insegnamento viene affidato a Giuseppe Lanfranchi[3].

Nell'ottobre del 1795 il Magistrato Politico Camerale incarica di provvedere al "corredo di qualche esemplare in gesso d'ornati scelti e antichi […] e di due camere ottiche al fine di abilitare anche materialmente li giovani studenti a disegnare in giusta prospettiva"[4].

Nel 1804 la Scuola di Disegno acquisisce un corso specialistico per ingegneri e architetti; viene chiamato l'architetto Giuseppe Marchesi come "Professore supplementario di Architettura Civile e Militare".

Nel 1817 si mettono a punto le *Istruzioni provvisorie* per le varie Facoltà. Nel 1819 Pietro Configliachi, direttore della Facoltà di Filosofia, incaricato dal Governo, compila il *Regolamento definitivo di disciplina e di studio per quelli che vogliono dedicare alle utili liberali Professioni d'Ingegnere, d'Architetto e d'Agrimensore*[5].

Configliachi, esponendo i principi secondo i quali ha redatto il documento, afferma: "L'Istituto Scientifico di cui si tratta deve avere un doppio scopo […]: uno generale, qual è quello di promuovere in queste province le Scienze Meccaniche ed Idrauliche e di mantenerle in quello stato di avanzamento in cui trovansi presso le più colte regioni; l'altro speciale di dare una completa istruzione relativa all'esercizio delle Professioni Liberali d'Ingegnere, d'Architetto e d'Agrimensore"[6].

Nel 1819 l'insegnamento di *Architettura* era tenuto da Giuseppe Marchesi, quello di *Introduzione al Calcolo sublime* da Antonio Bordoni, a sostitui-

re Vincenzo Brunacci, e *Meccanica Statica Idrodinamica Idraulica con indicazioni di matematica applicata* da Giovanni Gratognini[7].

Nel 1825 viene approntato un *Progetto di riforma* che prevede un biennio propedeutico di base ("al corso per gli studi speciali per futuri Ingegneri, Architetti e Agrimensori non saranno ammessi che quelli che avranno compiuto il corso biennale", seguendo in particolare i corsi di *Matematica elementare pura* e di *Fisica congiunta con le matematiche applicate*), a cui segue il triennio specialistico ("il corso degli studi speciali per futuri architetti […] rimarrà stabilito a tre anni")[8].

Si precisano anche i contenuti dei corsi: sotto la denominazione di *Meccanica sublime* sono comprese tutte le scienze meccaniche trattate col mezzo del calcolo sublime, cioé statica e dinamica dei solidi, dottrina delle macchine, idrostatica e idraulica. La *Geometria descrittiva* è applicata principalmente al disegno di macchine e la *Geodesia* si estende anche alla Livellazione. Il corso di *Architettura* comprende perizie, stime e servitù delle case, mentre quello di *Agraria* ingloba stime e servitù dei terreni. Il *Disegno*, oltre all'Ornato, si estende a quello topografico, architettonico e compositivo.

Nel 1839 il piano di studi subisce alcune trasformazioni e viene accresciuto il numero dei corsi.

Nel 1847 a Pavia la Facoltà Matematica si rende autonoma da quella Filosofica; due anni dopo Antonio Bordoni[9] elabora una *Proposta per un nuovo piano per lo studio matematico*, in cui contempla l'istituzione di corsi pratici per l'ingegneria, con le specializzazioni in architettura e nei diversi settori dell'ingegneria: rurale, meccanica, idraulica e civile, militare[10].

Ma la legge Casati, che nel 1859 promuove l'istituzione della Scuola di Applicazione per gli Ingegneri a Torino e dell'Istituto Tecnico Superiore a Milano[11], affida alle due nuove scuole i corsi applicativi che, in sostituzione del tirocinio, diventano necessari al conseguimento della laurea e, pur lasciando a Pavia i primi tre anni di studio, blocca le istanze di rinnovamento espresse da Bordoni.

Dal punto di vista degli insegnamenti si tratta di una sottrazione parziale[12], del resto l'Università di Pavia continua a conferire diplomi di laurea, almeno agli studenti che devono concludere gli studi avviati[13].

In ogni caso i corsi non cessano: rimane il biennio (che coincide con quello di Matematica con l'aggiunta di corsi specifici per ingegneri) e un terzo anno specialistico (Scuola di Applicazione per gli Ingegneri).

Nel 1859-60 Francesco Cattaneo[14], ordinario di *Meccanica razionale* è anche direttore della Facoltà di Matematica e Scienze Naturali[15]. Il corso di *Disegno di geometria e di macchine* è tenuto da Ferdinando Agazzi, mentre quello di *Disegno di architettura civile e architettonico* è affidato a Giovanni Battista Vergani[16]. Quando, nel 1860-61, diventa preside di Facoltà Francesco


TESI

CACCIALUPI GAETANO

Fig. 1 - Tesi da discutere nella seduta di laurea di Gaetano Caccialupi (1847)

Brioschi[17], titolare del corso di *Analisi superiore*, ci sono un Gabinetto di Architettura Civile, Stradale e Idraulica e di Tecnologia (di cui è direttore Francesco Cattaneo) una Scuola di Disegno[18], e un importante Gabinetto di Geodesia con una ricca strumentazione[19].

Nel 1861-62 Francesco Cattaneo concentra su di sé la presidenza della Facoltà e la direzione del Gabinetto di



Fig. 2 – Le chiuse del Naviglio (affresco del soffitto dell'aula di Matematica)

Architettura Civile Stradale e Idraulica. Accanto al corso di *Disegno* di Ferdinando Agazzi, ricompare il *Disegno d'architettura* tenuto da Giovanni Battista Vergani; nella Scuola di Disegno Leopoldo Garavaglia ha come coadiutore Carlo Santamaria[20].

Nel 1862-63 Vergani tiene il corso di *Disegno d'architettura civile e stili diversi di essa,* e Carlo Pasi[21] quello di *Agraria*. Scompare il Gabinetto di Architettura Civile, ma sopravvive la Scuola di Disegno diretta da Agazzi[22], dove nel 1863-64 Santamaria passa assistente e Giuseppe Gambirasio diventa coadiutore[23]. Dal 1864-65 il corso di *Disegno* è affidato a Ferdinando Brusotti, ingegnere e fisico[24], il quale lo terrà per oltre trent'anni[25]. Brusotti è anche direttore della Scuola di Disegno, dove ha come assistente Santamaria, al quale si aggiunge il coadiutore Carlo Vergani (a partire dal 1865-66).

Nel 1875 Luigi Porta[26] lascia i suoi beni all'Università, con la clausola che il capitale sia "destinato al compimento delle Facoltà Filosofica e Matematica ora mancanti", con l'intenzione di rimediare alla perdita subita dall'Università di Pavia, "delle più celebri d'Europa", restituendola "alla sua prima condizione conservatale da tutti i Governi stranieri ed ingiustamente decimata dal Governo nazionale dell'attuale Regno d'Italia"[27].

La sottrazione infatti non era stata indolore e il rettore Alessandro Nova nel discorso inaugurale del 1879-80, lo ribadisce: "il grido di dolore per lo strappo della Facoltà di Filosofia e Lettere e

dell'Ingegneria […], partiva non solo dal corpo universitario, ma incessantemente, vivamente dalla intera cittadinanza […], legittimato dal diritto di conservazione"[28].

E commenta: "Porta che aveva per tanti anni veduto fiorire qui l'Ingegneria […] aspirando alla restituzione dell'anteriore stato di questa Università, e in particolare della Facoltà Matematica, intendeva appunto che vi fosse ristabilita l'Ingegneria strappataci per organarla in Milano"[29].

La soluzione adottata con la conservazione di alcuni insegnamenti é monca, e Nova lo sottolinea: "Il 1° anno di Applicazione […] è un principio dell'Ingegneria, che naturalmente inclina a svolgersi in facoltà compiuta. Venendo privata dell'Ingegneria, l'Università nostra era sfavorita in rispetto alle altre italiane, presso le quali la Scuola di Applicazione si creava o almeno si manteneva".

Le motivazioni delle scelte politiche spesso sfuggono, e il rettore si chiede: "Come ciò avvenne? Non mancarono i mezzi per qui svolgere in sua pienezza l'Ingegneria; poiché il Governo, che li porgeva a Milano, doveva e poteva continuarli a Pavia. D'altra parte professori e materiale scientifico appartenuti alla nostra Università furono trasferiti a Milano per istituirvi il Politecnico".

E poi spiega: "della violazione commessa […] devono incolparsi la miopia scientifica, la noncuranza delle tradizioni e l'andazzo di sacrificare antiche e venerande istituzioni agli interessi d'individui".

Ripone qualche speranza nella possibilità di interventi privati: "Vi ha rimedio al male […]. Come fu comprovato dall'esempio del Porta, solo la generosità di facoltosi privati potrà compire la nostra Università coll'aggiunta dell'Ingegneria"[30]. Ma le speranze di Nova resteranno disattese.

Intanto, nell'anno accademico 1876-77 il *Disegno* prende il nome di *Disegno d'ornato e di architettura* e al coadiutore Carlo Vergani si sostituisce l'ingegner Marco Forni.

Una notazione riportata nel piano di studi (1877-78) per il biennio in Matematica e Fisica precisa: "Gli aspiranti ai corsi delle Scuole d'Applicazione per gl'Ingegneri frequenteranno altresì, in ciascuno di questi anni, il corso di *Disegno d'ornato* e di *Architettura elementare*", entrambi tenuti dal professor Brusotti[31].

Come si è detto, il biennio di Matematica, con l'aggiunta dei quattro esami sopra riportati, funziona come propedeutico per la Scuola di Applicazione, di cui a Pavia c'è una sola annualità. E' infatti specificato nel piano di studi: "per essere ammesso al I anno della Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri, lo studente dovrà aver superato tutti gli esami del I biennio di Scienze Fisico-Matematiche, Sez. Ingegneria"[32].

Nel 1877-78 l'Annuario porta, per il piano di studi "per il I° anno di Scuola d'Applicazione" i corsi di *Meccanica Razionale* (prof. Formenti); *Geodesia Teoretica* (Gobbi); *Statica grafica* (Platner); *Disegno di Statica grafica*

(Platner); *Applicazioni di Geometria descrittiva* (F. Aschieri); *Disegno d'applicazioni e Geometria descrittiva* (F. Aschieri); *Chimica docimastica con esercitazioni* (Brugnatelli)[33].

Nel 1878-79 nel piano di studi del biennio per la licenza in Matematica sono indicati quattro corsi di Disegno. Per il I° anno: *Disegno di geometria proiettiva* (Ferdinando Aschieri[34]) e *Disegno d'ornato* (F. Brusotti), per il II° anno *Disegno di geometria descrittiva* (Aschieri) e *Disegno d'architettura* (Brusotti). Una notazione precisa che "il corso di *Disegno d'ornato e d'architettura* e quello di *Mineralogia e Geologia* sono obbligatori soltanto per gli studenti che aspirano alle Scuole per Ingegneri"[35].

Nel 1886-87 si aggiungono i corsi di *Geologia applicata e materiali di costruzione* tenuto da Torquato Taramelli, e *Cinematica delle macchine* tenuto da Carlo Formenti.

Nel 1897-98 sia *Disegno d'ornato* sia *Disegno d'architettura* sono tenuti da Carlo Santamaria, ma dall'anno accademico successivo i due corsi passano a Sebastiano Locati[36], che li terrà fino al pensionamento (1935)[37].

Nella Scuola d'Applicazione Locati nel 1900-01 insegna *Applicazioni di Geometria descrittiva con disegno*; nell'anno successivo *Architettura e costruzioni*; nel 1902-03 ancora *Applicazioni di Geometria descrittiva con disegno* e infine, dal 1903-04, *Architettura pratica*. A Santamaria viene affidato il corso di *Principi di Disegno architettonico* che nel 1901 passa a Marco Forni. Intanto Locati chiama a Pavia, prima come volontario e quindi come assistente (1905-06), per affidargli il corso di *Disegno d'ornato e d'architettura*[38] ,Giuseppe Bergomi[39], un ex allievo eccellente disegnatore. Intanto nel 1905 Adolfo Viterbi[40] viene chiamato a insegnare *Geodesia teoretica*.

Nel 1909-10 si registra un incremento degli studenti del biennio[41]. Nonostante l'aumento verificatosi nel 1914-15 anche per gli iscritti al terzo anno, cioè alla Scuola di Applicazione[42], quest'ultima nel successivo anno accademico (1915-16) viene soppressa. In un clima ormai mutato per via della guerra, il rettore Ranelletti cerca di darne una spiegazione: "Nella nostra Università esisteva un primo anno della Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, ramo secco, senza avvenire […]. Secondo le esigenze del tempo, che la guerra ha messo in tutta la loro luce, parve conveniente trasformare quell'anno in una Scuola superiore di Chimica industriale"[43] (istituita con D.L. 26 novembre 1916 n. 1725, si apre nell'anno 1917)[44].

Quasi a rimpiazzare la Scuola d'Applicazione perduta, nel 1922 nasce un Corso di Laurea speciale in Matematica applicata all'Ingegneria, ma ha solo 3 iscritti, che sono già ingegneri[45], e pertanto non avrà seguito.

La Scuola di Disegno (denominata di Disegno d'Ornato e d'Architettura nel 1922-23, e poi più semplicemente di Ornato e d'Architettura nel 1923-24) figura nel prospetto degli Stabilimenti scientifici dell'Università con un organico costituito dal direttore Locati e due

assistenti: Giuseppe Bergomi e Aldo Avati. Quest'ultimo dal 1924 è incaricato per il corso di *Disegno a mano libera* (fino al 1927), mentre Bergomi nel 1925 cessa l'attività presso la Scuola, in concomitanza con la temporanea sospensione del biennio per gli ingegneri, che tuttavia riapre già nell'anno successivo. Al termine di esso lo Studente "può ottenere un'apposita licenza"[46].

Il nuovo assistente è Hermes Balducci[47] (temporaneamente sostituito nel 1927-28 da Emilio Aschieri)[48] che nel 1933-34 tiene il corso di *Applicazioni di Geometria descrittiva* come professore incaricato[49].

A seguito del pensionamento di Locati, nel 1936 Balducci gli subentra su entrambi i corsi di *Disegno*. La prematura morte (1938) interrompe una promettente carriera. Gli succede l'assistente Aldo Avati[50], che nel 1935 aveva conseguito la libera docenza per *Disegno d'ornato e d'architettura*, e viene richiamato come assistente (1938) l'architetto Emilio Aschieri, figlio di quel Ferdinando che aveva tenuto i corsi di *Geometria* con i due corrispondenti corsi di *Disegno*.

Messo a riposo Avati nel 1947, Emilio Aschieri è incaricato per il corso di *Disegno*[51] e diventa direttore della Scuola di Disegno (fino al 1965) dove ha come assistente Mario Gottardi[52].

Le aule e i gabinetti scientifici in buona parte sono ospitati nel palazzo centrale e si distribuiscono tra il portico Teologico (al piano terreno la Scuola di Architettura, attuale aula VI, e l'Aula di matematica, attuale aula VII (fig. 2);



Fig. 3 – Leopoldo Pollach: l'aula di Fisica

al piano superiore il teatro di Fisica (fig. 3) con gli annessi laboratori) e il cortile sud-orientale del Leano (in particolare le aule poi divenute sale di ricevimento del Rettorato[53]).

Negli anni Trenta la Scuola di Disegno -con la relativa biblioteca, gli studi per i docenti e l'aula con i tecnigrafi- è ospitata nell'edificio dell'Orto Botanico[54].

Intanto la Scuola di Disegno diventa Istituto; più tardi si fonderà con l'Istituto di Topografia e Cartografia, per dare vita all'Istituto di Ingegneria del Territorio.

In seguito all'acquisizione del complesso dell'antico Ospedale, l'aula di Disegno -con la collezione di modelli didattici in gesso- viene trasferita (1954-55)[55] nell'ampio locale della chiesa; negli spazi attigui al piano terreno e al piano superiore trovano sede la biblioteca e gli uffici dell'Istituto di Disegno[56], che

continua a far parte della Facoltà di Scienze.

Nel 1961-62 il rettore Luigi de Caro nel discorso di apertura dell'anno accademico rende pubblica "l'istanza di procedere all'istituzione […] della Facoltà di Ingegneria" e informa che per "avere la disponibilità di terreno sufficiente per erigervi gli Istituti necessari alla Facoltà di Ingegneria, il Consiglio di Amministrazione […] ha autorizzato l'acquisto di un'ampia area di circa 46 mila metri quadrati"[57] in località Cravino.

Si ricomincia dall'elettrotecnica: "Considerando che la maggior parte degli studenti in Ingegneria aspira alla laurea in Ingegneria elettrotecnica, l'Università di Pavia ha inteso presentemente istituire la sola laurea in Ingegneria elettrotecnica"[58], che si innesta sul biennio esistente

L'«Annuario» del 1963-64, nel capitolo *Facoltà in corso di istituzione*[59], porta il prospetto degli insegnamenti del III anno del corso di laurea in Elettrotecnica[60], a cui nell'anno successivo si aggiunge quello del IV anno. I tempi burocratici si rivelano più lunghi del previsto ma, in attesa del Decreto, la Facoltà funziona[61].

Nel discorso d'inaugurazione 1967-68, il rettore Mario Rolla, esprime rammarico per un iter non ancora concluso: "Era mia viva speranza poter dare l'annuncio ufficiale dell'istituzione della Facoltà di Ingegneria […]. Ma le lungaggini burocratiche lo hanno impedito. Il Presidente della Repubblica ha già firmato il corrispondente decreto che porta anche la firma del Ministro Gui. Si attende di giorno in giorno quella del Ministro del Tesoro". Può tuttavia dichiarare: "presto avremo dunque la gioia di salutare l'ottava Facoltà"[62], che infatti verrà attivata a partire dal 1968[63] .

Alla fine degli anni Settanta alla Facoltà fanno capo ormai numerosi istituti: Elettronica, Elettrotecnica, Fisica applicata, Fisica tecnica e macchine, Idraulica, Informatica, Ingegneria del Territorio, Matematica applicata, Meccanica applicata alle macchine, Scienza e tecnica delle costruzioni[64].

Ancora non è pronta una sede e i diversi Istituti sono distribuiti tra il palazzo di Strada Nuova e gli edifici di via Luino e via Sant'Agostino.

Di lì a breve partono i lavori di costruzione del polo universitario al Cravino, su progetto di Giancarlo De Carlo. Nell'autunno del 1985 la Facoltà prende possesso della nuova sede (fig.4).



Fig. 4 - L'Ingegneria al Cravino

[1] Archivio di Stato di Pavia, *Antico Archivio dell'Università*, Rettorato, cart. 119, fasc. 9, *Avviso*, 6 novembre 1786.
[2] *Ivi*, Registri, n. 360.
[3] *Ivi*, Rettorato, cart. 214, fasc 4, lettera di Wilzek al Rettore 4 febbraio 1788.
[4] *Ivi*, Rettorato, cart. 214, fasc 4, lettera 5 ottobre 1795.
[5] *Ivi*, Rettorato, cart. 199, fasc. 2.
[6] *Ivi*, Rettorato, cart. 199, fasc. 2.
[7] *Ivi*, Rettorato, cart. 199, fasc. 2, Lettera 10 ottobre 1819.
[8] *Ivi*, Rettorato, cart. 199, fasc. 2. *Progetto della riforma provvisoria*, Vienna 26 novembre 1825.
[9] Antonio Bordoni (1788-1860), che nel 1808 aveva conseguito a Pavia la laurea in ingegneria-architettura, insegna *Geodesia* e *Idrometria*.
[10] L. Erba, *Gli studi di ingegneria nell'Università di Pavia*, Pavia, Fusi, 1982, pp. 22-23.
[11] P. Mezzanotte, *Appunti per una storia breve delle Scuole di Ingegneria Italiane nei loro sviluppi dal 1861 al presente*, in Atti del XIII Congresso Nazionale degli Ingegneri italiani, Milano 1962, pp. 14 segg. e A. Ferraresi, *La legge Casati, la facoltà Matematica pavese e le origini del Politecnico di Milano*, in «Bollettino della Società Pavese di Storia Patria», 1978, pp. 297 segg.
[12] P. Terenzio, *Di alcune mutilazioni fatte all'Università di Pavia*, s.n.t. [Pavia 1863].
[13] Il diploma di Dottore negli Studi di Ingegnere Civile e Architetto è rilasciato dall'Università di Pavia a Giulio Cerati il 15 giugno 1860.
[14] Francesco Cattaneo (Pavia 1811-1873) nel 1853 teneva il corso di *Architettura civile, stradale e idraulica*.
[15] «Annuario della Regia Università di Pavia» (d'ora in avanti «Annuario»), 1859-60.
[16] Giovanni Battista Vergani da Verdello (1788-1865), prima professore di Disegno a Mantova, viene chiamato nel 1841 alla cattedra di Disegno dell'Università di Pavia, che tiene fino al 1863.
[17] Francesco Brioschi (Milano 1824-1897), aveva conseguito nel 1845 il titolo di "dottore negli studi di ingegnere civile e architetto" nella Facoltà di Scienze dell'Università di Pavia, presso la quale nel 1850 era stato chiamato come supplente di *Architettura idraulica e matematica applicata*.
[18] «Annuario», 1860-61, pp. 10-11.
[19] "Fondatore ne fu il chiaro professore Vincenzo Brunacci nel 1812, e la prima raccolta non solo bastava per quel tempo all'istruzione degl'ingegneri, ma serviva anche a studi superiori. Il celebre Bordoni, allievo del Brunacci [...] gli successe nella cattedra di Geodesia [...]. Il Gabinetto di Geodesia contiene anche una raccolta di apparecchi di Idrometria, scienza nella quale il sullodato Brunacci era maestro, e fra gli altri l'*Ariete idraulico* che servì alle sue celebri esperienze da cui la teoria di questo prezioso istrumento apparve nella sua vera luce. Vi si ammira altresì un bellissimo e grandioso modello in legno delle conche del nostro Naviglio a Porta Garibaldi (fig. 2), e un modello dell'elevatore idraulico, inventato dal Finugio nel 1616, che fu messo in opera in Inghilterra ed encomiato dal Newton". «Annuario» 1899-1900, p. 152
[20] «Annuario», 1861-62
[21] Carlo Pasi (1810-1883) dal 1835 è docente di *Economia rurale* e di *Agraria.*
[22] «Annuario», 1962-63, pp. 8-9 e 15
[23] «Annuario», 1963-64
[24] Ferdinando Brusotti (1839-1899) è noto per aver brevettato una lampada elettrica ad incandescenza V. E. Galafassi, *Le glorie dell'Università nelle discipline matematiche e fisiche*, in *Discipline e maestri dell'Ateneo Pavese*, Milano, Mondadori, 1961, p. 88.
[25] Con un'interruzione nell'anno accademico 1871-72, quando assume l'insegnamento di *Disegno* il dottor Carlo Santamaria.
[26] Luigi Porta (1800-1875) cattedratico a Pavia di *Clinica chirurgica* e *Medicina operativa*.
[27] A. Porro, A. F. Franchini Lavarda, *Il testamento di Luigi Porta (1800-1875)*, in «Bollettino della Società Pavese di Storia Patria», 1998, pp. 319-332.
[28] «Annuario», 1879-80, pp. III e IV.
[29] *Ivi*, p. XIII.
[30] *Ivi*, p. XV.
[31] «Annuario», 1877-78, pp. 78-79.
[32] «Annuario», 1912-13, pp. 182-183.
[33] «Annuario», 1877-78, pp. 80-81.
[34] Ferdinando Aschieri (1844-1907) è membro

del Regio Istituto Lombardo di Scienze e Lettere. Vedi Galafassi, cit., p. 82.

[35] «Annuario», 1878-79, pp. 76-77.

[36] Sebastiano Locati (1861-1939), consigliere dell'Accademia di Belle Arti di Milano, partecipa a prestigiosi concorsi internazionali come quello per la facciata del Duomo di Milano, per la progettazione del Museo di Antichità Egizie al Cairo, per l'Università di San Francisco in California o per il Policlinico José di San Martin a Buenos Aires. Cfr. *Architetto Sebastiano Gius. Locati. Progetti Costruzioni Rilievi*, Rossetti, Pavia, 1936; sull'attività didattica anche L. Erba, *Il neogotico nell'insegnamento per gli Ingegneri nell'Uni-versità di Pavia a cavallo tra Ottocento e Novecento: Giuseppe Sebasiano Locati*, in *Il neogotico nel XIX e XX secolo*, a cura di R. Bossaglia, Milano, Mazzotta, 1989, pp. 206-214

[37] Tranne l'interruzione nel 1921-22 per comando presso la Scuola Superiore di Architettura di Roma. A Pavia il suo corso passa temporaneamente a Giuseppe Bergomi (cfr. «Annuario», 1921-22, II parte, p. 89).

[38] «Annuario», 1905-06, p. 124.

[39] Giuseppe Bergomi di Monza (1877-1934) frequenta a Pavia il biennio di Ingegneria e si laurea Architetto civile nel 1903 a Torino. Nel 1910 consegue la libera docenza.

[40] Adolfo Viterbi di Mantova (1873-1917) "diede indicazioni per la trasformazione di un antico cannocchiale a passaggi in uno strumento dei transiti che tuttora funziona nella torre dell'Università, fece costruire a Milano, sopra sue istruzioni, un tipo di teodolite a ruota dentata, particolarmente adatto all'inseguimento dei palloni […]. E alla Scuola dedicò molta parte della sua attività, come dimostra lo sviluppo che egli diede al Gabinetto di Geodesia di questa Università, corredandolo di un ottimo equatoriale, di un teodolite Salmoiraghi al secondo, di verificatori di livelle, ecc." E. Laura, *Adolfo Viterbi*, (necrologio) in «Annuario», 1921-22, parte II, pp. 387-388

[41] *Relazione letta dal Rettore Magnifico Prof. Luigi Berzolari*, in «Annuario», 1909-10, p. 18.

[42] Le tabelle con i numeri degli iscritti dal 1900 al 1967-68 sono pubblicate in L. Erba, *I corsi per Ingegneri nell'Università di Pavia dalla soppressione dell'Ingegneria (1859) alla riattivazione della Facoltà (1968),* in *Scuole e Facoltà per gli Ingegneri in Pavia*, a cura di I. De Lotto, Como, New Press, 2003, pp. 40-41.

[43] *Relazione del Rettore Magnifico […] O. Ranelletti*, in «Annuario», 1918-19, p. 11.

[44] «Annuario», 1921-22, parte II, pp. 60-61.

[45] «Annuario», 1922-23, p. 178.

[46] *Discorso del Rettore […] Ottorino Rossi*, in «Annuario» 1927-28, p. 15. Si veda anche lo *Statuto della R. Università degli studi di Pavia. Approvato con R. Decreto 14 ottobre 1926*, n. 2130 e modificato con RR Decreti 13 ottobre 1929 n. 222 e 30 ottobre 1930 n. 1931, agli art. 1 e 2, e in particolare all'art. 117 che riporta il piano di studi "per l'attestato di licenza alla Scuola d'Ingegneria" («Annuario», 1930-31, pp. 31 segg.).

[47] Hermes Balducci (1904-1938) affronta con capacità e competenza i campi del disegno e del rilievo. Nel 1930 pubblica *Il rilievo edilizio ed architettonico* (Milano, Hoepli) e nel 1934 consegue la libera docenza per *Rilievo dei Monumenti* e *Disegno d'ornato e di architettura* (cfr. «Annuario», 1934-35, p. 73).

[48] «Annuario», 1928-29, p. 110

[49] «Annuario», 1933-34, p. 91

[50] «Annuario», 1938-39, p. 80

[51] Emilio Aschieri nel 1955-56 svolge anche le *Esercitazioni di Disegno per i chimici*.

[52] «Annuario», 1947-48, p. 73. Dal 1952-53 l'assistente Giampaolo Calvi affianca Mario Gottardi che nel 1955 consegue la libera docenza per *Architettura d'interni, arredamento e decorazioni*, e all'inizio degli anni Sessanta è professore incaricato di *Disegno II*.

[53] *Relazione del Rettore Magnifico Plinio Fraccaro*, in «Annuario», 1958-59, p. 13.

[54] *Relazione del Magnifico Rettore Sen. Prof. Paolo Vinassa de Regny*, in «Annuario», 1936-37, pp. 15-16.

[55] *Relazione del Magnifico Rettore Prof. Plinio Fraccaro*, in «Annuario», 1955-56, p. 19.

[56] *Relazione del Magnifico Rettore Prof. Plinio Fraccaro*, in «Annuario», 1952-53.

[57] «Annuario», 1961-62, pp. 28-29.

[58] *Relazione del Magnifico Rettore Prof. Luigi De Caro*, in «Annuario», 1963-64, p. 9

[59] «Annuario», 1964-65, p. 126.
[60] «Annuario», 1963-64, p. 119.
[61] *Relazione del Magnifico Rettore Prof. Mario Rolla*, in «Annuario», 1965-66, p. 12.
[62] *Relazione del Magnifico Rettore Prof. Mario Rolla*, in «Annuario», 1967-68, p. 13.
[63] La Facoltà di Ingegneria di Pavia viene istituita con D.P.R. 9 giugno 1967, n. 1499, (Gazzetta Ufficiale del 2 maggio 1968).
[64] «Annuario», 1978-81, pp.255-262.

Caterina Mele

Origini e formazione del Politecnico di Torino: dagli esordi alla sua istituzione l'8 luglio 1906

Esordi della cultura politecnica in Italia, il "Politecnico" di Carlo Cattaneo

Le prime scuole "politecniche"[1] italiane, intese come istituzioni educative a carattere permanente sorsero poco dopo la metà del secolo scorso, in seguito all'applicazione della Legge Casati[2] (1859) in territorio sabaudo e nel lombardo-veneto.

Tra l'inizio e la prima m e tà dell' Ottocento la formazione dell'*intelligencia* tecnica, soprattutto in ambito piemontese, era demandata principalmente a strutture pedagogiche estere, come l'Ecole Polytechnique di Parigi, dove un'intera generazione di ingegneri (tra cui Giovanni Plana e Carlo Bernardo Mosca[3]) svolse i suoi studi, oppure sempre a Parigi, come L'Ecole de Ponts et Chaussées.

Gli anni che precedettero la istituzionalizzazione delle scuole politecniche in Italia furono ricchi di riflessioni sul tema dell'educazione e della formazione tecnica, nonchè in generale sui temi della crescita produttiva e del ruolo della scienza e della tecnica nella trasformazione della società. Da questo punto di vista appare particolarmente interessante la docum entazione pervenutaci principalmente attraverso le riviste tecniche e scientifiche e i carteggi di quella prima metà del XIX secolo. Tra le riviste, per la ricchezza e la molteplicità dei contributi in essa contenuti, occorre senza dubbio evidenziare "Il Politecnico" ideata e diretta dal milanese Carlo Cattaneo, in cui, come ricorda la ricercatrice Ornella Selva folta "confluivano due proponibili modelli: riferito all'area anglosassone l'uno ed attento ai legami intercorrenti tra borghesia degli affari, i livelli crescenti di prosperità e l'ampliarsi dei ranghi delle professioni liberali, e all'area continentale l'altro, con il ruolo dominante dello stato quale grande agente del mutamento[4]".

Tra la fine del XVIII secolo e la metà del XIX si instaurò in Italia una cultura scientifica informata alla rivendicazione di una scienza nazionale. In termini generali si può affermare che la visione di una peculiarità scientifica italiana era interpretata secondo due distinte linee di pensiero: l'una di tendenza illumini-



Fig. 1 – Modello di motore a campo magnetico rotante. Torino, Ist. Galileo Ferraris

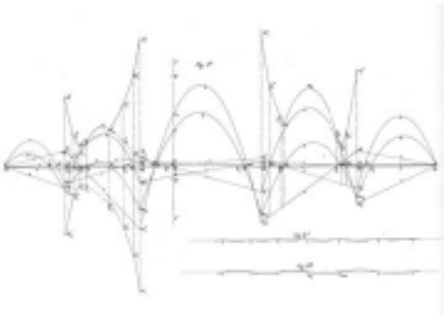


Fig. 2 – F. Dossi, Dissertazione presentata alla R. Scuola d'Applicazione d'Ingegneria, Torino1875

stica ed empiristica, che trovò nel pensiero di Carlo Cattaneo la sua principale definizione, l'altra di carattere spiritualistico e speculativo, legata all'idealismo romantico del primo Ottocento italiano, che rivendicava invece un primato della scienza italica, secondo una linea di pensiero tratteggiata attraverso il Vico e il Gioberti.[5]

La visione della storia di Carlo Cattaneo[6] risiedeva nel criterio generale per cui sono gli uomini nella natura, nella società e nel tempo ad essere i soggetti della storia; in questa visione la scienza consente ai popoli una conoscenza reale del mondo e dà i mezzi per intervenire su di esso. In questa concezione storica e filosofica della scienza di Cattaneo riec-cheggiano anche influenze del pensiero di Alexander Von Humboldt[7], che parlava di una natura (di cui l'uomo e la scienza fanno parte) in continua evoluzione. Nella "Cosmologia"[8] Cattaneo scriveva che "L'istoria delle scienze è un'i-storia del pensiero, non come opera di una mente sola, ma come opera successiva e comune di molti uomini, di molti popoli, di tutto il genere umano", giungendo così alla prospettiva finale di un progresso che conduceva al carattere conoscitivo delle diverse scienze sperimentali tra loro connesse.

Se le scienze sono tra loro correlate è vero tuttavia che è indispensabile al loro progresso una continua specializzazione: "in questo modo il problema della specializzazione scientifica trovava sbocco in una *teoria federalista delle scienze,* ossia in un concetto pluralista delle diverse scienze sperimentali tra loro correlate, ma sostanzialmente indipendenti e libere di svilupparsi nei rispettivi ambiti sperimentali".[9]

L'opera principale attraverso cui diffuse il suo pensiero sulle scienze e sul loro ruolo privilegiato nel favorire il progresso della società civile è la rivista che egli chiamò "Il Politecnico"e che pubblicò a partire dal 1839. Il tipo di sapere scientifico diffuso attraverso il "Politecnico" era rivolto essenzialmente a divulgare conoscenze pratico-applicative e a ribadire il ruolo sociale e civile delle scienze. Sul piano linguistico, la volontà di sviluppare e divulgare una cultura scientifica in chiave applicativa si traduceva in una nuova denominazione con cui venivano indicate le varie tematiche disciplinari, per cui invece di riferirsi alla meccanica e all'idraulica, ci si riferiva invece a "strade ferrate" o a "vie di comunicazione", oppure si faceva esplicito riferimento alla "chimica industriale" o alla "fisica industriale". Grande spazio veniva riservato al problema delle comunicazioni, trattando soprattutto di strade ferrate e di navigazione sul Po. La geologia

interessava soprattutto dal punto di vista dell'indagine sulle materie energetiche, sui combustibili fossili e come studio delle tecniche estrattive.

Il "Politecnico" fu un'opera di grande omogeneità culturale, da cui è quasi impossibile separare i contributi di Cattaneo da quelli dei suoi collaboratori, tutti attivi professionalmente nell'ambiente scientifico e tecnico lombardo.

La figura intellettuale che più nitidamente emerge dagli scritti della rivista è quella dell'ingegnere (idraulico, chimico, industriale ecc.), attorno a cui e da cui si dipana questo nuovo sapere tecnico-scientifico che fu strumento di fattiva trasformazione della società italiana.

Origini e formazione del Politecnico di Torino

Dopo l'entrata in vigore della già ricordata legge Casati del 13 novembre 1859 vennero fondati : la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino (1860), il Regio Museo Industriale Italiano di Torino (1862) e l'Istituto Tecnico Superiore di Milano (1863). Queste istituzioni furono i centri principali di qualificata cultura scientifica e tecnica attorno cui a cavallo tra Otto e Novecento si concentrarono gli insegnamenti per la formazione degli ingegneri in Italia.

In ambito piemontese, prima dell'emanazione della legge Casati, la formazione degli Ingegneri e degli architetti avveniva nell'Università di Torino ed era connotata da studi con forti caratteri teoretici. L'esame pubblico di ingegnere idraulico e di architetto civile prescriveva infatti le seguenti indicazioni: "l'esame pubblico d'Ingegnere Idraulico verserà sulla risoluzione in iscritto, accompagnato da tutti i necessari disegni e calcoli de' materiali, di un tema proposto alcuni mesi prima dal Professore d'Idraulica e sopra tre argomenti, uno d'Idraulica, uno di Meccanica ed uno di Costruzioni (...); l'esame pubblico di Architetto civile verserà sulla risoluzione in iscritto, accompagnato da tutti necessari disegni e calcoli dei materiali, di un tema proposto al candidato alcuni mesi prima dal Professore di Architettura, e sopra tre argomenti, uno di Meccanica, uno di Costruzioni, ed uno di Geometria Pratica".



Fig. 3 – Prima sede del Politecnico di Torino, distrutta nella II guerra mondiale, Torino 1880

Il medesimo atto stabilisce ancora che "quelli che avranno ottenuto il grado di Ingegnere Idraulico, saranno ammessi al pubblico esame di Architetto civile senz'obbligo di fare altro corso, o di sostenere alcun esame privato. Fra il pubblico esame di Idraulica e quello d'Architettura dovrà essere trascorso un intervallo di tre mesi almeno; gli studenti di Matematica potranno consegui-

re la doppia qualità d'Ingegnere Idraulico e di Architetto civile, mediante un solo esame privato ed un altro pubblico."[10]

La Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino

Prospero Richelmy (1813-1884 ingegnere), Carlo Ignazio Giulio (1803-1859 ingegnere), Quintino Sella (1827-1884 ingegnere) e Ascanio Sobrero (1812-1888, medico e chimico) furono i principali promotori della Scuola di Applicazione[11], che, grazie all'articolo 53 della Legge Casati, venne istituita per sostituire il vecchio Istituto Tecnico.

Secondo Prospero Richelmy, primo Direttore della Scuola, i criteri informatori della Scuola di Applicazione per gli Ingegneri dovevano sopperire ad un duplice ordine di necessità : "fornire ingegneri capaci di rispondere ai quesiti posti dalla moderna ingegneria e al tempo stesso promuovere la raccolta di collezioni, l'istituzione di laboratori e di alcuni mezzi di sperimentazione per lo sviluppo delle scienze applicate".[12]

Come si vede la filosofia cui si ispirava la Scuola di Applicazione trovava radici nella tradizione del pensiero positivistico dell'Ottocento e in particolare nella tradizione peculiare piemontese di una scienza insieme sperimentale e pratica.

Nella Scuola di Torino veniva formata una sola categoria di ingegneri, gli "Ingegneri Laureati", con un solo tipo di istruzione "tale da potersi utilmente e facilmente dedicare a qualsiasi ramo dell'ingegneria"[13].

Il R. Decreto del 14 novembre 1867 abolì successivamente la categoria degli ingegneri laureati e introdusse sei nuove categorie di tecnici: gli ingegneri civili, gli ingegneri per le industrie meccaniche, gli ingegneri per le industrie chimiche, gli ingegneri per le industrie metallurgiche, gli ingegneri per le industrie agrarie, e gli architetti.

In seguito nuove variazioni istituzionali[14] ridurranno queste categorie a tre : gli ingegneri civili e gli architetti e gli ingegneri industriali.

Nel primo dei tre anni della Scuola di Applicazione, sia per gli allievi ingegneri, sia per gli allievi architetti, le materie di insegnamento, definite dall'articolo 53 della Legge Casati, erano : Meccanica razionale con esercitazioni, Geodesia teoretica, con esercitazioni; Statica grafica con disegno; Applicazioni della geometria descrittiva con disegno; Chimica docimastica con esperienze. Per gli aspiranti al Diploma di Architetto, le materie del secondo e terzo anno erano invece : Mineralogia e geologia applicate ai materiali da costruzione; Geometria pratica; Meccanica applicata alle costruzioni; Architettura Tecnica; Costruzioni civili e rurali; Economia ed Estimo rurale; Fisica tecnica; Materie Giuridiche.
Inoltre tali materie erano completate con quelle previste nel piano degli studi proprio alla classe di architettura della locale Accademia o Istituto di Belle Arti.[15]

La matrice "politecnica" che va delineandosi negli insegnamenti anche dell'architettura, dalla costituzione della Scuola di Applicazione si nota anche

nella produzione dei progetti d'architettura in Torino, dove gli ingegneri, che appaiono con le loro firme nei progetti edilizi, sono ora fortemente preponderanti (a differenza di quel che era accaduto nel periodo precedente) e sopravanzano nettamente il numero degli architetti che figurano autori di progetti.



Fig. 4 – Museo Industriale Italiano, Torino, foto d'epoca, Archivio MADR Politecnico di Torino

Il Regio Museo industriale italiano

Pochi anni dopo l'Istituzione della Scuola di Applicazione venne istituito il Regio Museo Industriale Italiano di Torino (1862), il cui scopo era di promuovere "l'istruzione industriale e il progresso dell'industria e del commercio". Il Museo industriale venne istituito a Torino grazie all'iniziativa dei commissari generali del Regno d'Italia all'Esposizione internazionale di Londra del 1862, Gustavo Benso di Cavour e Giuseppe De Vincenzi. Quest'ultimo fu il vero ideatore e propugnatore dell'impresa, nonchè il primo Direttore a partire dal 30 novembre 1860.

Negli altri paesi i musei di arti e mestieri (i più famosi erano forse il Conservatoire National des Arts et Mètiers di Parigi e il South Kensington Museum di Londra) erano le istituzioni naturalmente preposte alla diffusione dell'istruzione tecnica e dei sistemi industriali più moderni.

A quelle iniziative ed esperienze si ispirò il senatore De Vincenzi, per fondare nel 1862 il Museo Industriale in Torino, allora capitale del Regno italico.

In una memoria del primo Novecento, il Museo Industriale Italiano di Torino (unico in Italia) veniva descritto come sede "per conservare e accogliere un'esposizione permanente - storica e progressiva - di oggetti ordinati scientificamente, relativi all'industria. Inoltre esegue analisi, determinazioni e copie di disegni per conto di committenti pubblici e privati e distribuisce informazioni e mezzi di studio e di ricerca nel campo industriale.

Il museo inoltre è un istituto d'istruzione industriale superiore e mediante insegnamenti teorici ed esercitazioni pratiche concorre con la Scuola di Applicazione alla formazione degli ingegneri industriali e civili"[16].

Non solamente gli allievi ingegneri erano ammessi frequentare i corsi tenuti presso il Regio Museo, ma chiunque privato cittadino poteva accedere alle lezioni e ai laboratori. Come ricorda lo storico Carlo Olmo " Ciò che De Vincenzi promuove e ciò che si realizza nel Museo Industriale non è la formazione di un tecnico intellettuale, o di un ingegnere, se si vuole industriale (già del resto codificato per molti aspetti nella Scuola di Applicazione), ma la creazione di una struttura intesa come luogo di un complesso scambio tecnologico, in

cui l'idea di crescita è legata alla mobilità delle figure tecniche."[17]

Alla fine dell'Ottocento, nel Museo di Torino avevano luogo i seguenti istituti : una scuola, con laboratorio di elettrotecnica, che era diretta da Galileo Ferraris (da cui poi prese il nome), un'altra scuola con laboratorio di elettrochimica; un gabinetto di economia politica (annesso e al museo e all'Università) diretto da Salvatore Cognetti de Martiis da cui prese il nome.

Un dato interessante emerge dall'esame delle tesi di laurea pubblicate tra il 1868 e il 1882. I loro contenuti prescindevano dal titolo accademico conseguito, non vi era infatti nessuna differenza tra un ingegnere meccanico e un ingegnere civile o un architetto. Poteva accadere che un ingegnere civile presentasse una tesi avente per oggetto le turbine o viceversa un ingegnere meccanico svolgesse una tesi sulla progettazione di tettoie in ferro.

Questi elementi concorrono a disegnare un quadro della formazione politecnica di quegli anni informata ad un sapere unitario, privo di specializzazioni, flessibile e in grado tuttavia di interloquire efficacemente con le richieste di innovazione e sviluppo della società[18].

La Scuola di Applicazione per gli Ingegneri e il Regio Museo Industriale procedettero affiancati finchè la legge n.321 dell'8 luglio 1906 li fuse in un unico istituto di istruzione tecnica superiore, alle dipendenze del Ministero della Pubblica Istruzione, denominato *Politecnico.*

Il Politecnico di Torino

All'inizio del Novecento, Giulio Boselli, presidente della Giunta direttiva del Museo Industriale, per primo avanzò la proposta di rendere più intensi i vincoli che già esistevano tra il Museo Industriale e la Scuola di Applicazione. L'idea della fondazione in un unico istituto si concretò in una petizione al Governo che grazie al parere favorevole del presidente del Consiglio, Giovanni Giolitti portò alla nomina di una commissione composta dai senatori Stanislao Cannizzaro (chimico), Valentino Cerruti (ingegnere) e Vito Volterra (matematico) con l'incarico di studiare l'argomento, facendo raffronti con le istituzioni politecniche estere.

L'istituzione del Politecnico[19] di Torino venne sancita con la legge dell'8 luglio 1906 n.321 poi seguita dall'approvazione del regolamento relativo[20].

La nuova istituzione il Politecnico si muoveva su linee di autonomia didattica e amministrativa e suoi scopi erano "sia la formazione degli ingegneri e degli architetti, sia la promozione di studi mirati a favorire in generale lo sviluppo industriale e commerciale della nazione, mediante collezioni, laboratori e corsi di perfezionamento di industrie speciali"[21].

All'istituzione di un Politecnico a Torino non fece riscontro un'analogo processo a Milano che trasformò l'Istituto Tecnico Superiore in un Politecnico solo nel 1937.[22]

Lo svolgimento della didattica nel primo periodo di attività del Politecnico di Torino (1906-1923) continua a

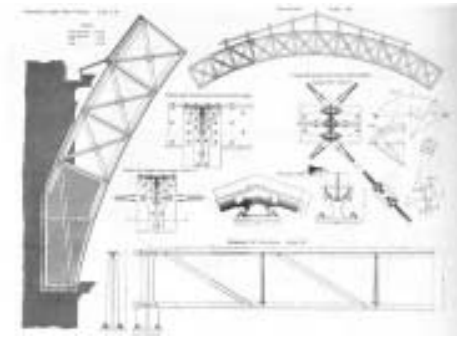


Fig. 5 – G. Raffanini, Dissertazione presentata alla R. Scuola d'Applicazione d'Ingegneria, Torino1875

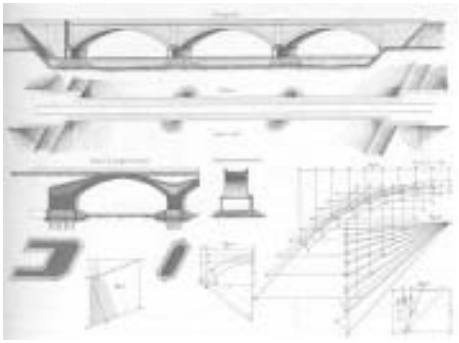


Fig. 6 – R. Carughi, Dissertazione presentata alla R. Scuola d'Applicazione d'Ingegneria, Torino 1873

presentarsi con quei caratteri di predominio delle discipline più a carattere tecnico ingegneristico già denotati dalla legge Casati.

Dagli annuari del Politecnico di Torino si vede che negli anni tra il 1906 e il 1923 (anno della Riforma Gentile e dell'Istituzione della Scuola di Ingegneria) i corsi di laurea istituiti erano undici, di questi i corsi di Ingegneria Civile, di Ingegneria Industriale Meccanica, di Ingegneria Industriale Chimica e di Architettura erano articolati in cinque anni, mentre il corso Superiore di Elettrotecnica, il corso di Perfezionamento di Ingegneria Mineraria e il corso Superiore di Elettrochimica avevano durata di tre anni, il corso di Perfezionamento di Industrie Meccaniche ed Elettriche durava due anni, vi erano poi dei corsi liberi com p lem e ntari in Costruzioni Elettromagnetiche, Telegrafia e Telefonia, Tecnologia degli Impianti elettrici, Tecnologia della Carta, Ventilazione e Riscaldamento, Aereonautica.

Il corso di Architettura, articolato in cinque anni di corso, comprendeva trenta insegnamenti dove accanto alle materie di Disegno (disegno d'Ornato, disegno d'Architettura, Geometria Descrittiva), vi erano materie scientifico-matematiche come Analisi Matematica, Fisica Sperimentale, Meccanica Razionale, Scienza delle Costruzioni Termotecnica ed Elettrologia, e insegnamenti di storia e stili dell'Architettura. Per essere iscritti al Corso di Architettura bisognava inoltre superare una prova pratica di attitudine tecnico-artistica.

Il problema dell'insegnamento dell'Architettura e dell'integrazione tra Arte, Scienza e Tecnica, come acutamente aveva a suo tempo auspicato Carlo Promis[23] circa mezzo secolo prima non sarà mai interamente risolto. Di fatto pochissimi architetti risultano laureati in questi primi anni di istituzione del Politecnico.

Nel 1908 un'apposita commissione presieduta da Paolo Boselli, tra cui figurano anche Piero Giacosa presidente dell'Accademia Albertina di Belle Arti e l'architetto Ernesto Spurgazzi tenterà, ma senza grandi esiti, di fissare nuo-

ve basi per un insegnamento meno dipendente dai corsi scientifico-tecnici dell'ingegneria, proponendo per i corsi di carattere artistico di valersi dell'Accademia di Belle Arti.

La crisi finanziaria, non solo interna del Politecnico, ma di tutta l'economia italiana, e l'eccessivo numero di iscritti, provocarono, negli anni immediatamente seguenti il primo conflitto mondiale un generale scadimento degli studi di ingegneria. La riforma auspicata da Giovanni Colonnetti direttore del Politecnico dal 1922, fu attuata con il decreto del 21 aprile 1923 del Nuovo Ministro dell'Educazione nazionale Giovanni Gentile, che istituì le "Scuole di Ingegneria". Tale riforma era centrata su alcuni cardini: innanzitutto sbarrava l'iscrizione agli studi universitari agli studenti provenienti dagli Istituti Tecnici e in secondo luogo istituiva una didattica basata sull'esame di gruppo come strumento di severa selezione. Si trattava cioè di un esame composto da più prove scritte ed orali sul complesso delle materie svolte durante l'anno.

Tale meccanismo di selezione fu da subito ritenuto troppo selettivo[24] e pertanto già nel 1926 un Regio Decreto abolì l'esame di gruppo sostituendolo con un esame di licenza dopo il primo biennio.

Verso la fine degli anni Venti la struttura degli insegnamenti del Politecnico (ora Scuola di Ingegneria) di Torino era così impostata: un biennio, fisico-matematico, a carattere propedeutico uguale per tutti gli allievi. Al terzo anno si poteva scegliere tra Ingegneria Civile ed Ingegneria Industriale che però avevano in comune gli esami di Scienza delle Costruzioni, Topografia, Chimica Docimastica ed Analitica, e Meccanica Applicata; al quarto anno insegnamenti comuni erano Idraulica e Macchine Idrauliche, Elettrotecnica, Termotecnica ed Economia Politica.

All'ultimo anno infine i Civili potevano iscriversi alla sottosezione Edile o a quella Idraulica e per le Ferrovie, mentre gli Industriali si potevano indirizzare verso le sottosezioni Meccanica, Elettronica, Chimica e Mineraria.

Il profilo dell'ingegnere quale veniva delineandosi nei primi decenni di questo secolo, era quindi perfettamente in linea con quella tradizione peculiare della cultura tecnica scientifica piemontese che traeva le sue più antiche radici nel modello dell'Ecole Polytechnique e in quell'empirismo teorico e pratico affermatosi dai tempi dei vari Michelotti, Plana e Bidone.

L'Ingegnere della Scuola di Ingegneria ai tempi di Colonnetti era un tecnico capace di operare una felice sintesi tra la teoria e la pratica, tra scienza pura e applicativa, con la capacità di affrontare i problemi specifici senza mai perdere di vista il problema complessivo. La qualità perseguita tenacemente nella formazione privilegiava la flessibilità e l'adattabilità, gli ingegneri della Scuola dovevano infatti poter essere impiegati in svariati ruoli e in diversi tipi di industrie

In sintesi si può affermare che l'evoluzione della Scuola di Ingegneria, vide affermarsi, nel corso degli anni Venti e

Trenta, una crescente compenetrazione tra formazione e mondo dell'industria.

Nel 1935 fu promulgata una legge che prescriveva la trasformazione in facoltà di tutti gli Istituti superiori e la loro unificazione con le università locali. La Scuola di Ingegneria optando per la piena autonomia si diede un nuovo nome e un nuovo assetto. Il ricostituito Politecnico era composto da due facoltà, quella di Ingegneria e quella di Architettura, governato da un Rettore analogo a quello dell'Università e caratterizzato da autonomia di gestione anche economica e finanziaria.

Dopo la seconda guerra mondiale il Politecnico di Torino ha seguito le vicende, analoghe a quelle delle altre facoltà universitarie italiane, del progressivo innalzamento (fino al 140 per cento tra il 1958 e il 1968, con un rapporto studenti-docenti passato negli stessi anni da 1 a 10 a 1 a 19)[25] del numero degli iscritti e dell'allargamento dell'insegnamento a nuove specializzazioni disciplinari. Tuttavia, almeno fino agli inizi degli anni '60, la scuola mantenne quasi inalterate le sue peculiarità legate ad una concezione della formazione tecnica intesa essenzialmente come acquisizione critica di strumenti di base non troppo specialistici, grazie anche alla continuità di gestione dell'insegnamento esercitata per lunghi decenni da personaggi come Colonnetti, Brunelli, Perucca, Albenga, Capetti.

[1] Il termine deriva dal greco e indica una pluralità di tecniche.

[2] La Legge Casati del 13 novembre 1859 per la prima volta regolamentava e disciplinava l'educazione scolastica delle scuole italiane.

[3] Di Giovanni Plana è molto famosa la sua complessa opera sul moto lunare. A lui va il merito di aver introdotto per primo in Italia un programma scientifico fondato sul metodo di Laplace. Carlo Bernardo Mosca (1792-1867), si formò all'Ecole Polytechnique e all'Ecole des Ponts et Chaussés di Parigi; a lui si devono innumerevoli opere di ingegneria civile ed idraulica realizzate in territorio piemontese.

[4] In O. Selvafolta, 1995, *Contro le "costose apparenze": considerazioni sulla storia della formazione degli ingegneri,* in A.M. Zorgno (a cura di), *Materiali tecniche progetto,* Milano 1995, p. 30.

[5] Cfr. P. Redondi, *Cultura e scienza dall'Illuminismo al Positivismo,* in "Annali della Storia d'Italia", vol. 3°, Einaudi, Torino 1980, pp. 679-685.

[6] Sul pensiero e sulle opere di Carlo Cattaneo cfr. essenzialmente P. ROSSI, *Umanesimo e positivismo nel pensiero filosofico di Carlo Cattaneo,* in "Giornale Critico della Filosofia italiana", XXIII, 1952, pp. 208-217; N. Bobbio, 1971, *Una filosofia militante. Studi su Carlo Cattaneo,* Torino; L. Geymonat, R. Tisato, 1971, *Il Pensiero filosofico e pedagogico italiano nella prima metà dell'Ottocento,* in L. Geymonat, *Storia del pensiero filosofico e scientifico,* IV, Milano 1971, pp. 67-81.

[7] Humboldt teorizzava l'accesso ad una visione complessiva della natura attraverso la via sperimentale ed osservativa, cfr. A. von Humboldt, *Cosmos, essai d'une description physique de la nature,* Paris 1855; nel VII numero del "Politecnico", 1844, Carlo Cattaneo presentò espressamente il"Kosmos" di von Humboldt.

[8] C. Cattaneo, *Cosmologia,* in SF, II, p. 34, cit. in P. Redondi, *op. cit.*

[9] P. Redondi, *op. cit.,* p. 741.

[10] Citato in G.M. Lupo, *La cultura politecnica da Casati a Gentile,* in "Storia Illustrata di Torino",

vol. 7°: *"Torino dal fascismo alla Repubblica"*, Torino 1993, pp. 1881-1882.

[11] Fondata dopo la promulgazione della legge Casati con il *"Regio decreto che approva il regolamento della Scuola di Applicazione degli Ingegneri laureati in Torino,* 17 ottobre 1860, n. 4338.

[12] Cit. in G.M. Lupo, *op. cit.,* p. 1884.

[13] Prospero Richelmy citato in G.M. Lupo, *op. cit.,* p. 1884.

[14] Si tratta del Regio Decreto dell'8 ottobre 1876 e del Regio Decreto del 3 luglio 1879.

[15] Cit. in G.M. Lupo, *op. cit.,* p. 1886.

[16] Cit. in G.M. Lupo, 1993, *op. cit.,* p. 1890.

[17] C. Olmo, *Formazione professionale e culture tecniche nel Piemonte della seconda metà dell'Ottocento,* in A.M. Zorgno (a cura di), op.cit., p. 20.

[18] Cfr. C. Olmo, *op. cit*., pp. 22-23; pure dello stesso autore il contributo *L'ingegneria contesa. La formazione del Museo Industriale,* in *Tra Scienza e Tecnica. Le esposizioni torinesi nei documenti dell'archivio storico Amma, 1829-1898,* a cura di Pier Luigi Bassignana, 1992, pp. 103-122.

[19] La più completa e dettagliata storia delle vicende che portarono alla formazione del Politecnico di Torino è stata scritta da G.M. Pugno, *Storia del Politecnico di Torino,* Torino 1959.

[20] Regio Decreto che approva il Regolamento per il Regio Politecnico di Torino del 5 Gennaio 1908, n. 98.

[21] Cit. in G.M. Lupo, *op. cit.,* p. 1984.

[22] Con il Regio Decreto 29 luglio 1937, n. 1451.

[23] Carlo Promis, Ingegnere e Architetto Civile (1808-1973), dedicò gran parte delle sue energie all'aggiornamento e al rinnovamento degli studi di Architettura. Sulla figura e sull'opera di Carlo Promis vedasi principalmente il catalogo della Mostra *"Carlo Promis Professore di Architettura Civile agli esordi della cultura politecnica"* a cura di V. Fasoli e C. Vitulo, Torino 1993.

[24] Nel primo anno di applicazione della riforma, l'anno 1923-24 la percentuale dei promossi raggiunse appena il 40 per cento. Si ebbero subito vive reazioni tanto da parte degli studenti quanto da parte di docenti. Cfr. F. Levi, *Gli sviluppi del Politecnico,* in "Storia Illustrata di Torino", vol. 8: *"Torino tra ieri ed oggi"* , Torino 1993, pp. 2241-2258.

[25] Per questi e ulteriori dati sul numero degli iscritti nei vari anni al Politecnico di Torino cfr. F. Levi, *op. cit.,* pp. 2257-2258.

Sigfrido Leschiutta

I primi ingegneri elettrotecnici del Regio Museo Industriale di Torino

Introduzione

Le vicende del Regio Museo Industriale di Torino costituiscono un interessante caso di come una scuola destinata a preparare operai o tecnici, possa diventare una Università, sia pure attraverso travagliate vicende. Presso questa Istituzione operò Galileo Ferraris, la Scuola preparò, sia pure con alcune particolari caratteristiche che verranno più oltre esposte, circa 1200 "ingegneri" Elettrotecnici, tra il 1886, anno di inizio del primo corso di elettrotecnica presso il Museo sino al 1905, anno della confluenza nel Politecnico di Torino.

Scopo di questa nota è una esposizione dei criteri di formazione degli allievi e delle modalità e dei risultati di questa attività. A tal fine nella prossima sezione verranno ricordate le varie fasi che portarono alla istituzione del Regio Museo Industriale ed al suo faticoso inserimento nella strutture didattiche presenti nella Città, dopo aver presentato alcuni criteri che presiedettero in tutta Europa alla nascita degli insegnamenti di Ingegneria Elettrica.

La terza sezione considererà l'introduzione delle discipline elettri-che, unitamente alla formazione del corpo docente mentre nella quarta sezione verrà presentato il ruolo tutto speciale assunto dal Museo per la formazione di Tecnici appartenenti alla Amministrazione dello Stato. Il piano degli studi viene presentato nella sezione cinque assieme al carico didattico proposto ed ai risultati. Buona parte delle attività erano sperimentali, ma intensa era pure la attività di ricerca, che nel giro di una decina di anni portò ad alcuni risultati a livello mondiale, come la individuazione dell'equazione del trasformatore, la organizzazione di una esposizione internazionale di Elettrotecnica e la assidua e fattiva partecipazione a Congressi e Manifestazioni internazionali.

L'ultima sezione consiste in una estesa Bibliografia su Uomini, eventi e risultati delle attività di formazione avviate a Torino. I numeri in apice si riferiscono alle note a piè di pagina che sono riunite alla fine della nota, mentre i numeri tra parentesi quadre si riferiscono alla bibliografia che è ordinata seguendo le chiamate nel testo.

La nota è basata soprattutto sugli Atti di tre congressi [1,2,3] tenuti in Francia ed organizzati dall'A.H.F.E: (Association Historique Française pour l'Electricité), su testi coevi di elettrotecnica ed illuminotecnica esistenti presso la Biblioteca dell'Istituto Elettrotecnico Nazionale, sul materiale raccolto presso l'I.E.N. durante l'organizzazione di due Convegni rispettivamente su Ferraris [4] e su Giorgi [5] e su articoli che verranno via via citati, tra i quali sono comun-

que da citare tre memorie delle Dottoresse A. Ferraresi [6] e A. Guagnini [7,8].

2. *Nascita a Torino di una Scuola di Ingegneria Elettrotecnica*

2.1 *Come e perché nasce una scuola di ingegneria elettrotecnica*

Si è creduto di individuare [9] alcune delle condizioni, ovviamente non tutte necessarie, che presiedevano alla nascita di una Scuola di Ingegneria Elettrotecnica negli anni attorno il 1880.

Questi criteri sono la esistenza, nel luogo, di un "esperto" sapiente e riconosciuto da altri, l'esistenza di bisogni locali, come la necessità di creare od amalgamare conoscenze, il favorire un'industria che nasce, il creare nuovi campi di applicazione, il dover combattere un declino industriale e sociale da combattere. Utile è pure la presenza nella Città di una qualsiasi struttura, possibilmente accademica, che possa "riconoscere" in qualche modo gli studi effettuati ed ottenerne anche il riconoscimento da terzi. Molte di queste condizioni erano presenti in Torino attorno il 1870.

Necessaria o opportuna la disponibilità di fondi adeguati, la presenza di un mecenate od una condizione di emergenza tale da convincere dei politici illuminati ad investire in formazione.

2.2 *Come e perché nacque una scuola di Ingegneria Elettrotecnica a Torino*

Alla nascita di una scuola di ingegneria a Torino presiedono due fatti, uno locale, l'altro legato al fatto che l'Italia unita dal 1870 era una giovane Nazione appena costituita, sprovvista di adeguate strutture e servizi.

2.2.*1 La crisi della Città*

La perdita del ruolo di capitale: nel 1865 la Capitale venne spostata a Firenze e nel 1871 a Roma, con la conseguente perdita di numerose attività dirette ed indirette:

· il trasferimento di tutta la Burocrazia nazionale a Roma,

· il trasferimento di parte delle attività militari e di alcune attività commerciali,

· La città perde in meno di 10 anni, 30 000 abitanti sui 300 000 esistenti prima del 1865; inoltre quanti si erano trasferiti, appartenevano ad classi sociali affluenti che inducevano consumi che creavano quindi ricchezza.

Nacque così una verae profonda crisi sociale, con disordini e conse-guenti repressioni.

Furono tentati, tra altri, questi rimedi:

· migliorare l'afflusso di energia idraulica verso la Città[1],

· l'organizzazione di Esposizioni Nazionali ed Internazionali,

· la formazione del Regio Museo Industriale, con due ruoli:

- scuola di tecnologia;
- deposito di modelli di macchine e merci.

2.2.2. *La situazione nazionale. Necessarie unificazioni e creazione di competenze*

La nuova Nazione Italia doveva inoltre risolvere numerosi problemi sia di

educazione tecnologica sia di *diffusione delle nuove tecnologie*; si doveva, ad esempio, tendere:

· alla formazione di una classe di funzionari pubblici e di ufficiali delle varie armi, in maniera che tutti avessero una base comune di conoscenze tecnologiche,

· al raggiungimento di una unificazione tecnologica nei servizi.

Ad esempio nel 1865, prima dell'Unità, erano in servizio nella Penisola nove sistemi telegrafici diversi ed esistevano almeno sei Accademie militari. Inoltre molto diversa era la formazione degli Ufficiali delle Armi dei vari Eserciti esistenti nell'Italia preunitaria.

2.3 *Le proposte e la nascita del Regio Museo*

Un membro del Parlamento piemontese, il senatore De Vincenti, di ritorno da Londra ove aveva visitato nel 1851 la Esibizione di Londra avanzò una prima proposta di costituire in Torino una struttura simile per scopi al Kensington Museum o al Conservatoire Arts et Métiers parigino. La proposta maturò lentamente, ma nel 1863 De Vincenti, in occasione della London Exibition di quell'anno, tornò da Londra con materiali, macchine, modelli e libri; nello stesso anno venne emanato un Decreto Reale che sanciva la costruzione di un Regio Museo Industriale.

Questo Museo non doveva essere solo una esibizione permanente di oggetti, ma aveva altri scopi :
- la promozione del progresso industriale e tecnologico e la diffusione della cultura scientifica;
- la formazione di tecnici ed ingegneri.

Per il primo scopo, il Museo propriamente detto, si seguirono due linee di azione:
- assegnare al Museo il deposito dei brevetti e costituire una raccolta di modelli industriali con le loro relative caratteristiche, progetti e modalità di uso, che doveva essere a disposizione del pubblico;
- organizzare delle esposizioni periodiche; per la Elettricità la più ragguardevole risultò quella del 1884, sia per l'area coperta -440 000 m^2-, il numero degli espositori -14.237-, quello dei visitatori -quasi tre milioni-, ma, per quello che ci riguarda, per altri tre motivi:
- l'introduzione del tema elettricità;
- l'esperimento di trasporto di elettricità alternata a Torino a Lanzo, sotto la supervisione di una commissione internazionale e per iniziativa del Ferraris;
- l'esposizione dei "generatori secondari", cioè dei trasformatori , che furono oggetto da parte del Ferraris a tutta una serie di esperimenti e di misurazioni che lo portarono a individuare l'equazione che guida il progetto del dispositivo.

Il raggiungimento del secondo scopo –la formazione di tecnici e di ingegneri– richiese di affrontare e risolvere numerosi problemi che qui vengono solo accennati, ma che sono ben documentati unitamente alla storia della Istituzione [10,11,12,13,14,15, 16,17,18, 19,20,21,22,23,24,25,26,27, 28,29,30].

I problemi dell'inserimento del Museo tra le attività "didattiche" presenti nella Città, provocò degli attriti con

un'altra struttura torinese, la Scuola di Applicazione, che aveva il carattere di Università e che era attiva sin dal 1859.

Un compromesso tra le due Istituzioni venne raggiunto nel 1879. La Scuola di Applicazione, che dipendeva dal Ministero della Educazione, con i docenti nominati dalla Facoltà di Matematica della Università, avrebbe preparato ingegneri civili ed architetti.

Il Museo, che dipendeva dal Ministero di Agricoltura, Industria e Commercio, avrebbe formato ingegneri in argomenti tecnici, insegnanti per le scuole tecniche, direttori di officine industriali e capi officina.

La struttura, i corsi, la organizzazione interna, il reclutamento dei docenti del Museo erano flessibili e quindi esistevano le condizioni per inserire, sia pure progressivamente, una nuova disciplina elettrica.

Nel 1905-6 le due Istituzioni si fusero, formando l'attuale Politecnico di Torino [31].

3. *Un ruolo speciale per il Museo*

Il Regio Museo Industriale con la sua Scuola Superiore di Elettricità adempirono anche al ruolo particolare cui si è accennato e cioè di formazione o di aggiornamento per funzionari pubblici mandati in missione o erano Ufficiali delle varie Armi.

Il numero di questi particolari allievi divenne presto rilevante.

Questi allievi si aggiungevano a quanti frequentassero già la Scuola, ma, a volte, non erano particolarmente motivati, perché la frequenza faceva parte del loro servizio, d'altra parte i sussidi ministeriali al Regio Museo erano proporzionali al numero totale degli allievi. Per questo ultimo motivo questi particolari allievi non potevano essere scoraggiati dalla severità degli studi.

La soluzione trovata fu nel senso che le persone che provenissero dalla Amministrazione o dalle Armi e che quindi non studiassero per divenire Ingegneri o per lavorare professionalmente nella Elettrotecnica, erano tenuti alla sola frequenza delle lezioni e dei laboratori.

Per questa frequenza ricevevano un regolare attestato, ma non dovevano sostenere un esame formale, ne' si "laureavano". Naturalmente, quanti desiderassero laurearsi, erano tenuti a sostenere regolari esami teorici e sperimentali, oltre alla frequenza dei laboratori e, naturalmente, preparare una tesi.

4. *Piano degli Studi e popolazione degli allievi*

Nelle tabelle sono riportate le materie, i docenti ed il numero degli Studenti, per due periodi, tra l'inizio della Scuola e la morte del Ferraris, avvenuta nel 1897 e dopo il 1897, quando si avvicinava il trasferimento, avvenuto ne 1900, della Scuola nell'edificio che il Politecnico occupò sino al 1942. Notizie sugli edifici della Scuola, aule ed attrezzature sono disponibili[2]. I dati numerici riportati in queste tabelle sono stati cortesemente forniti dalle Dottoresse A. Ferraresi [6] e A. Guagnini [7,8]. Nel 1901 furono aggiunti Costruzioni Elettromeccaniche con E. Morelli e Telegrafia e Telefonia affidato ad A. Artom.

Corsi di Elettrotecnica al Regio Museo Industriale tra il 1890 ed il 1897

materia	docenti
Fondamenti scientifici della Elettricità	Galileo Ferraris
Metodi industriali di produzione della Elettricità	Galileo Ferraris
Applicazioni tecniche	Riccardo Arnò
Misure Elettriche	Riccardo Arnò
Laboratorio	Alessandro Artom - Lorenzo Ferraris

Nella tabella sottostante sono elencati, nella prima colonna, il totale degli iscritti alla Scuola di Ingegneria elettrotecnica presso il Regio Museo industriale e nella seconda quanti conseguirono la Laurea sino alla confluenza con il Politecnico. Nelle note [7,8,9] sono forniti alcuni dati sulle carriere professionali di 378 ingegneri, sul totale di 653 laureati nel periodo 1887-1899.

Corsi di Elettrotecnica al Regio Museo Industriale dopo il 1898

Materia	Insegnante	Ore/set.
Fondamenti scientifici	G. Grassi	2
Produzione industriale e applicazioni	G. Grassi	3
Misure	F. Lori	3
Laboratorio	L.Ferrari, A.Artom, C.Castelnuovo	9
Costruzioni elettromeccaniche	E.Morelli	1
Telegrafia e Telefonia	A. Artom	1

anno	iscritti	laureati
1886-1887	24	12
1887-1888	22	2
1888-1889	19	6
1889-1890	23	9
1890-1891	26	11
1891-1892	27	5
1892-1893	30	14
1893-1894	35	9
1894-1895	56	22
1895-1896	83	40
1896-1897	77	32
1897-1898	101	49
1898-1899	130	49
1899-1900	93	41
1900-1901	88	39
1901-1902	96	44
1902-1903	64	33
1903-1904	58	28
1904-1905	69	

La tabella riporta le occupazioni più frequenti

libera professione	71		Esercito e Marina	67		Funzionari statali	47
ferrovie	37		insegnamento	27		Centrali elettriche	24
Ingegn. meccanica	20		Macchine elettriche	20		Ingegn. chimica	10
Ingegn. mineraria	10		Telefonia	3		altro	41

Nella seguente tabella sono riportate infine le cifre dei laureati del solo Politecnico e cioè dopo il 1905.

Anni	allievi ingegneri (con tesi e laurea)
1905-1906	***19***
1906-1907	***17***
1907-1908	***18***
1908-1909	***20***
1909-1910	***11***

[1] È noto il celebre episodio del fallimento del canale della Ceronda, che avrebbe dovuto risolvere la carenza dì acqua della Dora e che invece costrinse alla installazione di pompe mosse a vapore che sollevavano l'acqua del Po sino ai canali cittadini che alimentavano alcune industrie. Il carbone proveniva per Cardiff sino a Savona e da qui veniva trasportato a Torino. Vedi *Acque, ruote e mulini a Torino*, a cura di G. BRACCO, Archivio Storico della Città di Torino, Torino, 1988.

[2] A.M. RIETTO, S.LESCHIUTTA, *The first electrical engineers in Torino*, pp. 319-340 in [3].

Sigfrido Leschiutta

*La nascita dell'ingegneria elettrica in Europa**

Introduzione

Come è ben noto, impetuoso e rapido fu lo sviluppo dopo il 1880 circa dell'industria elettrotecnica, con la conseguente necessità di disporre di una nuova figura professionale, che è appunto l'ingegnere elettrotecnico.

I tipi precedenti di formazione non potevano soddisfare quest'esigenza, particolarmente rilevante in un momento nel quale l'approccio empirico doveva essere sostituito da un approccio razionale.

Scopo di questa nota è appunto quello di presentare alcuni elementi di riflessione, sia sullo sviluppo delle scienze elettriche sia sulle peculiari forme sia questo nuovo tipo di formazione, per il quale non esistevano precedenti, assunse in alcune nazioni.

Per vari motivi le nazioni considerate sono state Belgio, Francia, Germania, Inghilterra, Italica, Russia e Stati Uniti.

Nella prossima sezione al fine di dare un'idea della vastità dei compiti che attendevano l'ingegnere elettrotecnico, non ultimo quello di costruire la scienza e la tecnologia che poi avrebbe dovuto applicare, si presenterà in forma molto sintetica lo stato delle conoscenze scientifiche e tecniche verso il 1875, quando si verificò uno sviluppo rapidissimo di una vera e propria industria che serviva un mercato già complessivo, con oggetti già "standardizzati"[1] ed unificati, anche sulla base di un nuovo sistema di misura. Mancava ancora quella figura professionale specifica che oggi chiamiamo ingegnere elettrotecnico.

Nella terza sezione si presenteranno alcuni dei criteri che presiedono alla nascita di una scuola d'ingegneria in un certo momento, in una certa situazione anche sociale, in una città, mentre nella quarta sezione si considereranno otto esempi nazionali, due dei quali italiani.

La quinta sezione verifica come e se i criteri di carattere generale presentati nella sezione tre si applicano ai vari vasi, mentre la sesta ed ultima sezione presentano alcune osservazioni e conclusioni.

I numeri in apice si riferiscono alle note a pie' di pagina raccolte alla fine del testo, mentre i numeri tra parentesi quadre i riferiscono alla bibliografia che è ordinata seguendo le chiamate nel testo.

La nota è basata soprattutto sugli atti di due congressi [1,2] ed altre pubblicazioni curate dalla A.H.F.E: (Association Historique Française pour l'Electricité), su numerosi testi coevi di elettrotecnica o illuminotecnica, esistenti presso la Biblioteca dell' Istituto e sul materiale raccolto presso l'I.E.N. durante l'organizzazione di due convegni rispettivamente su Ferraris [3] e su Giorgi [4] e su articoli che verranno via via citati.

Un panorama delle cognizioni scientifiche e delle realizzazioni tecniche verso il 1875

Per valutare la situazione delle discipline elettriche quando, verso il 1880 si formano i primi ingegneri, si presenta un panorama sommario delle conoscenze:

· Conoscenze teoriche: tutte le leggi che usiamo ancora oggi,

· Operatori: fisici, ingegneri, (in proporzioni diverse), diplomati in scuole professionali, tecnici, ma mancano ingegneri con una specifica preparazione professionale,

· Strumenti: Voltmetro, amperometro, ohmetro, wattmetro, ecc,

· Macchine: dinamo, alternatori, trasformatori, motori con induzione, forni elettrici, elettromagneti,

· Applicazioni: Trasmissione di energia a distanza, telefono, trazione elettrica,elettrochimica, telegrafia, telefonia, galvanoplastica, elettrometallurgia, elettrodomestici.

· Metrologia elettrica; alla fine del secolo si formano il BIPM -Bureau International Poids et Mesures-Ente Internazionale- [2], il PTR (Physikalish-technisches Reichanstalt oggi PTB-Bundesanstalt, in Germania), il NPL (National Physical Laboratory) in Inghilterra, il NBS National Bureau of Standards –oggi NIST– National Institute for Scienze and Technology, e le prime organizzazioni internazionali tecnico-scientifiche, c negli Stati Uniti, l'Istituto Mendelejeff in Russiaome UIT e IEC.

Come e perché nasce una scuola di ingegneria elettrotecnica

Sono innanzi tutto proposte alcune delle condizioni al contorno, ovviamente non tutte necessarie e presenti in modo diverso, che presiedono alla nascita della figura dell'ingegnere elettrotecnico.

- esistenza, nel luogo, di un "esperto" sapiente e riconosciuto da altri,

- esistenza di bisogni locali, ad esempio:

- o un'industria che nasce,
- o nuovi campi di applicazione,
- o necessità di creare od amalgamare conoscenze,
- o un declino industriale e sociale da combattere.

Inoltre sono opportune o necessarie:

- o l'esistenza di una qualsiasi struttura, possibilmente accademica, che possa "riconoscere" in qualche modo gli studi effettuati ed ottenerne anche il riconoscimento da terzi,
- o la disponibilità di fondi adeguati, di un mecenate od una condizione di emergenza che convinca dei politici illuminati ad investire in formazione.

I casi che saranno esaminati sono raccolti nella tabella seguente.

BELGIO	Institut Electrotéchnique Montefiore	Liegi 1883
FRANCIA	Supélec	Parigi 1894
GERMANIA	nove Technische Hochschulen	Darmstadt 1883 Karlsruhe 1896
INGHILTERRA	numerose e diverse istituzioni	Londra 1838 - 1908
ITALIA	Regio Museo Industriale e Scuola Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba	Torino 1884 Milano 1886
RUSSIA	almeno otto scuole d'elettrotecnici gli ingegneri "galvanici"	San Pietroburgo e altrove dal 1840
STATI UNITI	Massachussets Institute of Technology Cornell University	Cambridge 1882 Ithaca 1883

Le condizioni cui si è fatto cenno, al punto tre,verranno riprese nel punto cinque.

Alcuni casi nazionali

Per i casi indicati nella precedente sezione, si forniscono alcuni dati e si indicano fonti bibliografiche. Si presti attenzione che la data indicata non indica necessariamente l'inizio di un corso, ma la data nella quale nel manifesto degli studi compare un corso d'applicazioni della elettricità.

4.1 *BELGIO - Institut Eléctrotechnique Montefiore - Liegi 1883*

Istituzione privata per l'insegnamento dell'elettrotecnica, che ebbe risonanza mondiale per la qualità di docenti e d'attrezzature e per la severità dell'insegnamento.

È la prima istituzione del mondo creata appositamente per la formazione completa e in altre parole teorica e sperimentale d'ingegneri elettrotecnici. Offriva due corsi, uno di un anno per ingegneri d'altre discipline che desiderassero perfezionarsi, uno di quattro anni.

Numerosi gli allievi, la metà dei quali stranieri provenienti da oltre quaranta Nazioni: i laureati italiani ammontano, prima del 1915, ad oltre il 15% del totale.

Georges Montefiore-Levi (1830-1906), di origine italiana, trasferitasi in Inghilterra e poi in Belgio, verso il 1870 inventò e brevettò metodi di produzione ed applicazioni del bronzo fosforoso, che sostituì, in tutto il mondo, il rame od il ferro usati per le linee. telegrafiche. I proventi dei brevetti vennero investiti nell'Istituto.

4.2 *FRANCIA - Ecole Supérieure d'électricité - Supélec - Parigi 1894*

Istituzione privata su base inter-nazionale, emanazione della Société internationale des électriciens, la cui costituzione fu promossa durante l'Esposizione Internazionale d'Elettricità a Parigi del 1881. In pratica è sempre stata una struttura francese, ma con numerosi caratteri d'originalità; con il passare del tempo, si è progressivamente integrata nel sistema di ricerca e d'insegnamento francese., ma solo negli anni 1980 e non ancora del tutto.

Elementi caratteristici sono:

- reclutamento in base ad un esame severo e molto selettivo,
- sviluppo di scuole anch'esse private , ma separate da Supélec, per la preparazione all'esame d'ammissione,
- una struttura di insegnamenti con conoscenze di base ed applicazioni, seguita da seminari e conferenze su aspetti aggiornati,
- metà tempo tra laboratorio ed officina,
- formazione approfondita in misure elettriche,
- abolizione di gerarchie tra scuole, ma l' esame d'ammissione è diversificato in funzione delle scuole di provenienza e viene rispettata all'interno una separazione tra Scuole d'ingegneri e Università
- strettissimi collegamenti con l'industria.

Supélec é tuttora viva e vegeta in Francia, nel senso che i vari Ministeri le affidano frequentemente anche delle operazioni che con una espressione in-

glese potrebbero essere definite di "scouting" per esplorare le tecnologie che si affacciano e mettere a punto programmi di attività didattica sempre sulle nuove tecnologie o metodi, anche per profili di terzo livello.

4.3 *GERMANIA - Technische Hochschulen*
- Darmstadt 1883
- Karlsruhe 1896

In Germania, nel periodo anteriore al 1914, esistevano nove Technische Hochschulen**,** collegate in vario modo con le Università locali, tutte con almeno una cattedra su una materia "elettrica", dei *curricula* definiti e attività di laboratorio. Nel caso di Darmstadt e Karslruhe si aveva un vero e proprio Dipartimento d'Elettrotecnica e negli altri casi un Istituto d'Elettrotecnica inserito nel Dipar-timento d'Ingegneria meccanica od in quello di Fisica.

Il corso durava solitamente quattro anni ed ogni scuola affermata aveva almeno tre docenti d'Elettrotecnica: uno di teoria d'elettrotecnica, uno di macchine elettriche ed uno d'impianti e misure.

Gli allievi nel periodo 1890-1914 furono 5000, metà dei quali stranieri.

Molto interessante la composizione del corpo docente; all'inizio erano prevalentemente fisici che venivano dalle Università, senza esperienza industriale; dopo il 1900 diminuisce il numero dei fisici ed aumenta considerevolmente la proporzione di docenti con almeno alcuni anni d'esperienza industriale.

Per quanto riguarda le materie trattate, e considerando il periodo 1890-1914, gli insegnamenti di mate-matica e scienze, diminuirono dal 30% al 20%, ingegneria meccanica rimase stabile a circa il 45%, mentre macchine elettriche passò dal 18% al 30%.

L'insegnamento era di alta qualità come pure la preparazione richiesta, lo sviluppo della industria elettrotecnica tedesca nel periodo anteriore alla guerra mondiale, con AEG, Bosch , Siemens ne è la prova. Oltre ad essere motivati, disciplinati ed abili tecnicamente, molti ingegneri, sopratutto quelli "diplomati" parteciparono con adesione ai metodi di produzione industriale e di relazioni umane all'interno delle Aziende, promossi ad esempio dalla Siemens.

4.4 *INGHILTERRA - numerose e diverse istituzioni*

Si presti attenzione al fatto che in inglese un "ingegnere" è solitamente un tecnico che non ha una laurea. Alcune notizie ed osservazioni:

- attorno il 1890 avvenne uno sforzo rilevante per la formazione d'elettrotecnici,
- molta formazione avveniva senza fornire alla fine degli studi, un titolo o una qualificazione formale,
- grande impatto alla metrologia elettrica, a volte con distorsioni, imposte a volte dal National Physical Laboratory,
- molte scuole professionali sono "non pubbliche" o sono organizzate dalle Amministrazioni comunali o dagli Albi professionali,
- anche i Dipartimenti di Fisica

adottano un approccio empirico, se vogliono attirare allievi,

- gli allievi che non sono interessati a divenire dei fisici "completi", possono scegliere le materie da seguire; ad esempio nei corsi serali non frequentavano le lezioni di termodinamica od ottica,
- agli allievi importava alla fine, avere una lettera di presentazione da un Docente,
- dal 1875, salvo per quanti fossero interessati nel telegrafo o nel te telefono, la Fisica inglese ufficiale, quella insegnata nelle Università diventa sempre più astratta e teorica
- i grandi Istituti, come l'Institution of Electrical Engineers, IEE-, restavano sospettosi del mondo acca-demico; la IEE riconobbe, e solo parzialmente, i titoli rilasciati dall'Università solo nel 1914.

In ogni caso numerose Università e "Colleges" avviarono studi di Elettrotecnica, come risulta dalla tabella:

Istituzione	anno
University of Durham	1838
King's College, Londra	1840
University College , Londra	1841
Owens College, Manchester	1868
Royal Indian Engineering College	1871
University of Cambridge	1875
Yorkshire College, Leeds	1876
University College, Bristol	1878
Mason College, Birmingham	1882
Firth College, Sheffield	1884
Finsbury College, Londra	1884
Nottingham University College	1885
University College, Liverpool	1885
Central Institution, Londra	1885
University College, Bristol	1886
Newcastle College of Physical Technology Science	1891
University of Oxford	1908

4.4 *ITALIA due Istituzioni, con diversa origine e struttura: il Regio Museo Industriale e Scuola di Applicazione, Torino e la Istituzione Elettrotecnica Carlo Erba (IECE), Milano 1886*

La nascita degli insegnamenti di elettrotecnica a Torino presso il Regio Museo Industriale verso il 1890 è stata descritta più volte e nel complesso é ormai ben definita. Inoltre alla Scuola torinese è dedicata un' altra nota in questa riunione napoletana della A.I.S.I., nella quale si troveranno i riferimenti bibliografici necessari.

La scuola di ingegneria di Milano ebbe origine, scopi ed organizzazione molto diversi da quelli del Regio Museo Industriale di Torino.

La Istituzione Elettrotecnica di Milano fu promossa e formata con capitali privati.

L'industriale Carlo Erba, attivo nel settore chimico, offrì nel 1886 la somma di 400.000 lire per l'avvio di una scuola che aveva lo scopo di formare elettrotecnici di elevata qualità per le Industrie.

La istituzione doveva mantenersi con gli utili del 3,75% del capitale versato; gli allievi venivano selezionali e dovevano aver raggiunto il quinto anno o l'ultimo anno di Ingegneria. Il numero di allievi venne limitato attorno 10-12 all'anno e la Scuola era concentrata sugli aspetti pratici.

La IECE fa oggi parte del Politecnico di Milano.

Nel 1887 gli insegnamenti, gli insegnanti ed il carico didattico settimanale in ore erano:

materie	docente	
macchine elettromeccaniche	R.Ferrini	2
misure elettriche	L.Zunini	4
elettrotecnica	R.Arnò	3
laboratorio di misure	L.Zunini	12

4.6 *RUSSIA Gli ingegneri "galvanici" e le otto scuole per Elettrotecnici a San Pietroburgo e altrove*

Tutta peculiare la formazione in Russia degli ingegneri elettrotecnici: è una storia affascinante nel senso che gli Istituti e gli insegnamenti venivano "ritagliati" per coprire determinata una determinata esigenza specifica.

Queste le caratteristiche salienti della formazione di elettrotecnici:

- scuole orientate verso singole applicazioni prevalentemente militari (mine elettriche sottomarine fisse[3], impianti elettrici nelle navi, telegrafi militari, per le ferrovie, per la amministrazione, ecc.), senza collegamenti interni tra le varie scuole,
- l'ossessione per il segreto, rendeva in pratica impossibile la circolazione di notizie, risultati od uomini,
- uno stato burocratizzato, centralizzato, militarizzato all'estremo,
- brillanti risultati, alternati a stagnazioni scoraggianti,
- decisioni lentissime,
- dimensioni immani del Paese,
- priorità alle applicazioni mili-tari immediate,
- l'insegnamento tecnico civile e scollegato da quanto avveniva in Europa,
- l'insegnamento di elettrotecnica applicata si avvantaggia rispetto alle componenti matematiche e teoriche,
- per certi casi imperava una rassegnazione atavica: quando verso il 1870 finì il contratto di 12 anni con i fratelli Siemens per la costruzione e la gestione di 30.000 km di linee con 3000 stazioni, non un solo tecnico era stato preparato per gestire la rete, pur lavorando in Russia elettricisti della taglia di Jacobi e Schilling.

Le otto scuole russe che offrivano una preparazione e dei titoli analoghi a quelli degli ingegneri elettrotecnici europei sono elencate in tabella

Istituzioni Elettrotecniche russe

Dipartimento del Genio del Ministero Militare Gruppo galvanico – Scuola Militare Elettrotecnica	San Pietroburgo	1840
Ministero della Marina - Gruppo mine	Kronstadt	1867
Corpo Ingegneri delle vie di comunicazione	San Pietroburgo	1858
Istituto Tecnologico	San Pietroburgo	1886
Istituto Elettrotecnico - (ingegneri elettricisti)	San Pietroburgo	1885
Scuola Elettrotecnica della Società Imperiale Russa	Mosca	1896
Istituto Politecnico di Varsavia	Varsavia	1898
Istituto Politecnico di Kiev	Kiev	1898

4.7 *STATI UNITI Massachussets Institute of Technology, Cambridge 1882, Cornell University, Ithaca 1883*

Alcune osservazioni o notizie :

- le due università si contendono l'onore di aver offerto per prime nel 1882 un titolo di Ingegnere Elettrotecnico,
- altre Università (Missouri, Stevens, Rose Polytecnic, Lehigh, Princeton, Johns Hopkins, Michigan, Illinois, Wisconsin, ecc.) seguirono questi esempi, Lehigh, Princeton, Johns Hopkins, Michigan, Illinois,Wisconsin, ecc.) seguirono questi esempi, ma mai raggiunsero, all'epoca, la fama delle prime due,
- il M.I.T. avviò delle trattative per invitare a Boston Galileo Ferraris,
- le due Università ebbero notevole successo, in particolare Cornell, come documentati nella tabella, che riporta il numero degli iscritti:

Anno	M.I.T	Cornell
1884	41	28
1885	52	42
1886	61	60
1887	74	83
1888	91	126
1889	105	174
1890	*	218

* l'informazione manca

Per la formazione degli ingegneri elettrotecnici in Olanda, si veda[4], e in Ungheria[5].

5 *Verifica delle condizioni di "sufficenza, proposte alla sezione 3*

Si riprendono, nell'ordine, i criteri elencati alla sezione 3, completandoli con degli esempi:

- esistenza, nel luogo, di un "esperto" sapiente e riconosciuto da altri (Ferraris a Torino, Gerard a Liegi, Colombo a Milano, List a Brno, Janet a Parigi, Barbillion a Grenoble)
- bisogni locali (industrie che nascono, IECE a Milano, Montefiore a Liegi);
- nuovi campi di applicazione (metallurgia a Liegi, mine elettriche a Kronstadt);
- necessità di creare od amalgamare conoscenze o di formare degli esperti (Regio Museo Industriale a Torino, Russia , Liegi)
- crisi sociale (Regio Museo Industriale a Torino)
- l'esistenza di una qualsiasi struttura che possa "riconoscere" in qualche modo gli studi effettuati ed ottenerne anche il riconoscimento da terzi (Regio Museo a Torino);
- la disponibilità di fondi adeguati, di un mecenate od una condizione di emergenza che sia percepita dai politici (Montefiore a Liegi, Erba a Milano, declino economico a Torino[6]).

6 *Osservazioni finali e conclusioni*

Si presentano alcune osservaziomi e conclusioni.

Poco più di un secolo fa, verso 1890, emerse la necessità di formare degli ingegneri "elettrici" attraverso dei corsi specifici,

Tre sono i motivi principali, tutti e tre "esterni" rispetto alle conoscenze tecniche:

1. gli usi della nuova energia hanno conseguenze sociali ed econo-miche tali da imporre la percezione di un cambiamento profondo,

2. la nuova energia ha conse-guenze tecniche inaspettate.

3. la nuova energia è percepita come uno strumento di accesso alla modernità.

Si può infatti osservare che :

- la nuova energia rivoluziona tutto, uccide la motrice a vapore, sostituisce altre forme di illuminazione, impone nuovi edifici industriali, ristruttura la organizzazione del lavoro, interviene in forme inaspettate in ogni attività umana, è al servizio di tutte l'industrie e di ognuno: il sogno della tesi del Ferraris, un piccolo motore a casa di ognuno, realizzato.
- la sorpresa più rilevante, anche per gli elettrotecnici, fu il trasformatore, sperimentato a Torino nel settembre del 1884, per trasmettere 15 kW di potenza a 30 km,
- il trasformatore era completamente al di fuori della scienza meccanica,
- la comprensione del trasformatore segna, momentaneamente, la separazione tra la fisica tradizionale e la elettrotecnica; la fisica insegnata nelle scuole non era in grado di spiegare il funzionamento dell'oggetto[7].

Per il periodo 1885-1910 nel quale inizialmente la ingegneria Elettrotecnica era percepita come una variante di quella meccanica, si osservano alcune novità:

- i collegamenti con gli insegnanti di Fisica sbiadiscono (salvo che per la telegrafia),
- coesistono strutture private, pubbliche o di Enti locali,
- esistono rivalità anche accese tra "Istituti" e la Accademia,
- in alcune nazioni, rilevante è il ruolo ed i meccanismi di selezione, gestione e riconoscimento tipici delle scuole professionali, come avveniva con le antiche corporazioni, fa nascere nuovi mestieri come le centraliniste dei telefoni.
- in alcune nazioni non si rilasciavano titoli o certificati,
- diffusa era la coscienza che l' Elettrotecnica fosse una disciplina nuova,
- nella formazione della nuova figura di ingegnere elettrotecnico larga parte, anche l'80%, era sperimentale o di officina,
- i docenti sono sempre di più degli ingegneri elettrotecnici,
- in alcune nazioni si man-tengono vive le differenze tra ingegneri diplomati e laureati; in altre la cosa non ha più importanza,
- esiste un forte spirito di corpo tra i laureati di una stessa università,
- meccanismi di "autostima" e coscienza del ruolo dell'ingegnere: nel-

l'immaginario popolare l'ingegnere, rappresenta il vettore della scienza elettrica

o L'ingegnere elettrotecnico non è più l'utilizzatore di scienza elaborata e trasmessa da altri ma deve partecipare, e da primo protagonista, alla costruzione della nuova disciplina.

o L'ingegnere elettrotecnico opera libero da tradizioni, "trucchi del mestiere", tradizioni del mestiere, e dal contatto di altre corporazioni, adesso ha il monopolio del sapere e del potere, bilanciati però dal fatto che la qualità dei suoi risultati, soprattutto per quanto riguarda i rendimenti, sono sotto l'occhio di tutti.

o Gli ingegneri elettrotecnici, questa volta con l'aiuto dei fisici, costruiscono un sistema di misura coerente ed elaborano nuovi strumenti, a volte con diatribe feroci, come quelle provocate dal Sistema Giorgi, proposto da un ingegnere elettrotecnico. La proposta di Giorgi, presentata nel 1897, fu accettata dagli elettricisti nel 1936 e da tutti, meno taluni Fisici, attorno al 1960.

o Gli ingegneri danno nuova vita e nuove forme ai metodi di costruzione della scienza e di diffusione della cultura che erano state proprie delle Accademie del Settecento, creando: Istituzioni specializzate, una sistematica circolazione delle informazioni, la creazione di riviste specializzate,

o Per corroborare la loro nuova professione gli ingegneri elettrotecnici creano associazioni professionali, frequentano congressi, e costituisco "Istituti" di discussione e di confronto, come IEE, IEEE, AEI. La nuova scienza e tecnologia ha carattere globale ed allora nascono e diventano indispensabili Enti internazionali di ricerca, cordinamento e normalizzazione, come l' International Electrotechnical Commission.

o L'ingegnere "elettrotecnico" deve rassegnarsi a non possedere un sapere praticamente immutabile: deve mantenersi informato ed aggiornarsi in continuazione le proprie conoscenze.

In definitiva si può concludere affermando che l'ingegnere elettrotecnico, tra 1890 e 1915 si sentiva non solo come il vettore della nuova scienza elettrica, ma come il vettore di "modernità" e, nella visione positivista dell'epoca, come la principale causa del progresso sociale.

***** Questa nota è stata ricavata da una conferenza presentata il giorno 21 maggio 2004 presso la Facoltà di Ingegneria Elettrotecnica della Università di Firenze.

[1] Un classico esempio è quello dello zoccolo introdotto dalla Edison per le lampadine ad incandescenza, rimasto immutato per oltre 130 anni.

[2] Inizialmente limitata alle grandezze "meccaniche,lunghezza, massa, tempo, ma allora imperava anche per la Elettricità il sistema CGS"

[3] S. Leschiutta, *I primi ingegneri elettrotecnici del regio Museo Industriale di Torino*.

[4] Per la protezione dei porti e il controllo di vie d'acqua.

[5] Hesselmans A.N., *Clarence Feldmann at the Delft University of Technology*, pp. 97-116.

[6] Jeszensky, *Galileo Ferraris and the electrical Engineering in Hungary*, pp. 273-289.

[7] Il Municipio di Torino comprò dalla Weston

degli amperometri per il laboratorio di Galileo Ferraris.

[8] Non si deve dimenticare che in talune Nazioni e nelle facoltà di Fisica le equazioni di Maxwell vennero introdotte solo verso il 1920.

Bibliografia

M. TRÉDÉ (a cura di), *Electricité et électrification dans le monde*, Presses Universitaires de France-AHFE, Paris 1990.

A. CARDOT, *Un siècle d'électricité dans le monde*, Presses Universitaires de France-AHFE, Paris 1987.

L. BADEL (a cura di), *La naissance de l'ingénieur-éléctricien*, Presses Universitaires de France-AHFE, Paris 1987.

F.CARON, F. CARDOT, *Histoire de l'electricité en France*, vol. I, AHFE Association pour l'Histoire de l'Electricité en France, Paris 1991.

S. LESCHIUTTA (a cura di), *Galileo Ferraris and the conversion of energy*, IEN-International Symposium, Torino 1997.

SILVESTRI A. (a cura di), *Il Centenario AEI e Galileo Ferraris*, AEI, Milano 1997.

CALLEGARO L. (a cura di), *Giovanni Giorgi: verso l'Elettrotecnica Moderna*, CLUT, Torino 2003.

Francesca Torello

Formazione dei tecnici e dibattito sulla tutela della professione: echi della situazione italiana in Austria nei primi anni del '900

Nel 1914 la rivista dello *Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein*, riporta e commenta il disegno di legge italiano sulla tutela della professione di Ingegneri, Architetti e Geometri[1].

Prendendo spunto da questo documento è possibile ricostruire a ritroso, nelle sue tappe principali, il dibattito relativo alla formazione dei tecnici e alla condizione professionale dell'ingegnere, tra la metà del XIX e l'inizio del XX secolo, con particolare riferimento alla situazione austriaca.

La vicenda considerata può essere vista anche come un percorso di progressiva affermazione sociale e culturale della figura dell'ingegnere.I profili formativi si arricchiscono e si diversificano, cresce la presenza nelle strutture di controllo dello Stato, mentre la libera professione e l'attività nella pubblica amministrazione si distanziano sempre maggiormente.

La lotta per il riconoscimento legale del ruolo professionale è brevemente delineata attraverso alcuni momenti del dibattito, fino al legale riconoscimento del titolo, ottenuto nel 1917[2].

La fonte più interessante su cui è basato questo percorso è la documentazione offerta dallo spoglio della *ZÖIAV*, rivista dell'*Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein*, l'organizzazione che in quegli anni meglio rappresenta le istanze dei tecnici nell'ambito austriaco.

All'inizio del nuovo secolo è molto viva in tutta Europa l'attenzione per il tema del riconoscimento legale delle professioni, che si afferma di pari passo con la progressiva organizzazione delle strutture di controllo statali e con un importante momento di revisione delle normative in ambito edilizio, come dimostra ad esempio la richiesta rivolta all'*Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein* da parte di una associazione belga, la *Societé Centrale d'Architecture de Belgique*, di avere informazioni su normativa e sulla organizzazione delle amministrazioni di controllo edilizio in Austria, riportata dalla rivista nel 1903[3].

Il caso austriaco costituisce tuttavia un esempio abbastanza complesso, in quanto ad una struttura tecnica statale piuttosto rigida e uniforme sul territorio fa da contraltare nelle varie province della Duplice Monarchia la presenza di scuole con tradizioni formative eterogenee, che difficilmente potevano essere equiparate nell'ambito della normativa[4].

Al problema del riconoscimento dell'attività professionale dei tecnici si aggiungeva quindi quello del riconoscimento ufficiale dei titoli di studio e della loro equivalenza nelle diverse aree

dell'Impero. Si può considerare che la vicenda relativa alla formazione e alla regolamentazione dell'attività dei tecnici austriaci abbia inizio nel 1809, quando con la riorganizzazione di alcuni settori dell'amministrazione di Corte nasce l'*Hofbaurat*, la principale magistratura destinata al controllo dell'attività edilizia pubblica e alla gestione dei relativi fondi.

Nel 1806 a Praga era sorta, sul modello della *Ecole Polytechnique* di Parigi, la prima Scuola Politecnica nell'ambito dei territori dell'Impero[5] e negli anni successivi era stata presa in considerazione l'opportunità di crearne al più presto una anche nella capitale. Il documento preparatorio per la creazione della nuova istituzione, il *Plan zur Errichtung eines polytechnisches Institutes*, è del 1810, quindi quasi contemporaneo alla creazione dell'*Hofbaurat*, anche se l'attività didattica della nuova scuola prenderà l'avvio solo nel 1815, perché il Politecnico era entrato in linea di collisione con la più antica Accademia di Belle Arti, fino a quel momento l'unica scuola ad offrire corsi nel settore delle costruzioni, suscitando una serie di difficoltà politiche[6].

Già in questa fase si pone per la prima volta il problema della convalida della preparazione professionale attraverso appositi esami, e di quale scuola fosse abilitata a fornire questo riconoscimento. Tutti gli artigiani e i tecnici avrebbero dovuto essere sottoposti a prove apposite, prima di poter esercitare il mestiere, mentre gli architetti avrebbero dovuto sostenere una sorta di "esame di abilitazione professionale". Dopo lunghi scontri, l'amministrazione centrale assegnò all'Accademia il compito di verificare la preparazione tecnica degli architetti e degli artigiani del settore edilizio, mentre il Politecnico avrebbe svolto prove riguardanti gli insegnamenti tecnici, di cui aveva acceso al proprio interno i corsi.

Nel 1820 tuttavia questa prima organizzazione fu rivista, in seguito alla divisione degli studi di architettura in due settori tra loro in conflitto: presso il Politecnico si sarebbero tenuti gli insegnamenti di base delle discipline tecniche per un triennio comune, mentre l'Accademia avrebbe offerto i corsi avanzati dei restanti tre anni, destinati solamente agli architetti.

Il Politecnico ottenne, nel corso della prima metà dell'Ottocento, un grande successo presso l'opinione pubblica e moltiplicò la propria offerta formativa, sostituendo nella educazione professionale dei quadri tecnici dello Stato le scuole militari da un lato e l'Accademia dall'altro.

Il tipo di insegnamento offerto corrispondeva in effetti alle necessità della maggior parte delle magistrature edilizie, in particolare dell'*Hofbaurat*. Questo fatto portò a uno scontro molto acceso, in particolare quando nel 1844 fu approvato un nuovo regolamento che poneva tutti gli edifici pubblici sotto il controllo di tale magistratura, che aveva la facoltà di bloccare i cantieri ed esercitare una sorta di censura. Per gli architetti dell'Accademia era inaccettabile che a esercitare questo potere fos-

sero dei semplici ingegneri, senza specifica formazione artistica e architettonica.

Il 1848 segnò una svolta importante, perché la creazione durante le sollevazioni di massa di truppe organizzate di studenti e giovani accademici favorì immediatamente dopo la fine dei fatti rivoluzionari la creazione di *Vereine*,[7] società culturali ma anche veri e propri gruppi di pressione, che raccoglievano iscritti su base quasi professionale. La nascita di queste associazioni contribuì ulteriormente a mettere in secondo piano l'Accademia come luogo primario del dibattito tecnico-culturale viennese e a favorire una generale riforma degli studi e delle competenze delle diverse scuole. Si ritenne tra l'altro che l'Accademia non potesse più svolgere con efficacia il duplice ruolo di istituzione educativa da un lato e di magistratura edilizia dall'altro, quindi le fu sottratto questo antico ruolo di controllo che ancora esercitava nell'ambito di una riorganiz-zazione complessiva delle magistrature in campo edilizio.

Nel frattempo il Consiglio dell'Accademia era stato escluso anche dalla redazione del primo regolamento per i concorsi, pubblicato nel 1849, tenendo fede a una delle richieste dei professionisti emerse durante la Rivoluzione del 1848, cui il governo aveva deciso di ottemperare. E' nota in proposito una affermazione degli architetti dell'Opera di Vienna, Van der Nüll e Sicardsburg, che lamentavano che non vi fosse nessuna tutela della proprietà intellettuale dei progetti di concorso, per cui sovente i progetti presentati dai liberi professionisti venivano premiati, ma poi subito accantonati, per essere poi riproposti più tardi dagli stessi tecnici statali e comunali, cui venivano poi affidati la progettazione e il cantiere.

Una distinzione fondamentale deve tuttavia essere fatta, nell'ambito dei circoli viennesi nati dopo il 1848, tra le associazioni culturali che si erano formate sulla base di una appartenenza politica oppure perché i membri riconoscevano comuni obiettivi letterari e artistici e le associazioni che erano invece state create su base professionale, a prefigurare le associazioni di categoria e gli ordini professionali odierni.

Tra queste ultime, la più importante in ambito tecnico è l'*Österreichischer Ingenieur und Architektenverein.*

Nel 1848 furono fondati a Vienna sia un *Architektenverein*, sia un *Ingenieurverein*. Presso l'*Architektenverein* fu promossa già nell'aprile 1848 una delle prime azioni pubbliche di critica al sistema dell'*Hofbaurat*, offrendo contemporaneamente sostegno alla proposta di introdurre concorsi pubblici per la progettazione e realizzazione di edifici monumentali.

Mentre l'attività associativa dell'*Architektenverein* si spegneva con la fine della Rivoluzione, l'*Ingenieurverein* ebbe maggior fortuna e potendo contare su un costante aumento del numero di iscritti giunse a fondare nel 1849 una propria rivista. In occasione della *XIV Wanderversammlung deutschen Architekten und Ingenieure*, che doveva svolgersi a Vienna, fu richiesto l'appoggio

delle strutture associative dell'*Ingenieurverein*. A partire da questo coinvolgimento nella realizzazione della manifestazione internazionale e grazie ad apposite modifiche allo statuto, si giunse nel 1864 alla creazione dell'*Ingenieur- und Architektenverein*, del quale facevano parte i più importanti architetti e tecnici statali dell'epoca. L'ingegnere berlinese Alexander Lang tracciava un quadro della situazione in un articolo pubblicato nel 1916: "In cima alla struttura dei tecnici austriaci vi è l' *Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein* sin dal 1848; al passo con le scuole politecniche e conformemente al loro sviluppo in *Technischen Hochschulen*, l'Ordine si è trasformato in un'associazione accademica di categoria e richiede una formazione ricevuta presso le *Technischen Hochschulen* come minima condizione per poterne entrare a far parte. […] Le condizioni per l'ammissione all'Ordine sono divenute negli ultimi anni sempre più severe, […], nell'interesse dell'unitarietà e dell'omogeneità."[8]

L'attività riformatrice post-1848 fu fortemente ridimensionata dal cambiamento della situazione politica negli anni 1859 e 1860, lasciando irrisolta la situazione della attestazione professionale per gli architetti, che sola avrebbe reso possibile una riorganizzazione complessiva del sistema di gestione delle commesse pubbliche, in cui i lavori venissero affidati soltanto a liberi professionisti, mentre le magistrature edilizie pubbliche avrebbero avuto solo un ruolo di controllo[9]. Il rapporto tra Accademia e Politecnico era ormai assolutamente sbilanciato a favore di quest'ultimo, che era diventato la scuola d'elezione dei tecnici e dei funzionari statali, offriva ormai la maggior parte dei corsi necessari ad un buon curriculum di studi di architettura, soprattutto in seguito alla creazione del Dipartimento di costruzioni (*Hochbau*) oltre ad occuparsi della formazione di tecnici-artigiani ad alta specializzazione, da destinare all'industria manifatturiera, e ad aver moltiplicato i percorsi formativi per ingegneri nei diversi settori.

Nel 1868, con la nuova riforma degli studi di architettura, l'Accademia veniva trasformata in una sorta di scuola di specializzazione, cui potevano essere ammessi i diplomati del Politecnico o delle *Gewerbeschulen* che stavano in quegli anni nascendo, a Vienna e in tutto l'Impero.

Negli anni compresi tra il 1870 ed il 1880 infatti furono istituite le cosiddette scuole superiori professionali (*Hohere Gewerbeschulen*), il cui corso di studi forniva le basi per impieghi di tipo tecnico nell'industria; per i diplomati di queste scuole la legge non prevedeva alcun titolo caratterizzante.

Nella fase di crescita economica degli anni Sessanta alcuni dei più brillanti diplomati dei corsi di ingegneria erano diventati essi stessi imprenditori di successo, e questo tipo di studi appariva assai adatto alle necessità della società austriaca del *Gründerzeit*, una fase caratterizzata da una cultura borghese dominante in politica e da una economia contraddistinta in particolare dalla

fondazione di nuove attività imprenditoriali e commerciali (*grunden* significa *fondare*), che ebbe negli anni Sessanta dell'Ottocento il suo momento più florido.

In seguito invece, in corrispondenza con la profonda crisi economica successiva al crollo della Borsa del 1873, gli ingegneri si trovarono di fronte una agguerrita folla di tecnici, i quali avevano certamente una formazione meno approfondita e solida, che tuttavia aspiravano a fregiarsi del loro stesso titolo e a competere sullo stesso mercato.

A seguito della crisi inoltre ebbe inizio una lunga *querelle* che vide contrapposti gli ingegneri da un lato, i giuristi e i funzionari statali dall'altro.

Molti tecnici a causa della crisi dell'industria erano stati spinti a rientrare nell'amministrazione pubblica: a titolo di esempio, si consideri che le imprese edili ancora esistenti a Vienna dopo il 1873 erano meno della metà di quelle attive prima del crollo della Borsa[10].

Tuttavia nell'ambito della amministrazione statale anche gli affari di tipo tecnico erano considerati di competenza dei giuristi, mentre gli ingegneri erano sottoposti all'autorità di funzionari che spesso non ritenevano competenti a valutare il loro operato, cui venivano affiancati solo in qualità di consiglieri tecnici. Le perizie e le indicazioni fornite dal tecnico non erano legalmente vincolanti.

Questa situazione portò ad una intensificazione del dibattito, rispecchiata da un gran numero di interventi sulla rivista dedicati a questi temi. Addirittura l'ambito professionale rappresentato dalla *ZÖIAV* viene superato e la discussione viene estesa all'opinione pubblica, attraverso uno dei principali quotidiani austriaci, la *Neue Freie Presse*. Nel 1903 infatti viene pubblicato un lungo articolo, ripreso poi dalla *ZÖIAV* come fascicolo allegato, dal titolo *Über Wert und Bedeutung des Ingenieurstandes*, ovvero *Del valore e del significato del ruolo di Ingegnere*[11]. In questo testo si sostiene la necessità di eliminare la dipendenza dei tecnici dai giuristi, sulla base della effettiva competenza riconosciuta ai primi, attraverso il riconoscimento legale del titolo.

Proprio attorno al 1903 il dibattito era particolarmente infiammato, perché una delegazione stabile, designata nel corso delle "Giornate degli Ingegneri e degli Architetti" era riuscita a portare in Parlamento un disegno di legge a tutela del titolo professionale. A questa proposta si opponeva una numerosa rappresentanza di studenti delle scuole professionali, che richiedeva invece di poter acquisire legalmente la facoltà di usare il titolo di ingegnere. Date le circostanze i rappresentanti della delegazione abbandonarono il progetto, mentre alcuni ingegneri austriaci incominciavano a sostenere l'introduzione del titolo di "Diplom-Ingenieur" già adottato dai colleghi tedeschi e ad altri sembrava necessaria in aggiunta anche la realizzazione di un "Registro degli ingegneri austriaci".

Nel 1908 venne finalmente creato il Ministero per i Lavori Pubblici, per il quale si era lottato fin dal 1848, riu-

nendo competenze fino ad allora disperse tra ben otto diversi Ministeri.

Nel frattempo presso la Camera dei Deputati veniva creata una rappresentanza unitaria dei deputati di formazione tecnico-accademica di diversi partiti. La cooperazione tra questa e l'*Österreichischer Ingenieur- und Architektenverein* contribuì ad un rafforzamento della posizione degli ingegneri nelle amministrazioni, favorendo l'istituzione di una Camera degli Ingegneri nel 1913, e la nomina di ingegneri, nella Commissione Imperiale per le riforme amministrative, precedentemente costituita soltanto da giuristi.

In questo contesto non stupisce il grande interesse dimostrato dalla rivista *Zeitschrift des Österreichisches Ingenieur- und Architektenverein* nei confronti del disegno di legge italiano sulla tutela della professione di Ingegneri, Architetti e Geometri: "Nel 1911 in Italia si presentò alla Camera un disegno di legge sulla tutela della posizione di Ingegneri, Architetti e Geometri, il cui testo fu redatto conciliando le richieste dei Ministeri interessati e del comitato parlamentare e modificato fino al 1914. […] è dispiaciuto che sia stato presentato solo in Italia e non anche in Austria, poiché racchiude tutto ciò a cui si è inutilmente aspirato da più di trentacinque anni: la tutela legale della professione e delle attività tecnico-scientifiche nei confronti di quei mestieri che hanno solo l'apparenza di essere lavori da ingegneri, senza tuttavia poter soddisfare i compiti più importanti che spettano all'ingegnere, sia nell'amministrazione che nella società."

La legge italiana mostrava un vistoso parallelismo con le delibere delle "Giornate degli Ingegneri e degli Architetti Austriaci": gli albi previsti equivalevano ai Registri proposti dagli Ingegneri (*Verzeichnis der Ingenieure*). "Gli austriaci si augurano di riuscire ad ottenere presto ciò che hanno già raggiunto i colleghi italiani"[12].

[1] S.a., *Der italienische Gesetzentwurf zum Schutze des Standes der lngenieure, Architekten und Landmesser,* in "Zeitschrift des Österreichisches Ingenieur- und Architektenverein ", LXVI, 1914, pp. 408-410.

[2] S.a, *Der erreichte Schutz der Standesbezeichnung "Ingenieur"*, in "ZÖIAV", LXIX, 1917, pp. 236-237.

[3] *Bericht*, in "ZÖIAV", III, 1903, p. 160.

[4] A poter ottenere il titolo di "Ingegnere" (Ing.) sono legittimati coloro i quali abbiano compiuto gli studi ad una Hochschule nazionale con indirizzo tecnico (Technische Hochschule, Montanistische Hochschule, Hochschule far Bodenkultur) […] Lo stesso diritto spetta a coloro i quali abbiano compiuto studi di agraria presso l'Università di Krakau ed abbiano superato l 'esame finale previsto.
Gli ufficiali, laureati del genio e che abbiano superato l'esame finale e quegli ufficiali e funzionari militari, formatisi a corsi di artiglieria superiori come ingegneri militari ed infine gli ufficiali di marina, previo superamento dell'esame previsto, formatisi come ingegneri navali, sono legittimati ad esibire il titolo di "Ingegnere" anche all'infuori dell'esercito e della marina militare.
Coloro i quali abbiano conseguito gli studi come seguenti ordinari presso: a) una Technische Hochschule, […] b) una delle due Berga-

kademien (Accademia Mineraria) di Leoben o Pribram […] c) una delle Hochschule far Bodenkultur, […] Questo diritto spetta anche a coloro i quali abbiano conseguito gli studi, prima dell'organizzazione delle Hochschulen attualmente in vigore, presso istituti tecnici di valore ugualmente riconosciuto, o che si siano diploma ti all'Imperial-Regia Accademia Forestale di Mariabrunn, al vecchio Istituto Scolastico corporativo stiriano per minatori e metallurgici di Vordernberg, all'Imperial- Regio Istituto tecnico-industriale (k. k. gewerblich-technische Akademie) di Krakau, all'Imperial-Regio Istituto Minerario di Leoben o Pribram o all 'Accademia Mineraria di Schemniz prima del 1867". *Der erreichte Schutz der Standesbezeichnung "Ingenieur"*, in "ZÖIAV", LXIX, 1917, pp. 236-237.

5 Alfred Birk, *Die deutsche Technische Hochschule in Prag*, 1806-1931, Calvé, Prag 1931; K. Holey, *Die k. k. Technische Hochschule in Wien 1815 bis 1915*, in "ZÖIAV", LXVIII, 1916, pp. 314-317.

[6] cfr. Walter Wagner, *Die Geschichte der Akademie der Bildenden Künste in Wien*, Verlag Brüder Rosenbaum, Wien 1967.

[7] si vedano Emil Brix, Rudolf Richter (a cura di) *Organisierte Privatinteressen: Vereine in Österreich*, Passagenverlag, Wien 2000; e il recente Anton Penlika, Helmut Reinalter, (a cura di) *Österreichischesvereins- und Parteienlexicon,* Studienverlag, Innsbruck Wien München Bozen 2002.

[8] Alexander Lang, *Die Organisation der osterreichischen Techniker*, in „ZÖIAV" LXVIII, 1916, p. 552

[9] Franz von Thun, *Vorschläge zur Reorganisierung des öffentliches Baudienstes in Österreich*, 1861.

[10] Questo dato è tratto dalla tesi di Katharina Foti-Roessler, *Theoretische Auseinandersetzungen mit der Wiener Stadterweiterung ab 1857 an Hand der* "Allgemeinen Bauzeitung", dattiloscritto, Wien 1992.

[11] Josef Friedrich, Adolf Jacobi, *Über Wert und Bedeutung des Ingenieurstandes,* allegato a ZÖIAV, XXX, 1903, pp.1-4, pubblicato originariamente in "die Neue Freie Presse", n.13856, 24 marzo 1903.

[12] Si vedano inoltre: Helmut Engelbrecht, *Bildungspolitik und Unterrichtswesen*, in Adam Wandruszka, Harry Kühnel, (a cura di) *Das Zeitalter Kaiser Franz Josephs*, Teil I, catalogo della mostra, Niederösterreichische Landesausstellung, Schloss Grafenegg, 1984; Susanne Preglau-Hämmerle *Die politische und soziale funktion der österreichischen Universität, von den Anfängen bis zur Gegenwart* INN Verlag, Innsbruck 1986.

Hans-Liudger Dienel (a cura di) *Der Optimismus der Ingenieure, Triumph der Technik und Krise der Moderne um 1900*, Franz Steiner Verlag, Stuttgart 1998.

Adriana Di Leo

La nascita dell'Ordine degli Ingegneri: tutela del titolo ed evoluzione del ruolo (1923-1950)

Alcuni significativi documenti del fondo, recentemente catalogato ed informatizzato, Gabinetto di Prefettura dell'Archivio di Stato di Napoli, fanno riflettere su quanto fosse ampia e controversa la questione della nascita dell'Ordine degli Ingegneri[1]: proprio perché tale problematica costituisce un elemento di vita complessiva che tende ad inserirsi costantemente nella evoluzione generale. In proposito è da ricordare che, durante il Congresso di Firenze del 1875, i Collegi e la Società degli Ingegneri e degli Architetti avevano già richiesto la nascita di un loro albo e la regolamentazione della professione, essendo sollecitati da un fondamentale e coinvolgente aspetto della cultura sia laica che sociale cattolica dell'Ottocento, caratterizzata, senza alcun dubbio, da un vastissimo dibattito internazionale sul mondo del lavoro.

La legge "Tutela del titolo e dell'esercizio professionale degli Ingegneri e degli Architetti" del 24 giugno n.1935, pubblicata sulla G.U. del 17 luglio 1923, se definiva le varie esigenze e proposte di legge precedenti, presentate su tale tema dal 14 dicembre 1904, tuttavia, riapriva, sotto nuove prospettive, alcune questioni di notevole spessore sociale.

Con la legge veniva istituito, in ogni Provincia, l'Ordine degli Ingegneri e degli Architetti il cui titolo spettava soltanto ai diplomati degli Istituti di istruzione superiore autorizzati per legge a conferirli. Agli iscritti toccava il compito di eleggere il Consiglio dell'Ordine, che ogni anno doveva procedere alla revisione e alla pubblicazione dell'Albo, stabilire il contributo annuo dovuto dagli iscritti per rendere possibile le spese dell'Ordine e compilare un bilancio consuntivo annuale, e che dava, quando richiesto, parere sulle controversie professionali.

Il Regio Decreto del 31 dicembre 1923, firmato dal ministro Giovanni Gentile, sottolineava che la laurea in ingegneria, così come tutte le lauree che chiameremo "di avviamento" alle professioni avesse solo valore di qualifica accademica dando il diritto alla denominazione di dottore in ingegneria. Solo il superamento dell'esame di Stato "abilitava" all'esercizio della professione e conferiva il titolo di ingegnere. Nel 1925 si ridefinivano gli oggetti ed i limiti della professione, con maggiore vigilanza per il mantenimento della disciplina e veniva ricordato che, per reprimere l'uso abusivo del titolo di ingegnere e di architetto e per essere inseriti negli elenchi, bisognava avere superato l'esame di Stato ai sensi del D.R. 31 dicembre 1923. Veniva indicato anche che le procedure per ricorrere contro la mancata

iscrizione erano da rivolgersi alla Commissione Centrale presso il Ministero dei Lavori Pubblici e venivano, poi, stabilite alcune disposizioni transitorie.

È evidente, però, che la nascita dell'Ordine, in una prospettiva più ampia, permetteva di ricostruire i necessari legami di solidarietà fra gli appartenenti ad un ceto sociale e poteva essere una opportunità o una strategia per non essere lasciati ai poteri dello Stato che inequivocabilmente andava sempre più verso un regime totalitario.

Soprattutto l'Ordine, come organismo, urtava il potere politico del sindacato fascista ed il ruolo del Prefetto che lentamente assumeva, com'è noto, il compito di ampio controllore della vita pubblica.

La conflittualità tra Ordine e Sindacato Nazionale Fascista degli Ingegneri e degli Architetti esplodeva in forma evidente dopo la legge istitutiva dei sindacati del 3 aprile 1926 per le questioni relative alle iscrizioni all'Albo e per la tutela del titolo. Spesso le controversie sorgevano in relazione agli esami di abilitazione all'esercizio della professione di ingegnere; a Napoli, in particolare, già per i nomi dei commissari da inserire nelle costituende commissioni, nomi richiesti dall'Alto Commissariato per la Provincia di Napoli al Consiglio dell'Ordine degli Ingegneri.

Il segretario del Sindacato Provinciale Fascista Ingegneri, il 26 ottobre del 1926, contestava perché nelle tre terne proposte dall'Ordine erano stati inclusi uomini non iscritti al sindacato fascista. "Già in altre occasioni si è evidenziato che l'unico rappresentante della classe degli ingegneri per la provincia di Napoli è il Sindacato Fascista, mentre il Consiglio dell'Ordine al quale codesto Commissariato si è rivolto ha carattere ufficioso interno e non è riconosciuto da alcuna autorità essendo il Consiglio dell'Ordine degli Ingegneri non costituito presso la Corte d'Appello"[2].

Tale posizione del Sindacato veniva ribadita dopo l'emanazione del R.D. del 1927 che coordinando la legge istitutiva dell'Ordine n.1395 e la Legge istitutiva dei sindacati n.563 nella "Disciplina giuridica dei rapporti collettivi di lavoro" attribuiva ai Sindacati la custodia dell'Albo e la regolamentazione degli iscritti, precedentemente compiti del Consiglio dell'Ordine. In tale data venne decisa anche la separazione degli Albi per gli Ingegneri e quella per gli architetti. Il difficile rapporto tra sindacato fascista ed ingegneri veniva ripreso proprio perché basato sul principio che l'associazione di categoria non poteva che essere una e sul fondamento che nella società vi era la necessità dell'inquadramento sindacale totalitario degli ingegneri. Ciò doveva servire sia per il coinvolgimento degli ingegneri nel mondo della produzione, sia per una sufficiente assistenza ai neo-laureati per il periodo di apprendistato, sia per porre un limite agli affrettati licenziamenti e, in relazione ai giovani, per il progetto di una collaborazione tra sindacato, scuola e G.U.F. per fornire una maggiore preparazione pratica. I consigli dell'Ordine furono giuridicamente sostituiti dalle Associazioni sindacali che

sceglievano i componenti delle Giunte provinciali per gli Ingegneri insediate per due anni. Nella prospettiva della politica fascista potevano essere iscritti negli albi solo coloro che lavoravano nell'interesse dello Stato.

Un'altra vivace questione per la tutela del titolo riguardava i temi trattati dalle norme transitorie.

Ma il rifiuto a partecipare all'esame di Stato si articolava in varie direzioni e per difendere il titolo si doveva tenere conto anche delle istanze e delle lagnanze al Ministero della P.I. presentate dagli ingegneri laureati e laureandi, ex combattenti, che chiedevano, per tale motivo, l'iscrizione all'Albo senza sostenere l'esame di Stato, sostenendo di averne diritto per alcune norme della legislazione emanata. Ma tale normativa riguardava solo coloro che, sforniti di laurea, "esercitarono di fatto, per dieci anni, ed in modo corretto, la professione di ingegnere o quella di architetto, e potevano con titoli dimostrarlo"[3]. Soltanto nel 1932 venne concesso alle categorie di Ufficiali superiori dell'esercito, della marina e dell'aeronautica, con precisi requisiti, di avere l'abilitazione all'esercizio della professione senza superare l'esame di Stato.

Nel 1929 la "tutela" del titolo veniva difesa, in una questione, ancora oggi attuale, in relazione, cioè, ai titoli conseguiti all'estero[4].

Ma se erano evidenti gli abusi del titolo, ugualmente erano gravi le irregolarità di alcuni iscritti. La professione doveva sempre essere esercitata rispettando le leggi dello Stato, tenendo conto del pubblico interesse e delle responsabilità verso il committente e la collettività. Veniva ricordato di mantenere sempre il decoro e la dignità esercitando solo incarichi per i quali vi era la sufficiente preparazione ed un costante aggiornamento. Il lavoro doveva essere svolto tenendo sempre presente il rispetto verso i colleghi.

Un punto nodale e controverso era costituito dalle tariffe che venivano richieste per le prestazioni professionali. Per evitare gli abusi sulla valutazione del lavoro svolto, si pubblicavano non solo le tariffe professionali, approvate con decreto del Ministro dei LL.PP. in data primo dicembre 1932, ma anche le minuziose norme integrative concordate nel novembre del 1933 tra la Segreteria nazionale dello stesso Sindacato ed i Consorzi di Bonifica e di Irrigazione. E tuttavia la mancanza di uniformità di criteri presso i Sindacati Periferici richiedeva l'opportunità di emanare per tutto il Paese precise ed uguali disposizioni affinché accanto ad una tariffa professionale nazionale, "dal gennaio 1936 esista anche un Regolamento nazionale per la sua applicazione"[5].

Il Duce negli anni Trenta dava "le direttive di marcia" per un potenziamento sempre più solido della categoria professionale degli ingegneri che dovevano servire per la valorizzazione dell'impero fascista ed erano chiamati all'intenso sfruttamento del sottosuolo, incoraggiati alla ricerca applicata, nello studio in particolare delle fibre e delle energie alternative: nel 1935 le Scuole diventavano Facoltà e poco dopo ve-

nivano stimolate le iniziative da svolgere per sostenere l'autarchia e per creare le infrastrutture nelle "terre nuovamente conquistate"[6].

Nel 1937 S.M. il re imperatore riceveva la redazione della rivista ufficiale del sindacato fascista "L'Ingegnere". La rivista, come "L'energia elettrica" espressione dell'Associazione Nazionale Imprese Elettriche nata sul finire del 1924, documentava l'impegno assunto dalla tecnica italiana.

In una prospettiva storica le due riviste, insieme con "Ricerche d'ingegneria", sono organi di informazione e cultura, e hanno anche un valore intrinseco per la storia dell'ingegneria perché, mentre testimoniano attraverso le immagini la storia della pubblicità industriale e dell'archeologia industriale ed esprimono l'evoluzione della tecnica, contribuiscono con i necrologi ad approfondire la galleria degli ingegneri più significativi sottolineandone la vita, la formazione, i compiti. Come sottofondo a tutti questi elementi vi è in tali fonti una sottile storia della evoluzione sociale, cara alla storiografia francese, definita "storia della mentalità".

Nel 1943, essendo stati tutti i sindacati disciolti, le categorie professionali si trovarono in un periodo di crisi per la mancanza di un collegamento tra gli iscritti agli albi. Così nel novembre del 1944 si ricostituirono i Consigli dell'Ordine ed i Collegi professionali per Ingegneri, Architetti, Geometri, Periti Agrari ed Industriali[7]. In breve tempo riprendeva il suo ruolo anche l'Associazione Nazionale Ingegneri e Architetti Italiani che subentrava al soppresso sindacato per la pubblicazione della rivista "L'Ingegnere", organo ufficiale della categoria.

La storia italiana con la fine del secondo conflitto mondiale realizzava profondi mutamenti che non toccavano solamente l'aspetto istituzionale e politico ma in modo rilevante un cambiamento economico e sociale. In tale circostanza era necessaria la partecipazione di tutte le competenze perché l'opera della ricostruzione si presentava quanto mai frutto di una collaborazione tra le forze politiche, giuridiche e tecniche. Si trattava di una profonda valutazione di ciò che era il "bene della nazione" e sotto molti aspetti di questioni morali nel mondo del lavoro. Alcuni di questi cambiamenti e le tante fasi della ricostruzione esprimevano l'impegno dell'ingegneria italiana dato che, contrariamente alla prima guerra mondiale, tutto il territorio aveva "vissuto" la guerra ed i suoi effetti.

Nel corso di un periodo relativamente breve si verificavano nuove iniziative che dovevano adattare il lavoro dalle antiche tecniche a quelle più moderne e sempre più attuali. Il cambiamento fu tanto sostanziale da mutare anche l'aspetto fisico della nazione: le foto di una città italiana, specialmente di quelle più teatro di guerra, erano irriconoscibili solo un ventennio dopo. Certo un elemento importante nella vita della Nazione era l'auspicato e tanto atteso "piano di programmazione" economica che avrebbe dovuto modulare la rinascita secondo quanto attuato dalla Fran-

cia e dalla Gran Bretagna. Ma l'opera veniva a mancare per la diffidenza dei gruppi capitalistici privati verso l'intervento pubblico nell'economia, per la notevole presenza di economisti legati alla scuola liberale che tenevano in poco conto il New Deal americano, per la diffidenza verso elementi voluti dal fascismo nella vita economica come l'IRI. Per tali lacune bisognava intervenire sulle attività industriali per la riconversione ma anche, com'è stato da poco dimostrato dall'ISEC, non tanto sulle tecnologie in sé ma sull'uso della tecnologia e sui modi di gestire le aziende, sulle vie di comunicazione che ponevano notevoli quesiti per il loro ripristino, sulla disoccupazione, sull'agricoltura ove le perdite della produzione del grano erano di circa la metà, sul tesseramento dei beni di prima necessità e sul mercato "nero" ove si potevano acquistare i generi di prima necessità ma ad un costo notevolissimo.

Se notevole era stato l'incremento dei prezzi fra il '38 ed il '45 ancora maggiore fu l'inflazione nel 1946. Dal dicembre del 1945 fino al 1953 Alcide De Gasperi guidava i Governi italiani. Soprattutto il secondo ministero De Gasperi, primo della Repubblica italiana, creato nel 1946 doveva indagare sulla spinta inflazionistica che senza opportuni provvedimenti rischiava di fare naufragare l'intera economia italiana. Tale difficile eredità richiedeva all'ingegnere non solo una maggiore organizzazione ma anche una approfondita conoscenza delle competenze e delle procedure più rapide per svolgere i suoi compiti. Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri dichiarava che l'ordinamento professionale nel 1948 era ancorato a norme che non corrispondevano più alle esigenze dei tempi e richiedeva che l'onorevole Ministro Guardasigilli disponesse il coordinamento di un testo unico creando una specifica commissione capace di rivedere tutti gli aspetti riguardanti l'ordinamento professionale della categoria[8]. L'attività del Consiglio nazionale si sarebbe svolta a favore: della tariffa professionale, della rappresentanza della categoria, delle questioni tributarie, del Testo unico per l'ordinamento professionale, della separazione degli Ordini degli ingegneri e degli architetti, delle competenze professionali degli ingegneri e dei geometri, della liquidazione delle parcelle, dei ricorsi disciplinari.

Nel mese di luglio del 1948 per la tutela del titolo professionale si segnalava, da parte del Ministero dei Lavori Pubblici, che frequentemente si sottoponevano all'esame degli Uffici progetti di opere pubbliche compilate e firmate da tecnici non idonei, per gli studi compiuti, a presentarli. Questo fatto si era tollerato, entro certi limiti, durante il periodo bellico o nell'immediato dopoguerra a causa dell'assenza di tecnici idonei o per la necessità di provvedere in tempi brevi, ma ciò non poteva essere più tollerato. Ormai le disposizioni di legge, per alcuni lavori, prevedevano che l'autore fosse un ingegnere laureato sia per ragioni pratiche sia per pubblica incolumità. A tale fine bisognava ricordare le leggi sulle competenze e

sulle attività professionali degli ingegneri, architetti e geometri[9]. Nel mese di ottobre dello stesso anno erano anche fissate le norme per svolgere i ricorsi davanti al Consiglio Nazionale degli Ingegneri[10].

La professione richiedeva la valutazione non solo dei problemi tecnici, e che questi fossero articolati in competenze sempre più vaste, come dimostrano i numerosi "primi" convegni nazionali tenutisi per vari aspetti della professione nel 1946, quanto nella elaborazione delle opere interferivano problemi sociali, economici e finanziari per risolvere i quali veniva richiesto senno, cultura ed esperienza. Erano da considerare alcuni fattori importanti come l'impiego di mano d' opera quanto più ampio possibile, l'economia più stretta di materiali e di trasporti, il più basso consumo di combustibili, carburanti e metalli. Gli scarti dovevano essere ridotti al minimo "riutilizzando" perché nulla andasse sprecato. Le energie andavano convogliate con operosità nei molteplici settori nei quali bisognava ricostruire, dando le dovute precedenze. In campo nazionale bisognava riadattare le strade importanti esistenti intervenendo sui tratti interrotti e rimandando l'apertura di nuove arterie. Il criterio di riutilizzare i materiali usati presentava i due vantaggi di essere già sul posto e di evitare il trasporto a pubblici scarichi. All'ingegnere il compito ed il problema non di progettare e ordinare materiale ma all'opposto in base ai materiali disporre i progetti. Il lavoro era un campo di adattamento e di intelligenza per il continuo presentarsi di problemi pratici per i quali era fondamentale la collaborazione dell'ingegnere con le proprie masse operaie. Inoltre, nella ricostruzione dovevano realizzare: calcoli attenti, cernita del materiale impiego di numerosa mano d'opera, lavorazioni perfette, riduzione dei trasporti, eliminazione del superfluo, utilizzazione piena dei materiali disponibili e recuperabili, organizzazione del lavoro più razionale possibile per case, riparazioni di fabbriche ed opifici, tronchi stradali, piccole opere portuali, marittime, fluviali, e, di enorme attualità, la bonifica dei campi minati; tutto ciò in collaborazione, quando era il caso, con gli Uffici tecnici dei comuni[11].

Ma proprio nel dopoguerra si era anche discusso dei piani di riordinamento delle industrie dato che molte aziende non avevano lavoro sufficiente per poter sopravvivere[12]. La funzione dell'ingegnere industriale serviva a chiarire che la questione non aveva solo carattere tecnico, ma anche, organizzativo e commerciale. In effetti quando l'industria cessava di creare ricchezza bisognava chiedersi sempre le cause di tale situazione, ed eliminarle, dato che era talmente essenziale all'economia di un Paese che poteva dipendere da essa la sopravvivenza. Il tecnico conosceva che vi era bisogno sia di genialità sia di studio dell'ambiente che doveva assorbire i prodotti. Nel campo della meccanica la conoscenza dei mercati esteri era superficiale e si poteva provvedere, ad esempio, affiancando ad ogni Consigliere Commerciale presso le Ambascia-

te un buon numero di tecnici per seguire la situazione in ogni paese e dando agli industriali le relative informazioni.

Un solo prodotto doveva essere individuato e doveva assorbire la capacità di un'azienda, preferibilmente di piccola o media dimensione, si doveva creare un valido ufficio di studi e di ricerche, un intelligente ufficio di produzione, onde avere non più grandi complessi ma uffici funzionali. Di tutto questo era capace una mente "logica". Si sentiva il bisogno dell'opera dei tecnici per gli interventi necessari nella organizzazione produttiva. Se tutto un periodo si era rivolto alla distruzione ora bisognava riportare la grande produzione di pace basata sullo scambio dei beni prodotti e tutto ciò veniva affidato al progresso della scienza ed alle tecnologie, alla ricerca scientifica che ogni giorno poteva rinnovarsi. In tale situazione l'arte o la professione dell'ingegnere era la più adatta perché il ruolo del tecnico nella società non era solo inventare o costruire ma realizzare e questo organizzando procedimenti costruttivi adatti ad ottenere "costi" progressivamente sempre più bassi. Realizzando tale progetto si otteneva la realizzazione del rapporto tra tecnica ed economia[13].

Tale rapporto si doveva maturare lentamente anche nel giovane laureato per una giusta mentalità utilitaria. In tale prospettiva diventava molto importante che gli studi dessero uno spirito più "formativo" che "informativo" costituito dall'abito mentale basato sulla tenacia nei propositi e nella costanza per i risultati finali. Tale mentalità poneva l'ingegnere in un ruolo di prestigio sociale mentre l'ampiezza delle applicazioni della professione poneva la necessità della "specializzazione" in un campo o ramo tecnico. Tutto senza perdere di vista il contatto con gli aspetti sociali e politici.

La libera professione dell'ingegnere, lo sviluppo della carriera, la figura professionale si approfondiva attraverso un vasto dibattito internazionale agli inizi degli anni cinquanta. L'inchiesta nazionale del 1952 sulla fisionomia nazionale dell'ingegnere segnalava la necessità di un maggiore interessamento ai problemi della professione e del lavoro sia da parte degli uomini politici che da parte degli stessi ingegneri. Risultava fondamentale che i giovani aspiranti si rivolgessero al più presto verso la forma di attività preferita sviluppandone interessi e caratteristiche e che la preparazione scolastica si integrasse con una fase di pratica professionale prima dell'abilitazione e successivamente fosse seguita da un vero sviluppo delle caratteristiche professionali.

Il modo del lavoro sembrava indicare come voci più significative di apertura ai giovani laureati i settori dell'industria, della ricerca scientifica e del pubblico impiego. Più ridotte si segnalavano le richieste per la professione libera. A coloro che avessero avuto buone conoscenze delle lingue straniere i Paesi stranieri sembravano offrire buone possibilità nei settori dei lavori stradali, ferroviari, edili e minerari. Infine nella sintesi viene segnalata la stima

rivolta alla figura degli ingegneri impiegati[14]. Per riassumere le varie problematiche presenti, in parte affrontate anche nell'inchiesta nazionale, nell'aprile del 1953 iniziava sotto nuova veste la pubblicazione del "Bollettino del Consiglio Nazionale degli Ingegneri", organo professionale d'informazione, che nella pagina introduttiva dei "Propositi" riassumeva in una prospettiva storica le numerose questioni dell'Ordine[15].

In effetti con un modesto nome la pubblicazione presentava alte aspirazioni: difendere tutti gli interessi morali e materiali della categoria e principalmente tutelare il titolo e la funzione dell' ingegnere non come questione privata ma come logica difesa della collettività. Era fuori di ogni dubbio prima di tutto affermare che il diffondersi della tecnica nella società contemporanea allargava sempre più la sfera delle attività dell'ingegneria e la sua responsabilità. Certamente nel diffuso disordine del dopoguerra, gli ingegneri, come raggruppamento professionale, "si smarrirono" e con la fine del sindacato fascista furono perplessi su quale organizzazione professionale potesse nel modo più idoneo rappresentarli.

Per tale motivo sorsero varie associazioni. Ma era giunto il momento di ribadire ufficialmente che l'Ordine era non solo la reale associazione degli ingegneri ma anche il legale rappresentante. Gli avvocati o i medici non avrebbero mai accettato di essere rappresentati semplicemente da un sindacato. Così mentre questi professionisti alla fine del conflitto mondiale si attivavano per ricostituire gli autorevoli rispettivi Ordini, una certa discordia rendeva più fragile e dispersiva la difesa della categoria degli ingegneri riducendone anche la posizione morale. A tutti doveva essere chiaro che nel rafforzamento dell'Ordine si inseriva una vittoria dai risvolti sociali onorevoli. Del resto tale messaggio era stato inviato a Napoli anche dai Ministri Zoli e Rubinacci, nel convegno nazionale dell'Ordine degli ingegneri. In qualità di rappresentanti ufficiali della categoria non si poteva avere che questo linguaggio anche verso quei colleghi che ancora credevano di potere lottare per l'organizzazione e la tutela della categoria con posizioni e metodi diversi.

La creazione di un solido organismo forte era la sola strategia per convogliare tutte le forze attive in un punto sicuro, base delle prospettive dell'azione degli ingegneri nel nuovo e fondamentale passaggio della vita del Paese caratterizzato dallo slancio economico degli anni dello sviluppo che avrebbero portato all'incredibile rivalutazione delle risorse italiane.

Negli anni del "miracolo economico"gli ingegneri nel mondo del lavoro erano chiamati ad approfondire il legame tra tecnica e sociologia, parte integrante di quel fenomeno che i tecnici americani amavano definire la "seconda rivoluzione", cioè, la "rivoluzione del fattore umano". A tale scopo l'attenzione veniva rivolta nel primo Congresso Internazionale degli ingegneri promosso dalla Fèdèration Internazionale d'Associations d'Ingénieurs (FIANI),

su "La preparazione dell'ingegnere e i suoi compiti nella società", e veniva ricordato in un quadro comparativo interessante tra orizzonti europei e americani che, per valorizzare la professione, in America, gli studi universitari di ingegneria comprendevano "dal l8 al 25% materie a carattere umanistico come lingue, storia, politica, relazioni sociali e del lavoro", con ottimi risultati[16].

[1] Archivio di Stato di Napoli (d'ora in poi ASN), Prefettura di Napoli, Gabinetto, secondo versamento, fascio n.535, IV.7.270, 1922-26, fascicoli 10 e 11. Si ringraziano la dott.ssa Felicita De Negri, direttrice dell'Archivio di Stato di Napoli, ed il dott. Fausto Di Mattia. Inoltre, il Presidente dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno, ing. Armando Zambrano, e l'ing. Pietro Di Maio, sono stati disponibili a consentire la consultazione e la valorizzazione dei beni archivistici e bibliografici depositati presso la loro sede.

[2] ASN, Prefettura di Napoli, Gabinetto, secondo versamento, fascio 535, IV.7.270, fasc.10, cit., Alto Commissariato per la Provincia di Napoli; Esami di abilitazione all'esercizio della professione di Ingegnere; Esami di abilitazione per la nomina dei componenti; Incontro Sindacato e Associazione Nazionale Ingegneri (settembre 1926); Segreteria del Sindacato all'Alto Commissariato (26.X.1926).

[3] ASN, Prefettura di Napoli, Gabinetto, secondo versamento, fascio 535, IV.7.270, fasc.11, cit., Ingegneri laureati e laureandi, ex combattenti, che chiedono la loro iscrizione negli albi degli ingegneri (2 marzo 1927).

[4] R.D. 28/2/1929 n.331 convertito in legge il 27/6/1929.

[5] Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno, (d'ora in poi OIS), Norme integrative alla tariffa professionale per i Sindacati Ingegneri approvata con Decreto Ministeriale 1 dicembre 1932, Circolare N.72, Roma,1933-XI; Sindacato Nazionale Fascista Ingegneri, Regolamento per il funzionamento delle commissioni provinciali per la revisione delle parcelle professionali, Roma, 1936-XIV.

[6] Cfr. L'Ingegnere, Dicembre 1936-XV, n.12, p.602 "Sono felice tutte le volte che vedo trasformarsi la materia,tutte le volte che vedo paludi diventare campi coltivati, il sentiero diventare una strada, le valli percorse da ferrovie, tutte le volte che vedo innalzarsi stormi di aeroplani, scendere in mare grandi unità di guerra o di pace: tutto questo, che è opera vostra, o ingegneri, esalta il mio spirito di costruttore, di uomo che ama le "cose concrete e reali". Mussolini. L'impresa di realizzare e poi conservare la rete stradale fondamentale dell'Impero venne affidata all'Azienda Autonoma Statale della Strada che organizzò con i propri funzionari un Servizio Speciale per l'Africa Orientale costituito da un ispettorato centrale con sede in Addis Abeba e quattro compartimenti a Gondar, Dessiè, Asmara, Addis Abeba. Per testimoniare il lavoro svolto vogliamo ricordare che solamente la litoranea libica vide il lavoro italiano di 20 ingegneri, 500 assistenti, 13000 operai per realizzare, con notevoli difficoltà ambientali, 1822 Km. "in termine di tempo rapidissimo".

[7] Ordinamento della professione, D.L.L. 23 Novembre 1944, n.382 Norme sui Consigli degli Ordini e Collegi e sui Consigli Nazionali

[8] "Dalla sua costituzione avvenuta il 6 aprile 1948 il Consiglio Nazionale degli Ingegneri, in forza delle attribuzioni affidategli dalla legge 23 novembre 1944 n.382, ha provveduto a tutelare lo stato morale ed economico della categoria; ha espresso il proprio parere sulle leggi e sul regolamento professionale nonché sul funzionamento di alcuni Consigli provinciali dell'Ordine, proponendo al Ministero di Grazia e Giustizia la nomina dei Commissari straordinari; ha risposto a tutti i quesiti interessanti la categoria, pervenutigli sia direttamente dai singoli professionisti sia dai Consigli provinciali; ha deciso su giudizi disciplinari d'appello". Bollettino del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, "Diorama

dell'attività del Consiglio Nazionale degli ingegneri", anno 2°, n. 1, aprile 1953, pp. 7-9. Cfr. OIS, Ordine degli Ingegneri iscritti all'Albo professionale della Provincia di Salerno, 18 marzo 1944.

[9] Cfr. Per la tutela del titolo professionale, in L'Ingegnere, luglio 1948, n. 7, p. 629.

[10] Ordinamento della professione. D..M. 1 ottobre 1948. Norme di procedura per la trattazione dei ricorsi dinanzi al Consiglio Nazionale degli Ingegneri.

[11] G. Stellingwerff, Qualche considerazione sull'opera dell'ingegnere nella ricostruzione nazionale, in L'Ingegnere, settembre 1946, n. 9, pp. 715-721.

[12] S. Manghi, Grandi, medie e piccole aziende meccaniche, in L'Ingegnere, aprile 1948, n. 4, pp. 271-275.

[13] R. Vallari, La professione dell'Ingegnere, in L'Ingegnere, n.7, luglio 1948, pp.598 e seguenti.

[14] I risultati della nostra inchiesta sulla fisionomia professionale dell'ingegnere, Lo sviluppo della carriera dell'ingegnere, in L'Ingegnere, ago. 1952, pp. 927-930.

[15] Bollettino del Consiglio Generale degli Ingegneri, aprile 1953,anno 2- n.1

[16] Cfr. G. Corbellino, Tecnica e sociologia nella formazione dell'ingegnere, Prima parte della prolusione tenuta al Politecnico di Milano per l'inaugurazione dell'Anno Accademico 1952-53, in L'Ingegnere, febbraio 1953, pp.157-160; La préparation de l'ingénieur à son rôle dans l'échelle de la profession technique, Roma, 8-11 ottobre 1953; L'Ingegnere, marzo 1953, p.256; Gennari Santoro, L'Ingegnere nella struttura sociale della nazione, in L'Ingegnere, feb. 1953, pp. 149-155.

ADRIANO PAOLO MORANDO

Da Ferraris a Giorgi: la scuola italiana di Elettrotecnica

Implicita nella *Dynamical Philosophy* e nella espansione di una rivoluzione industriale in atto, la nascita dell'ingegneria elettrica scientifica si articolò, postmaxwellianamente, nella progressiva transizione dalla figura dello scienziato (Maxwell), a quella dello scienziato-inventore (Ferraris), a quella, infine, del fisico matematico che diventa ingegnere (Steinmetz).

Sottolineato lo stretto legame che, sul piano metodologico e fondazionale, correlò la *Dynamical Theory* maxwelliana ai contributi recati da Galileo Ferraris alla teoria scientifica del trasformatore e all'invenzione del campo rotante, si colloca, nel quadro della cultura e della società del tempo, la figura dello scienziato italiano. Ne emerge, tramite il suo maestro Giovanni Codazza, il ruolo decisivo che sulla sua formazione ebbero - oltre a Maxwell, Tait, von Helmholtz ed Heaviside - il maestro di questi: Fabrizio Ottaviano Mossotti.

Delineata sommariamente, all'indomani della prematura scomparsa di Ferraris, la scuola di Torino, si evidenzia, accanto al contributo recato a Milano da Riccardo Arnò, il ruolo formativo svolto, in senso postferrarisiano, dall'insegnamento di un suo allievo di particolare valore: Moisè Ascoli.

Allievo di Ascoli, insieme a Ferdinando Lori, fu Giovanni Giorgi. A lui si debbono due contributi cruciali che lo collocano in modo preciso, facendone il continuatore, nel solco dell'opera ferrarisiana. Il primo, *The foundations of Electrical Science*, del 1894, riporta a quell'approccio operativo di Bridgman che avrebbe in seguito influenzato la lettura di Ercole Bottani. Il secondo, del 1905, è legato alla *Teoria della dinamo ricorsiva*, con la quale egli, sulla scia di alcuni contributi ferrarisiani ed anticipando la trasformata di Park, propose un primo approccio elettrodinamico alla teoria unificata delle macchine elettriche.

Prendendo le mosse da questi elementi, verranno ravvisati, lungo il percorso Mossotti, Codazza, Ferraris, Ascoli-Arnò e Giorgi-Lori, gli elementi portanti della scuola italiana di elettrotecnica.

L'astuzia scozzese: la dynamical philosophy

Con il netto rifiuto, da parte dell'*École*, del modello amperiano, la Scienza Elettromagnetica assiste, già nei primi decenni dell'Ottocento, al progressivo declino del pensiero meccanicistico. A fronte di tale negazione, non ricevendo risposte da una scuola di fisica matematica sempre più inadeguata, l'indagine filosofico-scientifica oltrepassa la Manica e si affida alla *Dynamical Philosophy* . E sotto la sua influenza - si parlerà in seguito di "astu-

zia scozzese" - modifica radicalmente la propria lettura dei fenomeni naturali. Non più di tipo a distanza, l'azione viene ad essere di tipo mediato. Con il risultato che a cambiare è il concetto stesso di spazio: non più laplaceanamente visto come un semplice contenitore passivo di corpi, esso, faradianamente, si compromette con l'evento. Dà luogo cioè ad un' azione per contatto attuata, in ragione dell'inerzia e dell'elasticità del *medium*, con celerità finita. Tramonta dunque, in quegli anni, il modello newtoniano e nuovamente, come già al tempo di Descartes, si torna a ritenere che *nihl agit in distans nisi prius agit in medium*. Con implicazioni quanto mai irte di difficoltà analitiche e metodologiche: l'*attraverso* lascia infatti il posto all'*attraverso e mediante*.

A partire dal 1831, anno in cui vengono resi noti gli studi di Faraday sull'induzione magnetoelettrica, le date cruciali di questa rivoluzione filosofico-scientifica riportano, lungo un percorso essenzialmente situabile tra il 1856 ed il 1888, all'opera di Maxwell ed a quella dei suoi successori: i post-maxwelliani. Già all'indomani degli esperimenti di Faraday, questa rivoluzionaria indagine inizia proprio con la trilogia maxwelliana. Il primo dei suoi tre contributi consiste in un approccio euristico alla teoria di campo fondato sull'idrodinamica. Senza compromettersi con alcuna teoria, esso evidenzia la precisa calcolabiltà del fenomeno elettromagnetico visto secondo la lettura faradiana. Ed in tal modo la solleva dall'accusa, mossagli dalla scienza ufficiale, di essere puramente metafisica. Il secondo propone invece una lettura meccanicistica del substrato elettromagnetico non osservabile. E conduce in tal modo, quale modello dell'etere, al vortice molecolare. Compiendone l'analisi dinamica, svolta per via lagrangiana su un sistema a vincoli anolonomi, Maxwell ha modo di introdurre il rivoluzionario concetto di *displacement* e di evidenziarne in modo conseguente il contributo magnetico. Muovendo da questa innovazione, egli formalizza quindi, in accordo con l'ipotesi faradiana di azione per contatto, il carattere ondoso dei fenomeni elettromagnetici e ne propone infine formalmente una possibile unificazione con quelli ottici. Il terzo ed ultimo contributo è costituito infine dalla *Dynamical Theory* propriamente detta. A questo punto dell'indagine il vortice molecolare, ormai ridotto al ruolo di garante formale, è visto solo come un "sostegno emotivo" rispetto alla *Dynamical Philosophy*. Al suo posto, in piena analogia metodologica con Fourier, si afferma definitivamente una concezione del tutto nuova di teorizzazione di un fenomeno. Per essa, teoria e messa in equazione vanno visti come concetti simultanei e sinonimi. Ogni parallela lettura meccanicistica del *medium*, dettata solo da un "bisogno animistico" dell'uomo, viene ad essere del tutto destituita di fondamento. Non per questo, quale espressione diretta della *Dynamical Philosophy*, la teoria, superato il meccanicismo, cessa di essere dinamica in senso stretto: parlando dell'energia accumulata nel

campo elettromagnetico, Maxwell esige in modo categorico di "essere preso sul serio" quando afferma che quella energia è a tutti gli effetti meccanica. Spazio e movimento continuano dunque a restare i dati fondanti propri della pensiero scozzese. Nel 1873 il *Treatise* raccoglie, in forma organica e ormai definitiva, l'intero pensiero maxwelliano. Il formalismo adottato, costituito dall'approccio lagrangiano e dal parallelo uso dei quaternioni, non gioca però a favore dell'immediatezza e della fruibilità dei risultati. E le equazioni stesse, cui resta laplaceanamente affidato il compito di dedurre la *marche naturelle* dei fenomeni indagati, appaiono ben lontane da quei requisiti di chiarezza e compattezza che ci si attenderebbero invece da una teoria ormai consolidata ed evoluta. Sussiste inoltre più di una qualche "perplessità" anche sui contenuti. L'uso sistematico dei potenziali scalare e vettore sembrerebbe negare "primarietà" alle linee di forza elettriche e magnetiche; l'integrazione delle onde si limita al solo caso monodimensionale piano e l'indice di rifrazione che se ne deduce risulta essere, in palese disaccordo con l'evidenza sperimentale, indipendente dalla frequenza. Inoltre, non vi è traccia sostanziale di bilancio energetico e la stessa distinzione tra tensione, differenza di potenziale e forza elettromotrice abbisogna di ripensamenti. Nel 1885, in modo del tutto autonomo, Poynting - ma soprattutto Heaviside - formalizzano l'integrale primo delle equazioni di Maxwell e ne deducono, in una forma generale a tutt'oggi immutata, l' energetica elettromagnetica sottesa. A tali risultati fa infine seguito la fondamentale *Electromagnetic Theory* di Oliver Heaviside. Avvalendosi della moderna teoria dei vettori e del calcolo operatoriale, l'elettromagnetismo viene finalmente presentato nella sua forma attuale. Vi compaiono la teoria dei campi e quella delle reti elettriche e magnetiche, nonché l'analisi delle linee a costanti distribuite. Nel 1888, con l'esperimento di Hertz, la metafora scientifica maxwelliana, legata alla nozione di *displacement*, trova infine la sua piena conferma sperimentale: il campo elettromagnetico si propaga per onde alla velocità della luce.

L'esperimento subisce però, immediate e severe, le critiche di Poincarè. Nel calcolo della frequenza naturale di oscillazione del circuito di misura adottato Hertz ha dovuto preventivamente calcolare l' induttanza e la capacità. Ma, per farlo, si è servito delle relazioni stazionarie di Neumann. Ha dunque commesso il grave errore metodologico di dimostrare la validità di una teoria dinamica avvalendosi di relazioni proprie di una teoria statica. L'indagine hertziana, e con essa la condizione stessa di validità della *Dynamical Theory* che vi è subordinata, sembrano dunque essere messe in seria discussione.

Il 13 agosto 1889 - anno nel quale si può datare la nascita della teoria elettromagnetica dei circuiti - Hertz riceve una lettera da Heaviside. In essa, prendendo atto delle critiche mosse da Poincaré, il fisico matematico inglese aggiorna il collega tedesco su alcune

ricerche che egli, da tempo, sta conducendo su tale tema. E lo informa di un particolare risultato da lui raggiunto: l'errore commesso con l'uso delle formule statiche di Neumann può essere ritenuto numericamente accettabile nel caso particolare in cui la lunghezza d'onda del campo elettromagnetico risulti sensibilmente maggiore dell'estensione del circuito stesso. Verificando in senso campistico se stessa, la *Dynamical Theory* finisce dunque con l'estendere la propria influenza anche sull'ambito circuitale. Entra dunque a fare parte dei contenuti metodologici della *Dynamical Theory* proprio quella componente "elementare ed intuitiva" del fenomeno elettromagnetico che, fino a quel momento, era stata invece inspiegabilmente vissuta come autonoma rispetto all'oneroso impianto fisico-matematico del *Treatise*. Anche i circuiti, come già campi, di cui essi sono solo un caso approssimato particolare, risultano dunque immersi in uno spazio fisico. E, in accordo con i potenziali ritardati presenti negli integrali delle equazioni di Maxwell (che di fatto negano il concetto stesso di circuito a costanti concentrate), il loro impiego, a priori di tipo condizionato, avrebbe da quel momento messo in gioco un'elevata competenza fisico-matematica.

Un primo contatto applicativo con la Dynamical Theory: fisica tecnologica e tecnologie elettriche

Nello stesso periodo in cui Maxwell è impegnato nella trilogia che lo condurrà ad elaborare la sua *Dynamical Theory*, le nascenti tecnologie elettriche, che pure sono in fase di netta espansione, disdegnano qualunque reale contatto con le complesse riflessioni filosofico-scientifiche compiute dalla Scuola Inglese. In quegli anni '60-'80 gli elettrotecnici dispongono essenzialmente della sola pila voltiana, in quanto solamente da qualche tempo, basandosi peraltro su una teorizzazione ancora incerta, la macchina a collettore di Pacinotti ha fatto, in un modo concreto, la sua comparsa. I tecnici si occupano progettualmente delle sole applicazioni in corrente continua, un ambito estremamente semplificato ed elementare per il quale, almeno in prima lettura, può anche non risultare necessaria una rigida formazione di tipo fisico-matematico.

Seguaci di una scuola francese orientata verso Fourier piuttosto che non verso Laplace, i tecnici di quei primi anni sono animati da un netto scetticismo nei confronti dello strumento analitico. Elaborano dunque un'elettrologia puntigliosamente attenta nei confronti dell'esperienza, ma diffidente verso tutto ciò che può oltrepassare l'immediatamente controllabile. La loro produzione risulta pertanto singolarmente povera di una matematica anche elementare.

Negli stessi anni della trilogia maxwelliana, in nessun caso il loro pensiero si avvicina alla grande scuola di fisica matematica e di filosofia naturale inglese. Esso resta stabilmente legato all'area continentale, all'*Ecole*. Ma in un momento in cui questa ha ormai del tutto esaurito ogni sua spinta propulsiva. E, proprio con questa *forma mentis*, ac-

cede al regime variabile.

Benché Heaviside abbia fondato la moderna teoria dei circuiti magnetici, gli approcci campistici alle macchine elettriche restano del tutto intuitivi. Con esiti inevitabili: non a caso, visitando nel 1881 l' esposizione di Parigi, davanti alla struttura magnetica delle dinamo Hopkinson-Edison, Ferraris parla di "insegnamento della disfatta".

Con i secondi anni '80, i livelli di potenza da trasmettere e le distanze da coprire si fanno ben più elevati. Questioni di fattibilità tecnica impongono allora l'elevazione delle tensioni in gioco. Si giunge così alla conclusione che tale esito non possa essere conseguito che con l'uso dei trasformatori. La corrente continua viene pertanto abbandonata ed al suo posto, non senza qualche contraddizione, subentra quella alternata sinusoidale. Tale scelta determina in modo immediato un cambiamento radicale dello scenario. La nozione di circuito viene ad assumere una validità condizionata; quanto alle equazioni che dominano i fenomeni, esse, non più algebriche, divengono differenziali ordinarie. Di un tipo, cioè, per lo più ignoto ai tecnici del tempo. Anche l'energetica cambia: ora dimensionamento e potenza media conducono ad espressioni diverse. Inoltre il regime variabile porta con sé un insieme di fenomeni energetici secondari cui viene dato il nome complessivo di reattività. Tale passaggio sottrae forzatamente il tecnico elettrico dal suo isolamento culturale. Accantonata una fisica tecnologica ormai inadeguata, diviene infatti necessario per lui approcciare i nuovi problemi con un adeguato bagaglio fisico matematico. In realtà, almeno negli anni immediatamente successivi all' adozione dell'alternata, forti dei concreti risultati fino a quel momento conseguiti, gli elettrici sembrano quasi voler negare i mutamenti metodologici in atto. Continuano infatti a considerarsi, come già accadeva con la corrente continua, del tutto autonomi rispetto al pensiero maxwelliano e a respingere pertanto tutto ciò che non risulta legato all'immediatamente percettibile. Ne vengono in modo inevitabile soluzioni tecniche errate, il cui effetto complessivo è configurabile in un "periodo di latenza" della durata di almeno un ventennio. Iniziato nel 1865, con la pubblicazione della *Dinamical Theory* maxwelliana, esso si conclude infatti solo vent'anni dopo, quando, accantonati i primi "incerti tentativi", l'approccio alla teoria del trasformatore diviene, maxwellianamente, scientifico in senso stretto. L'evoluzione della teoria del trasformatore, il suo passaggio dal confuso empirismo della scuola tecnologica a quello rigoroso e mirato della *Dynamical Philosophy* costituiscono dunque la linea di demarcazione tra l'approccio elementare e quello scientifico.

Gli esempi in grado di dare il senso e la portata di questa "latenza" sono molteplici ed appartengono ormai ad una storiografia ampiamente acquisita. Si va dal telegrafista americano che ritiene che in regime alternato non sia più corretto parlare di legge di Ohm solo perché il rapporto tensione-corrente non

eguaglia più la resistenza ohmica al rifiuto di brevettare l'idea di trasformatore perché giudicata non compatibile con il principio di conservazione dell'energia. E tutto questo passando sotto silenzio la proposta di sostituire il nucleo ferromagnetico con uno in legno, così da risolvere alla radice il problema delle correnti parassite.

Il senso dell'ingegneria elettrica scientifica: una rilettura maxwelliana del trasformatore

E gli esempi si potrebbero facilmente moltiplicare. Ciò che in realtà manca in questi primi anni è il trasferimento, consapevole e sistematico, di conoscenze dalla fisica matematica all' ingegneria. Caparbiamente, le due sensibilità si mantengono infatti tra loro del tutto separate. Assume poi particolare rilievo, in questa latenza, il fatto che, mentre la figura del fisico matematico in questi anni del dopo-*École* è da tempo ben consolidata, quella speculare del tecnico di fatto ancora manca.

In questo scenario, si è soliti parlare del trasformatore Gaulard-Gibbs come di un primo, tangibile, segno dell'avvenuta nascita dell'ingegneria elettrica. In realtà viene spontaneo chiedersi se questa lettura non sia in qualche modo affrettata e non debba invece essere in qualche misura rivisitata. Pur realizzate in alternata, quelle prime macchine escono solo in parte dall'angusto orizzonte della fisica tecnologica che ha fino a quel momento dominato la corrente continua. Del resto, già il nome - generatore secondario - dato alla macchina rivela senza alcuna ombra dubbio come l'energetica del processo non sia in alcun modo compresa da coloro che la costruiscono. Vi è poi, innegabile, il fatto che, malgrado Heaviside abbia già elaborato la nozione di riluttanza, il nucleo di Gaulard, come del resto quello delle altre realizzazioni di quei primi anni, è aperto. Ridimensionato l'intervento compiuto sulla teoria del generatore secondario da parte di uno scienziato della statura di J. Hopkinson, si può in realtà affermare che la teoria scientifica del trasformatore, così come oggi è correttamente basata sul classico modello del mutuo induttore, risalga al 1865, ad una ventina d'anni, cioè, prima dei tentativi del Gaulard. La sua trattazione completa si deve a Maxwell e, in una forma lagrangiana perfettamente identica a quella attuale, essa compare nella parte finale della sua *Dynamical theory* stessa.

Per una ventina d'anni, con le conseguenze che sono state accennate, i contenuti risolutivi di tali studi vengono del tutto negati od ignorati dai tecnici. È merito indiscusso di Galileo Ferraris l'aver compreso come, chiusa definitivamente la parentesi incerta della fisica tecnologica, la formulazione scientifica del trasformatore debba ripartire esattamente proprio da dove Maxwell stesso l'ha lasciata. Con lui, per la prima volta, la spinta propulsiva impressa dalla rivoluzione industriale in atto viene fattivamente ad integrarsi con una rigorosa formazione fisico matematica di base per dar vita ad una figura professionale del tutto nuova: l'ingegne-

re elettrico scientifico. Con lui lo scienziato prestato alla tecnologia elettrica lascia il posto ad un nuovo fisico matematico che usa "a tempo pieno" la propria formazione per prioritari, quando non esclusivi, scopi tecnico-progettuali. Da questo preciso momento, l'elettromagnetico-tecnico diventa una figura a sé stante, scientifica e del tutto autonoma.

Nel calcolo del rendimento del trasformatore, condizione prioritaria per accertarne l'imprescindibile fattibilità, Ferraris si conferma ingegnere a tutto campo: estremamente attento nella scelta e nell'uso degli strumenti elettrici disponibili, quando questi non lo convincono, non esita a "ripiegare" sul più "semplice" calorimetro. Ma subito dopo, mettendo in gioco il fisico matematico di rango, ricorre alle sue conoscenze di ottica, mutuate dallo studio dell'opera del Fresnel. E proprio per loro tramite, correggendo in tal modo l' Hopkinson stesso, giunge a quella fondamentale formula della potenza attiva che, sola, gli consente di pervenire a rendimenti accettabili e dunque alla certificazione di fattibilità per il trasformatore. Una fattibilità senza della quale, con ovvie conseguenze per il decollo industriale, non sarebbe stato in alcun modo possibile trasmettere elevate potenze su distanze significative. Avutane conferma, Ferraris passa alla successiva *analisi del sistema* e ne formalizza il modello. Tale approccio, basato in modo diretto sulla *Dynamical Theory*, è compiuto assimilando direttamente il trasformatore al mutuo induttore maxwelliano ed adottandone identicamente, in termini di auto e mutua induttanza, le equazioni. Con un approccio metodologico che è già quello attuale, Ferraris passa poi alla successiva procedura di *sintesi del sistema*, alla ricerca cioè di quella rappresentazione agli effetti interni che, unica, è atta a consentire l'effettiva progettazione del componente. In quest'ottica, accertata la presenza interna di perdite per isteresi magnetica, egli ne effettua un primo calcolo giungendo ad una formula delle perdite nel ferro $P_{fe} = \pi H_M B_M \sin\alpha$. Da quel momento, l'angolo α sarà noto - e tale è a tutt'oggi - come angolo di Ferraris.

Una volta accertata la possibilità di trasportare il lavoro elettrico, diviene indispensabile per Ferraris essere in grado di creare un campo magnetico rotante a partire da circuiti fissi, così da poter realizzare, come già in precedenza accadeva con la dinamo, un motore a coppia spontanea. La macchina asincrona non costituisce dunque in Ferraris una scoperta "inattesa", ma è invece, all'interno di un percorso metodologico già ben delineato e coerente, una meta voluta a valle del trasformatore. E, come questo stesso, è raggiunta per via maxwelliana. L'onda rotante al traferro è infatti concepita da Ferraris "imitando l'ottica di Fresnel". Dal momento che la *Dynamical Theory* assicura l'unità tra elettricità, magnetismo ed ottica, nulla di più naturale che leggere in termini magnetoelettrici polifase Fresnel.

È tempo che l'opera di Ferraris venga sottoposta ad uno studio attento. La

sua biografia, a suo tempo inevitabilmente prossima alla agiografia, oggi è stata del tutto chiarita. E lo stesso può dirsi per la ricostruzione della temperie culturale di quella Torino umbertina nella quale egli visse ed operò. La sua opera scientifica, capillarmente colta nelle sue precise valenze fisico matematiche, non lo è invece altrettanto e solo da non molto tempo è in atto una rilettura metodologica del suo pensiero. Si è cercato, soprattutto in un certo passato, di sottolineare un' improbabile continuità italica con Pacinotti. E, in modo analogo si è voluto risolvere a tutti i costi una "vertenza col Tesla" che, a pensarci bene, è del tutto priva di senso. Ferraris fu uno scienziato maxwelliano di stretta osservanza, di formazione fisico matematica rigorosa, che inventò, come meta voluta all' interno di una strategia energetica nitidamente delineata, un campo rotante di cui aveva bisogno a valle del trasformatore. Tesla fu invece altro. Ogni accostamento comparativo e competitivo, a suo tempo non gradito neppure allo stesso Ferraris, non ha dunque molto senso. Si è anche indagato il ruolo che egli ebbe sul generatore secondario Gaulard, ma non si è mai dato il giusto rilievo al fatto, ben più importante, che la transizione ferrarisiana dalla macchina Gaulard a quella Ganz avviene con la mediazione scientifica della *Dynamical Theory* e delle opere di Fresnel e di Heaviside. E lo stesso è accaduto con il campo rotante. Lo si è presentato come una divinazione profetica frutto dell'ineludibile genio italico e non si è invece mai sottolineato quel substrato maxwelliano che, a partire da Heaviside, all'indomani degli esprimenti di Hertz, colloca Ferraris nella stessa area di Righi e gli dà, a pieno titolo, il ruolo di vero iniziatore dell'elettrotecnica scientifica. Certo, in quegli stessi anni fecondi in cui compaiono i lavori di Mach, Poincarè e Duhem, saggi di epistemologia elettromagnetica scritti e pubblicati da Ferraris non ne esistono. E forse, a pensarci bene, non sarebbe neppure del tutto fisiologico attenderseli. Ma è un fatto che quelle problematiche epistemologiche che non scrive, egli le vive in prima persona. Per anni esita, fino a non riuscire a farlo, nel pubblicare il suo grande trattato di elettrotecnica perché ne è insoddisfatto sul piano fondazionale. Ed in un'epoca in cui Poynting è ancora visto con sospetto, egli, con estrema modernità, ne impiega il teorema nelle sue lezioni. Al punto tale da presentarlo in occasione di una conferenza alla presenza di Umberto e di Margherita. Nelle minute del trattato che egli ha in animo di pubblicare i suoi appunti sono pieni di rinvii ad Heaviside, a Tait ed a Maxwell. Compaiono inoltre delle riflessioni sulle potenze virtuali, un concetto che, già implicito nei lavori di Heaviside, sarà poi, se veramente si vuol parlare di una scuola italiana di elettrotecnica, il cavallo di battaglia di Luigi Donati a Bologna.

Ma ora, con il dopo-Ferraris - il primo scienziato che diventa ingegnere -, è di scena Steinmetz, il primo vero ingegnere elettrico scientifico a tutto campo.

La nascita della moderna ingegneria elettrica scientifica: «Physics today and engineering tomo-row»

Nel 1891 l'esperimento di Laufen consacra definitivamente l'opera di Ferraris: alla luce della *Dynamical Theory*, trasformatore e asincrono appaiono ormai una realtà indivisibile e fattibile. E, per loro tramite, risulta concretamente possibile, su scala industriale, l'utilizzazione a distanza di potenza elettrica. «*Drehfeld oder Ferraris'sche Feld*»: con il tributo di questa ovazione, pronunciata dai congressisti, Galileo Ferraris viene accolto a Francoforte al Convegno Internazionale di Elettrotecnica. Von Helmholtz, il decano degli scienziati convenuti, gli cede la sua poltrona di presidente del convegno.

Tali risultati, pur confermando in modo indubbio le potenzialità delle nascenti scienze elettriche, costituiscono però solo il primo passo verso la moderna ingegneria elettrica scientifica. Già all'indomani di Laufen, infatti, è nitidamente avvertita la necessità di superare, nella teoria trasformatorica, quella configurazione di principio che, ironicamente, Steinmetz chiama degli *ironless induction coils*. Concatenamenti magnetici parziali, flussi dispersi, non linearità, isteresi e correnti parassite, quasi una metaelettrotecnica per quegli anni, costituiscono una complessa realtà la cui soluzione non appare più rinviabile. E lungo questo tortuoso cammino, misurandosi con la dura concretezza delle prime importanti realizzazioni industriali, la nascente elettrotecnica non tarda a scontrarsi con le incertezze e le contraddizioni proprie di un'identità metodologica non ancora interamente definita.

Da un lato i fisici tecnologici, di stampo ottocentesco, constatano sempre più come quell' immediatamente sensibile cui essi caparbiamente si sono ispirati sia ormai definitivamente incapace di render seriamente conto di coppie al traferro e di onde migranti lungo gli elettrodotti. Dall'altro, i fisici-matematici di rigorosa formazione teorica scoprono l'"inattitudine progettuale" propria della *Dynamical Theory*: questa, infatti, valicato lo schema concettuale di principio degli *ironless induction coils*, si rivela ben presto incapace di mettere concretamente in equazione, rispettandone la reale complessità geometrica e costitutiva, i circuiti magnetoelettrici impiegati nei sistemi di potenza.

Ben presto, da più parti, si finisce con il sottolineare che, malgrado gli indubbi contributi resi alla trazione, all'illuminazione ed agli opifici, «*electrical engineering was born yesterday and had no longstanding tradition, no professional culture*». E d'innanzi a queste difficoltà, rese sempre più acute dalle richieste implicite nella rapida evoluzione in atto negli impianti, le posizioni metodologiche degli elettrici, fatta definitiva giustizia dei fisici tecnologici ormai fuori gioco, finiscono con il radicalizzarsi su due fazioni contrapposte. Nella prima si raccolgono i teorici in senso stretto. Questi si riconoscono nell'intransigenza "accademica" di M.

Pupin, per il quale: «*Attemps of ordinary mortals to do better than Maxwell did must discouraged. Let us follow Maxwell as long as we can, then, when someone is born who is more profound than Maxwell, we will bow him*». Nella seconda confluiscono invece tutti quei fisici matematici, gli *operating engineers*, che, direttamente coinvolti in ambito applicativo, si identificano nella posizione maturata da Steinmetz. Per lui, impegnato nell'impianto di *Niagara Falls* assieme a lord Kelvin, le difficoltà progettuali incontrate in quegli anni dall'Elettrotecnica risiedono nel fatto che «*The theory of the transformer described a device that does not exist in practise, but merely haunts as a phantom transformers the text-books and mathematical treatise on transformers*». E, in modo analogo, nel fatto che «*Most theories of the induction motor were written only by theorist who never constructed a motor themselves and who have never seen a motor taken apart*». Per tacer del fatto che «*Phantom transmission lines circuit of uniformly distributed capacity and inductance was very different from the circuit existing in practice*».

Dinnanzi all'improrogabile necessità, imposta dall'espansione industriale, di elaborare in modo sollecito modelli applicativi più evoluti di quelli teorici di prima lettura, la strategia maturata da Steinmetz appare ben presto come la scelta vincente: occorre, superando in tal modo l'accademismo di Pupin, tradurre di volta in volta le equazioni di Maxwell, analiticamente inaccessibili nell'ottica della ricerca industriale, in relazioni, circuitali o campistiche, semplificate e, per quanto possibile, quasi-stazionarie. Queste, pur a validità condizionata, con il supporto di opportuni coefficienti correttivi desunti dall' esperienza con riferimento al particolare regime indagato, debbono essere concretamente in grado di tener conto degli "effetti secondari", quali isteresi, effetto pelle e flussi dispersi, presenti nei sistemi reali. Occorre cioè, l'affermazione è di Kennelly e Steinmtez, «risolvere i problemi ingegneristici avvalendosi di metodi ingegneristici».

Con la rivendicazione e la successiva interiorizzazione, nella seconda metà degli anni '90, di tale posizione metodologica, viene definitivamente a delinearsi, in senso postmaxwelliano, la figura del moderno ingegnere elettrico scientifico: un fisico matematico di solida formazione che, non più, come Ferraris, solo scienziato-inventore, rielabora, coordinandole ai concreti fini progettuali della produzione industriale, le sue conoscenze teoriche.

Con il tempo la questione sollevata dalle ammonizioni accademiche di Pupin sarebbe apparsa come un falso problema. Gli *ordinary mortals* da lui richiamati all'ordine, nello studiare e nel progettare le loro apparecchiature, non avrebbero mai cercato, né potuto, far meglio del fisico scozzese. Né, tanto meno, avrebbero tentato di modificare quella *Theoria* che essi, al pari degli stessi fisici matematici, consideravano la base comune dell'elettromagnetismo tecnico. Il loro obiettivo, una volta con-

statato che l'approccio basato sulle leggi ai vortici e alle sorgenti non dava nel reale risultati tecnici abbastanza accurati, sarebbe stato invece un più circoscritto approdo progettuale in grado di rappresentare concretamente tutti quegli effetti che solo nominalmente potevano trovare spazio nella *Dynamical Theory*. Nulla di meglio, dunque, rispetto a Maxwell, ma, al più, qualcosa di diverso e, se possibile, di "ambiziosamente complementare".

In quest'ottica, la transizione dalla teoria del mutuo induttore di Maxwell-Ferraris a quella di Steinmetz (1897), con i suoi «*connecting links between pure science and practical works*» esprime, in tutta la loro profondità, i contenuti dell'evoluzione postmaxwelliana dell'elettrotecnica. Il modello di Steinmtez del trasformatore discende perfettamente, come già quello di Ferraris, dalla *Dynamical Theory*. In questo caso, però, gli obiettivi risultano cambiati e con essi è corrispondentemente mutata anche la scelta delle variabili adottate. Nell'ottica maxwelliana del fisico matematico, sintetizzata dal *metodo delle induttanze*, è ricercata la sola equivalenza agli effetti esterni: ammessa la linearità del sistema, i flussi concatenati ai morsetti, gli unici aventi significato operativo, vengono partizionati in auto flussi e flussi mutui. Nel caso di Steinmetz si punta invece, con il *metodo di campo*, all'equivalenza agli effetti interni richiesta dalla progettazione: quegli stessi flussi concatenati ψ ai morsetti, riletti in termini medi per spira $\varphi=\psi/N$, sono allora ripartiti in flusso comune φ_μ nel ferro e in flussi dispersi φ_σ nell'aria. Infine, superato lo schema maxwelliano degli *ironless induction coils*, sono messe in conto anche le perdite nel ferro. E, a conferma dell'impostazione strettamente scientifica dell'approccio, solo apparentemente tale operazione è compiuta per via empirica. Per il *fitting* del ciclo di isteresi, preventivamente noto per punti dedotti ricorrendo ai *factory methods* di una fabbrica, Steinmetz si avvale infatti delle nozioni apprese nel corso di Meccanica Celeste che, come allievo del Politecnico Federale, egli ha seguito a Zurigo.

Ed è ancora, negli anni successivi, proprio il mutuo induttore a mostrare, nel tentativo degli elettrici di coglierne l'essenza, quanto profondo sia il legame che unisce la *Dynamical Theory* con l'Ingegneria Elettrica. Mentre sta scrivendo *Electric Circuits*, il trattato con il quale (1917), postmaxwellianamente, avviene la prima concreta *translation of information from science to technology*, Steinmetz affina ulteriormente le sue conoscenze sulla teoria trasformatorica. Indagando l'andamento delle linee di forza del campo magnetico, egli mostra con alcuni controesempi come di fatto, agli effetti interni, l' equivalenza del suo modello circuitale, basata sulla partizione flusso comune-flussi dispersi, non possa che considerarsi fittizia. Mentre l'equazione di Ampére, note le condizioni al contorno, conduce al campo vero, la corrispondente legge circuitale, assegnate le correnti ai morsetti, conduce invece ad un campo magnetico non

necessariamente corrispondente a quello vero. Nell'immediato tale affinamento concettuale non sembra comportare alcuna conseguenza di natura tecnica: in quegli anni, infatti, l'impiego, ormai consolidato, di coefficienti correttivi desunti dall' esperienza tutela sempre più l'ingegnere. In seguito le conseguenze metodologiche di tali riflessioni sarebbero risultate invece cruciali: nel 1930, con il suo celebre paradosso basato sull'uso delle bobine di Helmholtz, E. Weber, avvalendosi delle equazioni di Maxwell, avrebbe dato conferma scientifica definitiva della non validità del metodo di campo. Generalizzato al caso di configurazioni qualunque, quel *contro esempio* avrebbe mostrato come la partizione del flusso totale in comune e disperso non possa considerarsi che puramente convenzionale. Accadrà dunque, con una affinità non certo casuale, quanto già si era verificato per il vortice molecolare elaborato da Maxwell nella rilettura meccanicistica delle sue equazioni ai vortici elettromagnetici: la loro rappresentazione meccanica, intrinsecamente non univoca, come Poincarè aveva mostrato, imitava la realtà, ma non la interpretava. Nello stesso modo, agli effetti interni, il ruolo della rete a costanti concentrate sarebbe stato per sempre ridotto a quello di semplice *garante formale*. Lo stesso animismo con cui era stato affrontato l'etere.

Superate le questioni legate alla esperienza di Hertz, la *transizione campi-reti* viene formalizzata in modo definitivo solo nel 1927, a cento anni dalla legge di Ohm, da J.R. Carson con il suo fondamentale *Electromagnetic theory and foundations of electric circuits theory*.

Nel frattempo, in quegli anni a cavallo dei due secoli, la Teoria delle Reti, non più stazionaria, ma non ancora confluita nell'integrale generale delle equazioni di Maxwell, sarebbe stata vissuta sotto l'aspetto epistemologico semplicemente come un approccio euristico incorporante ipotesi ad hoc legate al risultato che si vuole ottenere. Ne sarebbe derivato un problema fondazionale vissuto dagli elettrici come una questione metodologica ardua ed assillante. Non a caso, dai fisici matematici americani la transizione campi-reti, a causa di tutti gli elementi di incertezza che avrebbe portato con sé, sarebbe stata definita «*a procusterian bed*…».

Ben presto, quasi inevitabilmente, tale disagio fondazionale avrebbe investito i criteri stessi di impostazione della scienza elettrica. Ne sarebbe derivato, sul finire del secolo, il quesito seguente: in un trattato di elettrotecnica, l'elettromagnetismo deve essere presentato secondo il *metodo storico*, cioè in forma locale a partire dalla bilancia di torsione, oppure secondo il *metodo logico*, in forma globale a partire dal tensiometro e dal reometro? Nel 1895, sulle pagine autorevoli di *Electrician*, J. Perry, mtematico ed ingegnere inglese, propone la seconda lettura. La reazione dei fisici, soprattutto francesi, è immediata: un approccio di tale tipo, in verità ardito per quei tempi, deve essere bollato, decreta M.A. Cornu, come antiscientifico.

Anche nell'ambito analitico la situazione è ben lungi dall'essere superata. Mentre per l'*AC System* le *complex quantities* di Steinmetz hanno risolto ogni problema, alla fine del secolo lo studio dei transitori, compiuto esclusivamente nel dominio del tempo, si basa ancora sulla sola analisi classica. E la situazione in atto, pur supportata da numerosi risultati concreti, doveva risultare ancora ben lontana dalla desiderata impostazione organica ed unificata se, ancora nel 1911, Steinmetz poteva affermare che «*at present, all mathematical theories, expecially if they have to start from the solution of differential equations, are still of very little value for "practical engineer", who is not yet generally expected to master the powerful weapons of mathematics*». In una successiva occasione egli avrebbe poi rincarato la dose, sottolineando come l'analisi dei transitori non avesse ancora acquisito la completezza ed il rigore che, da tempo, erano invece propri della matematica superiore.

Analoghe difficoltà si hanno nel campo delle macchine elettriche rotanti. Negli anni '80 e '90 l'analisi delle varie strutture di base, sincrone ed asincrone, è compiuta avvalendosi di volta in volta di approcci formalizzati *ad hoc* e non riconducibili ad una lettura generale. Tale situazione, caratterizzata dall'assenza di un percorso metodologico di base ed aggravata dalla proliferazione di strutture elettromeccaniche sempre più differenziate, sfocia ben presto in uno stato di insoddisfazione e di incertezza. Al punto tale che, già sul finire del secolo, è fortemente avvertita l'esigenza di pervenire, sia sul piano progettuale che su quello della modellizzazione, ad un approccio unificato di validità generale. La soluzione del problema, di natura strettamente elettrodinamica, è già disponibile ed è interamente racchiusa nel ricorso combinato al teorema di equivalenza di Ampére ed alle implicazioni magnetoelettriche implicite nell'operazione di messa in rotazione dell'asse delle spazzole già suggerita dallo stesso Pacinotti. A tali contributi di base si possono poi aggiungere quelli legati al concetto di *Drehstrom*, introdotto da Dobrowolsky a Laufen, ed ai teoremi generali sui vettori rotanti in seguito elaborati da Ferraris. Pur con la conferma di tali risultati, l'approccio elettrodinamico è vissuto dai più con non poche riserve. Al punto tale che un classico lavoro sulle *dynamoelectric machines* dello stesso Maxwell, definito da S. Thompson «*the pregnant but almost totally forgotten little paper*», passa del tutto inosservato. Per ora, in quegli anni di fine secolo, sembrano prevalere invece i più rassicuranti e prevedibili studi di taglio termodinamico compiuti su tale tematica da Clausius. Quasi una strana analogia con l'iniziale uso del calorimetro fatto da Ferraris nello studio del trasformatore. Oltre a L. Dreyfus, tale affezione finirà con il coinvolgere in seguito lo stesso G. Kron, il futuro padre della teoria unificata elettrodinamica. Anche la *General Electric* non sembra sfuggire a questa

influenza: nelle pagine del suo quadernuccio Steinmetz annota il seguente ambizioso proposito: «ristudiare Clausius per impostare la teoria unificata delle macchine elettriche»….

Il caso italiano

Tale complesso e sofferto dibattito ebbe inizialmente un modesto riflesso sulla situazione italiana. Ancora attorno alla seconda metà del secolo scorso, infatti, la comunità scientifica locale, maggiormente vicina alla Spagna ed al Portogallo che non alla Francia, all'Inghilterra ed alla Germania, non poteva certo considerarsi tra le più autorevoli ed importanti del mondo. Vi erano stati certamente episodi prestigiosi che, con i nomi di Volta, Galvani, Felici, Mossotti e Bartoli, avevano comunque saputo collocare la scienza degli stati preunitari al centro dell' attenzione mondiale. Ma si trattava per la verità solo di episodi circoscritti, assai spesso privati della dovuta risonanza in campo accademico ed applicativo e più che altro capaci, quali "glorie patrie", di orientare verso tali interessi amatori, dilettanti, artigiani ed inventori, lontani dalla cultura scientifica ed assai spesso molto più vicini al senso dell'avventura.

Il risultato più tangibile della scuola di Pisa furono le lezioni di Felici, dalle quali il giovane Pacinotti trasse la sua dinamo. L'opera di quest'ultimo è stata ripetutamente celebrata, piuttosto che non studiata, da molti autori. Ciò è accaduto soprattutto in trascorsi periodi nei quali egli divenne uno dei nomi di richiamo e di prestigio dell'operazione di recupero di un "primato italico oscurato dalla perfida congiura di paesi stranieri". In realtà il fisico pisano non fu mai uno scienziato disinteressato attratto dal vero, né, diversamente dal Ferraris, il filantropo amante del genere umano che mette a disposizione di tutti le sue scoperte. Fu certamente consapevole dell' importanza industriale della sua scoperta, ma, all'interno di una scienza singolarmente povera di matematica che non seppe mai elevarsi dal rango di semplice fisica tecnologica, non fu in grado, né forse poté, di dar seguito applicativo alla sua scoperta. In tal modo, se tecnici ed imprenditori stranieri sfruttarono in modo spudorato e disonesto la sua idea, per la quale, seppur tardivi, gli giunsero comunque i riconoscimenti dovuti, è soprattutto vero, ed è questo il dato prioritario su cui conviene riflettere, che, sia in ambito industriale che universitario, non gli fu possibile trovare un qualche riscontro nel suo paese.

La sua vicenda dimostra invece come, attorno al 1870, in Italia, ad un non trascurabile interesse per l'elettricità e le sue applicazioni, di fatto non corrispondesse un adeguato tessuto accademico e produttivo in grado di offrire sbocchi concreti alle idee ed ai progetti.

Occorre inoltre tener ben presente che, nella seconda metà del secolo scorso, l'Italia si avviava verso una classe di scienziati legati ad un malinteso concetto di scienza pura che andava preservata da una tecnica vista invece come il peccato. Incapaci di cogliere nella tec-

nologia il fattore di sviluppo economico, essi, preda dell'illusione della ricerca e della contemplazione del sommo vero, non fecero studi applicativi e, incredibilmente, furono distaccati dal reale più degli stessi matematici. Questo disinteresse "aristocratico" per le applicazioni pratiche della scienza, tanto più grave in quanto fu presente in modo radicato e consapevole anche nella stessa scuola di Pisa, fu il segno più clamoroso della arretratezza dell'ambiente culturale italiano. Esso non rappresentò tuttavia solo una pericolosa connotazione psicologica specifica di una classe particolare di intellettuali perché, a differenza di altre nazioni, il tessuto culturale ed industriale italiano, espressione di una società rurale ed arretrata in cui scienza e tecnica avevano un ruolo del tutto subordinato, si mostrò perfettamente adeguato a tale lettura, non la mise in discussione, né tentò di modificarla.

Vi era a questo riguardo innanzitutto il "primato umanistico", per il quale prevalevano indirizzi di pensiero poco inclini ad accordare attenzione ed a riconoscere dignità e prestigio alla scienza. Alle scienze, per l'esattezza, perché addirittura si escludeva che fra i diversi ambiti disciplinari, visti solo come distinte tecniche di ricerca, potesse esservi una qualche sostanziale unità. Il quadro complessivo che si era andato componendo era così riassumibile: la cultura italiana poteva e doveva affidarsi interamente agli interessi umanistici. Alla scienza, e pertanto a maggior ragione alla tecnica ed all'ingegneria, venivano riconosciuti solo una funzione pratica ed un ruolo strumentale. Rispettabili entrambi, ma ben lontani da quella dignità che poteva appartenere solo al pensiero puro.

Quanto poi all'apparato produttivo italiano, esso era così inadeguato che per la sua "tecnica" non aveva certo bisogno delle "scienze" e poteva pertanto lasciarle all'ultimo posto dopo le scuole di belle arti.

Ferraris

Nel complesso il lascito del Ferraris fu, attraverso il Codazza che ne fu discepolo prediletto, l' insegnamento del maestro di questi: Fabrizio Ottaviano Mossotti, il più grande fisico matematico italiano della prima metà del secolo scorso. Da questo egli acquisì, accanto ad un'attenzione per l'innovazione tecnologica non ancora riconosciutagli nel modo dovuto, il culto per il metodo di indagine rigoroso. I grandi lavori del piemontese sono caratterizzati da una matematica che appare relativamente povera se confrontata con la letteratura straniera, soprattutto tedesca, dello stesso periodo. Tuttavia il suo grande merito, e questa sarebbe stata una caratteristica di molti elettrici italiani delle generazioni successive, fu proprio quello di riuscire ad affrontare, con un formalismo tutto sommato semplice ed essenziale, problemi complicati altrimenti affrontabili solo con lunghe catene deduttive ed astratti formalismi.

Accanto all'invenzione del campo magnetico rotante ed alla teoria del trasformatore, a lui, con la pubblicazione

nel 1894 dell'articolo "*Un metodo per la trattazione dei vettori rotanti od alternativi ed una applicazione di esso ai motori elettrici a correnti alternate"*, si deve il criterio di utilizzo dei vettori rotanti nell'analisi unificata delle macchine elettriche e, in modo conseguente, la genesi stessa dell'Algebra delle coordinate simmetriche.

Tale insegnamento, con le dovute integrazioni, è rimasto ben presente nella tradizione scientifica italiana. Nel seguito infatti Riccardò Arnò, già discepolo ed assistente del Ferraris, prosegue ed approfondisce questa indagine. Docente di Elettrotecnica al Politecnico di Milano, nel '22, in una conferenza alla Sezione di Milano dell'AEI, espone le sue "*Esperienze col tubo di Braun sulla composizione dei vettori rotanti ed alternativi*". Successivamente egli particolarizza tale lettura alle macchine elettriche e nel '25, sempre nella stessa sede dell'AEI, ne espone i concetti in una conferenza dal titolo il "*Funzionamento dei motori elettrici dimostrato col tubo di Braun*".

L'esposizione, il cui scopo era quello di mostrare la capacità di unificazione propria del metodo, si conclude osservando che «*Pacinotti ha trovato il modo di mantenere fisso nello spazio un magnete ideale, pur essendone in rotazione il rispettivo supporto elettromagnetico materiale. Galileo Ferraris ha scoperto di mantenere in rotazione un magnete ideale, pur essendone fissi i supporti elettromagnetici materiali componenti. Su questi due principii riposano tutti i motori a corrente continua ed alternativa oggi funzionanti nella pratica industriale*».

Nel 1927, in occasione delle Celebrazioni Voltiane, ancora Arnò torna sull'argomento, approfondendo e completando il metodo con una monografia dal titolo "I motori elettrici". In essa l'utilizzo del metodo di Ferraris era affiancato dal ricorso sistematico al *Principio dell' allineamento*. Un approccio che, oggi tradizionalmente presente nei testi di macchine elettriche, Ferraris già usava deducendolo dal teorema di equivalenza di Ampere.

In realtà, esaurita la breve parentesi del fisico matematico piemontese, la produzione italiana non oltrepassa i limiti, pur pregevoli, dell'aggiornamento e del chiarimento didattico e metodologico di quanto già veniva conseguito dalla grossa produzione scientifica straniera. Sul finire del secolo l'episodio di Galileo Ferraris conferma quello precedente di Pacinotti: è soltanto al di fuori dei confini nazionali che può avvenire la realizzazione industriale dell'idea italiana. Con una rilevante differenza nel secondo caso: mentre il fisico tecnologico Pacinotti è ben conscio della sua scoperta e si dà comunque da fare per concretizzarla, il fisico matematico Ferraris si astiene consapevolmente, perché del tutto estranea ai suoi obiettivi, da ogni possibile applicazione. Egli ritiene che occuparsi dello sfruttamento industriale delle sue invenzioni, e dunque della loro realizzazione concreta, non sia consono all'uomo di scienza. Questo infatti può anche affrontare questioni tecniche, ma senza alcu-

na interazione con il mondo industriale. Concepita l'idea, poteva essere naturale non passare alla sua realizzazione.

Mentre però Pacinotti, all'interno della stessa università di Pisa, costituisce un episodio anomalo ed isolato dal contesto sociale culturale dell'epoca, l'atteggiamento di Ferraris ne esprime invece una caratteristica diffusa e prevalente.

Vi è dunque una voluta estraneità al mondo produttivo di quegli anni che fa seguito e si sovrappone all'impegno fisico matematico preliminare. In tal modo finiscono con il risultare invalidate quelle legittime aspettative di decollo industriale che, almeno nelle premesse, con scienziati come il Ferraris, erano senz'altro di alto livello. Accanto ad altri aspetti ormai chiariti, è questo il dato culturale sul quale conviene soffermasi e far luce, così da trarne insegnamenti per il presente e per il futuro.

Giovanni Giorgi

L'opera di Giorgi si colloca tra la fine dell''800 ed i primi decenni del '900. In quegli anni cioè, a cavallo tra i due secoli, che vedono simultaneamente la definitiva conferma sperimentale dell' elettromagnetismo e la nascita della moderna ingegneria elettrica.

Di quel particolare dualismo tra fisica-matematica ed ingegneria elettrica che caratterizza quella complessa stagione della storia del pensiero scientifico Giorgi è, in assoluto, uno dei protagonisti mondiali. In Italia, con la scomparsa prematura di Ferraris, certamente il più importante. Oggi, ripensando alla sua opera, appaiono quanto mai appropriate le parole pronunciate su di lui da P.A. Abetti «*through them* [i suoi lavori] *we can follow the development of electrical engineering from its early struggles to its present achievements*».

La complessa opera dello scienziato italiano non può certo trovare la dovuta attenzione nel ridotto spazio che qui, per ragioni autoevidenti, può essergli riservato. Qui ci si può limitare ad osservare che fu allievo di Moisè Ascoli, una delle figure di eccellenza della Scuola di Torino. E che, per suo tramite, fu dunque discepolo di Ferraris stesso. Ciò accadde in una misura ed in una forma che valicano però l' aspetto convenzionale implicito in questa "genealogia": Giorgi, è bene osservarlo, fu il vero continuatore di Ferraris. Non solo perché, dopo di lui, postmaxwellianamente, fu l'elettrico italiano con più ampia e profonda preparazione fisico matematica. Ma anche perché una parte della sua opera costituì la prosecuzione, ed in molti casi, la risposta definitiva ai quesiti lasciati insoluti dal Ferraris stesso.

Se Ferraris, abilitato, a livello di insegnamento universitario, nel settore matematico, fu sempre molto attento, pur nel modo parco acquisito dal Mossotti, all'aspetto matematico, occorre tenere presente che, sulla base di quel medesimo tipo di sensibilità ed attenzione, a Giorgi si deve la sistemazione del calcolo operatoriale "percepito" da Heaviside. Il contributo scientifico di Giorgi in questo settore si inserisce in

modo specifico nelle problematiche metodologiche che caratterizzarono la nascita postmaxwelliana dell'ingegneria elettrica. Esso costituisce infatti la risposta applicativa alle difficoltà di natura concettuale e computazionale segnalate da Steinmetz e determinate sia dalla comparsa di reti elettriche di potenza sempre più elevate, che dalla progressiva diffusione delle linee telegrafiche ed in cavo. Constatata l'inadeguatezza del metodo classico quale strumento da impiegarsi nell'analisi dinamica di tali sistemi, occorreva abbandonare il percorso matematico legato al dominio del tempo e formalizzare un metodo di risoluzione completamente nuovo, più immediato e di validità generale, in grado, in particolare, di unificare metodologicamente i problemi differenziali ordinari con quelli alle derivate parziali propri delle costanti distribuite.

L'indagine di Giorgi inizia nel 1903, con una memoria che puntualizza il calcolo simbolico di Steinmetz ed i criteri di tracciamento dei diagrammi fasoriali associabili alle equazioni complesse; si conclude con un *invited paper* presentato da Giorgi stesso, quale sintesi definitiva della sua ricerca sul calcolo operatoriale, il 16 agosto 1924 al Congresso internazionale di matematica di Toronto. Ad essa fanno poi seguito, fino agli anni '40, puntualizzazioni metodologiche ed interventi di carattere didattico e divulgativo.

Di particolare rilevanza, in tale ambito, sono i suoi studi del 1904-05, nei quali egli approfondisce il calcolo operatoriale di Heaviside. Il suo contributo, riguardabile come una generalizzazione sia del calcolo infinitesimale tradizionale che di quello simbolico degli elettrotecnici, stabiliva *ex novo*, in modo magistrale e finalmente nella necessaria forma rigorosa, un tipo di analisi che fino a quel momento, pur con le geniali intuizioni e le "improvvisazioni" di Heaviside, aveva avuto le parvenze di un insieme di "formule magiche" desunte da una "matematica empirica".

Occorre osservare al riguardo che, tramite Ferdinando Lori, Luigi Amerio, il grande matematico, poté svolgere sotto la guida di Giorgi stesso il suo ciclo di perfezionamento sulla L-trasformata che lo porterà a diventare, a livello mondiale, uno degli studiosi più autorevoli di tale settore di ricerca.

Il contributo di Giorgi ai fondamenti dell' Elettromagnetismo ebbe una precisa valenza postmaxwelliana. In senso strettamente cronologico, innanzitutto, perché alcuni dei suoi lavori su questo argomento contribuirono al superamento di alcune di quelle possibili incertezze, si pensi alla nozione stessa di forza elettromotrice, che ancora figuravano come non interamente rimosse dall'opera di Maxwell ed Heaviside. Poi in senso formale, perché le voci da lui compilate dal 34 al 36 per l'Enciclopedia Italiana, tra cui si possono ricordare quelle di Magnetismo, Poynting, Riluttanza, Skin-effect, etc., contribuirono a consolidare e a definire concetti fino a quel momento non sempre sufficientemente consolidati ed accessibili. Infine

nel senso della moderna ingegneria elettrica scientifica, perché la costante opera di chiarificazione metodologica da lui compiuta, riverberandosi sull'elaborazione delle sue *Lezioni di Fisica Matematica*, ebbe una inevitabile influenza anche sul suo lavoro di impostazione fondazionale dell'elettrotecnica scientifica. Non va infine dimenticata la stretta connessione tra tali riflessioni, di indole fisico matematica, ed il parallelo inquadramento storico ed epistemologico da lui compiuto nel corso del loro svolgimento. Come già accadde con Maxwell, caso peraltro abbastanza isolato nella cultura italiana del suo tempo, egli visse sempre tale integrazione come un passaggio indispensabile a chi si accinga ad intraprendere un'opera di rigoroso chiarimento.

Nel 38, su Energia Elettrica, Giorgi estese il suo approccio, tenendo ferma la distinzione, già precisata da Helmholtz, tra grandezze magnetiche *vere* e grandezze magnetiche *libere*, al magnetismo permanente.

In seguito, sempre su Energia Elettrica del 38, enfatizzando la parallela lettura storica ed epistemologica, Giorgi ripartì la formulazione dell' elettromagnetismo nelle fasi classica, di transizione ed odierna. La prima, espressione dell'azione a distanza, riportava ad Oersted, Biot, Savart, Laplace, Ampere, Neumann e Weber. La seconda, riconducibile invece all'azione mediata, riconduceva alle idee di Faraday e Maxwell. Quest'ultimo, non ancora del tutto liberato, a giudizio di Giorgi, dalle "affezioni meccanicistiche", si serviva in modo eccessivo del potenziale vettore, di un'entità matematica, cioè, molto utile per l'integrazione delle equazioni, ma del tutto inadatta, secondo Giorgi, per esprimere le leggi fondamentali. Il passaggio successivo, verso la formulazione odierna, si ebbe con Heaviside ed Hertz e con le loro leggi ai vortici per sistemi in quiete. Non restava a questo punto che estenderne i contenuti al *caso di indeterminazione* costituito dai sistemi in moto. Ritornando in tal modo alla parte insoluta dei quesiti che già gli erano stati posti da Lombardi, Giorgi esaminò questi casi di incertezza. In realtà tali nozioni, proprio a seguito dell'esperienza di Hering, erano già state formalmente sviluppate in precedenza dallo scienziato italiano per la voce *Elettromagnetismo* dell'Enciclopedia Italiana. Ora, a conclusione della sua ricerca, «tenendo maggiormente in vista l'elettrotecnica», Giorgi ne riprese i contenuti per l'Energia Elettrica. Ne emergevano in tal modo, con chiarezza esemplare ed in una forma a tutt'oggi fruibile per lo studioso, le leggi ai vortici per i sistemi mobili, l'analisi della nozione di fem in un circuito non chiuso, quei casi di indeterminazione cioè che, in anni successivi, con Bewley e, in Italia, con Vallauri, sarebbero stati oggetto di ampie riflessioni e ricerche.

Negli anni immediatamente postmaxwelliani l'analisi fondazionale dell'Elettrotecnica, risentendo delle problematiche vissute da una scienza elettrica alla ricerca della propria identità, era andata radicalizzandosi su due

posizioni separate e, per molti aspetti, antitetiche. Da un lato prevaleva l' impostazione dei fisici matematici, non lontana da Pupin e dunque maxwellianamente legata alla priorità concettuale dell'approccio campistico. Dall'altro, influenzata dalle esigenze proprie di una "conoscenza efficace" perseguita da Steinmetz, si andava affermando sempre di più quella di natura tecnica, legata invece ad una lettura circuitale basata su un approccio sperimentale. In questa situazione la didattica dell'Elettrotecnica imponeva in via preliminare la scelta del percorso concettuale da seguire. Si doveva partire dai campi e procedere verso le reti oppure andare in senso opposto? Inoltre, conveniva adottare il metodo storico, secondo il quale l'impostazione dei fondamenti di una scienza deve necessariamente ricalcare il percorso seguito dalla sua stessa evoluzione, oppure quello logico, basato invece su un'opportuna successione di postulati di definizione preliminari?

In questa situazione non soddisfacente anche la letteratura disponibile rifletteva e confermava i disagi legati alle difficoltà del momento. Da un lato si aveva il Mascart-Joubert, con la sua impostazione preliminarmente basata sull'azione a distanza e da questa orientata, lungo un percorso non sempre strettamente indispensabile agli elettrici, verso le onde e, solo in subordine, ai circuiti. Dall'altro si aveva invece una letteratura tecnica nei cui testi principali, estranei al rigore di una qualunque riflessione fondazionale, si avvertiva l'incertezza di un approccio circuitale empirico, legato solo alla complicità di un'autoevidenza puramente apparente.

In Italia, Ferraris aveva aderito alla lettura di Mascart-Joubert. Tutto ciò risulta esplicitamente documentato dalle sue *Lezioni* (postume) *di Elettrotecnica*, così come da quelle successive dei molti autori della sua scuola, da Lombardi a Vallauri, da Ascoli allo stesso Lori. La scelta da parte sua di un orientamento di tale tipo risulta inoltre non smentita, con E. Perucca, dall'intenzione, da lui più volte manifestata, di scrivere un grande trattato di Elettrotecnica Generale "di impostazione classica". Le difficoltà metodologiche incontrate dallo scienziato piemontese con l'adozione di un'impostazione di tale tipo risultarono però più ardue ed insormontabili del previsto. Una conferma al riguardo è costituita dal grande numero di tentativi di impostazione didattica abbozzati dal Ferraris e riapparsi tra i suoi manoscritti inediti.

Racconta in proposito un suo allievo, Ettore Thovez, come un giorno, chiedendo al Maestro come mai non avesse ancora deciso di pubblicare le sue lezioni, questi gli abbia risposto: «Perché non ho ancora potuto renderle semplici come vorrei. Ho fatto questa notte una grande fatica per rendere accessibile a loro allievi certe teorie del Thomson e del Mascart per fare la lezione di stamane».

L'esigenza di una nuova sensibilità didattica e fondazionale, ampiamente diffusa in quegli anni in cui l'Elettrotecnica andava rivendicando una propria autonomia metodologica, appare

dunque chiaramente documentabile già nello stesso Ferraris e nella sua scuola. In seguito tale disagio avrebbe pesantemente condizionato l'analisi fondazionale dei primi decenni del secolo. Pur con le oggettive difficoltà legate alle diverse scelte possibili, una cosa appariva tuttavia ben chiara: non era più accettabile che da una parte vi fosse un modo di "impostare l'elettricità" proprio dei fisici ed ignorato dai tecnici e che dall'altra vi fosse una procedura tecnica che si sviluppava pressoché autonomamente rispetto al modo di vedere classico. Occorreva dunque pervenire ad una sistemazione più organica ed unificata. Ed in ogni caso, per i Politecnici, soprattutto "a misura di ingegnere".

Tale disagio, all'indomani della rivoluzione scientifica provocata dalla *Electromagnetic Theory* di Heaviside, era sentito dall'intera comunità degli elettrici. Nel 1895 il francese Cornu prendeva posizione, dalle pagine di *The Electrician*, contro il Perry, il quale, fautore di una didattica più moderna in grado di liberarsi dell'antico fardello costituito dall'approccio classico proprio del Mascart, proponeva "addirittura" di impostare l'elettromagnetismo partendo direttamente dal tensiometro e dall' amperometro. Il Cornu bollava questi metodi come assolutamente antiscientifici ed affermava che nessun approccio con misure elettriche poteva insegnarsi fino a quando, partendo dagli esperimenti basati sulle palline di sambuco, gli allievi non avessero seguito l'intera trafila della fisica classica. Si trattava dunque, nel momento stesso in cui l'Ingegneria Elettrica andava prendendo coscienza di sé, della contrapposizione tra la bilancia di torsione di Coulomb e gli strumenti integrali.

In tale discussione intervenne Giovanni Giorgi, il quale, il 12 aprile 1896, sempre dalle pagine di *The Electrician*, nell'articolo *The foundations of electrical science*, prese posizione a favore di Perry, affermando non solo che qualunque gruppo appropriato di fenomeni e di grandezze elettriche poteva essere assunto come fondamentale, ma che vi era nel contempo tutto l'interesse a semplificare l'esposizione introducendo dapprima il circuito elettrico e da qui progredendo verso i campi e le onde. L'articolo di Giorgi, una pietra miliare con la quale epistemologicamente si evidenziava la transizione in Elettrotecnica dal metodo storico a quello logico, segnava in modo irreversibile il passaggio dall'indirizzo antico a quello moderno.

Il primo a proporre in forma compiuta una strategia fondazionale alternativa fu dunque proprio Giovanni Giorgi. E non solo dalle pagine di una rivista, ma anche con la pubblicazione delle sue *Lezioni di Fisica Matematica*. Con la loro comparsa, già nel 1926, nel panorama didattico, l'impostazione della Scienza Elettrica imboccava per la prima volta concretamente la strada nuova, di tipo lagrangiano, da lui stesso indicata. Questa si sarebbe basata innanzitutto sulla sostituzione del metodo storico con quello logico. Quanto alla scelta del percorso concettuale, essa avrebbe dapprima formalizzato la let-

tura circuitale, propria dell'azione a distanza, e solo in seguito, per generalizzazione di questa, avrebbe dedotto quella campistica, riguardata invece come espressione dell'azione per contatto.

Tale proposta didattica, del tutto rivoluzionaria, rivelava appieno la precisa continuità scientifica e storica tra G. Ferraris e G. Giorgi. Entrambi fisici matematici di rigorosa formazione, essi esprimevano l'evoluzione metodologica che fu propria di quegli anni. Se il Ferraris fu espressione del disagio fondazionale degli elettrici della seconda generazione, il suo "discepolo" Giorgi fu colui che, con le sue *Lezioni di Fisica Matematica*, risolvendo i "dubbi" dello scienziato piemontese, seppe portarne a compimento l'evoluzione didattica e metodologica da lui iniziata.

In seguito tale impostazione avrebbe avuto numerosi seguaci, da K. Kupfmüller nel 1932 a B. Rossi nel 1936, da V.V. Petrovic nel 1941 a J.A. Stratton ancora nel 1941. Nel 1936, al Politecnico di Milano, con anche più ampia aderenza all'aspetto ingegneristico, sotto l'influenza dello stesso Giorgi e con l'esortazione di G. Vallauri, un giovane Bottani avrebbe magistralmente condotto a compimento tale rivoluzione riassumendone i contenuti e gli obbiettivi in una fondamentale memoria, da lui denominata il *coranino*, dal titolo *L'insegnamento dell'Elettromagnetismo secondo moderni criteri (saggio di organizzazione movendo da grandezze "concrete" e da nozioni integrali)*. In essa, osservato preliminarmente che «ha importanza la conoscenza delle cose, lo sviluppo dell'intuito prima di ogni sistemazione a priori», Bottani propose giorgianamente un nuovo schema fondazionale basato su:

• l'abbandono definitivo del metodo storico, perché giudicato non idoneo didatticamente,
• il passaggio al metodo logico basato su postulati di definizione e su esperimenti concettuali opportuni,
• l'adozione delle *grandezze globali* e la successiva progressione verso quelle *locali*,
• l'interpretazione delle *equazioni fisiche* in termini esclusivi di relazioni matematiche tra grandezze misurate.

Al termine dell'esposizione Bottani, quasi a sottolineare la continuità metodologica con l'insegnamento del Maestro, ringraziò Giorgi con le seguenti parole: «mi accorgo di essere più giorgiano di te».

Sul piano epistemologico tale impostazione, caratterizzata sia da un forte impatto di generalità e di immediatezza applicativa che da un radicale risparmio di conoscenze fisico-matematiche preliminari, si basava sull'identità concetto-operazioni propria dell'*operazionismo* di P.W. Bridgman. Ne emergeva una didattica determinata nell'intenzione di fornire risposte generali e subito. Per essa l'allievo, superando a piè pari una lunga fase preliminare di iniziazione, era subito condotto a familiarizzare con i concetti ed i metodi di analisi propri di una disciplina direttamente finalizzata ad applicazioni concrete. Quanto al bagaglio delle nozioni preliminari necessarie per l'accesso, es-

so veniva a ridursi al minimo possibile: Analisi Matematica e, come si conviene ad una disciplina comunque nata dalla Fisica Tecnologica, "quel poco" di Termodinamica necessaria per i bilanci energetici.

Nel 1905 Giorgi pubblicò un articolo dal titolo *Metodo unitario per lo studio ed il calcolo del macchinario elettrico rotante*. Ispirato ad esigenze prevalentemente didattiche, tale lavoro può oggi considerarsi il primo studio concreto sulla *Teoria Unificata* del macchinario rotante. E, in quanto tale, la prima risposta efficace alle problematiche sulla modellizzazione e la progettazione in forma ricorsiva delle macchine elettriche vissute in quegli anni. L'impianto concettuale è oggettivamente modesto e parziale: è proposta una *dinamo tipica*, ne sono formalizzati, in forma semplice e ricorsiva, i legami algebrici propri dell'interazione magnetoelettrica al traferro, è mostrato infine come tutte le macchine rotanti possano essere ricondotte a questa. Pur così circoscritto nella forma, tale contributo ebbe un'importanza grandissima perché, negli stessi anni in cui Steinmetz ristudiava Clausius, esso seppe ricondurre gli studiosi di macchinario rotante verso la strada maestra dell'elettrodinamica.

La *dinamo tipica giorgiana*, che pure risentì dell'influenza di Silvanus Thompson, fu dunque, nella sua semplicità estrema, un'idea assolutamente rivoluzionaria ed anticipatrice. Purtroppo il tessuto connettivo industriale e scientifico italiano la lasciò per molti anni racchiusa in un bozzolo didattico e accademico da cui essa non seppe, o forse non poté, uscire. Ancora oggi, in Italia, questo contributo di Giorgi risulta del tutto sconosciuto.

Le commemorazioni italiane su Giorgi ignorano infatti del tutto questo lavoro. E' significativo che a parlarne sia invece, ancora una volta, proprio Abetti, in quella *General Electric* nella quale il problema della *Unified Theory of Rotating Machines* era stato avvertito già sul finire dell'ottocento. Dopo aver illustrato i contributi di Giorgi al calcolo dimensionale ed all'impostazione fondazionale dell'elettrotecnica, egli osserva infatti che «*Another important work of Professor Giorgi, published in 1905, was concerned with a "Unified Method for the Study and Computation of Electrical Machinery". At the early date, it was very important to show how the same basis concepts applied to the various electric machines, wich were regarded then as entirely different from each other*».

In realtà, pur ignorato e sottovalutato, il contributo di Giorgi si inseriva in modo preciso e del tutto naturale in una "scuola italiana" di macchine elettriche che, proprio in termini di approccio unificato, aveva avuto i suoi precursori proprio in Pacinotti e Ferraris. E che, negli anni successivi, avrebbe dato, forse altrettanto dimenticati o non colti, ulteriori contributi.

Pacinotti, ponendo in rotazione l'asse delle spazzole, aveva "anticipato" la lettura fisica della futura trasformata di Park. Ferraris, elaborando i suoi teoremi sui vettori rotanti, aveva posto le pre-

messe sul futuro approccio vettoriale unificato al macchinario rotante. E, sempre in tale articolo, avvalendosi del teorema di equivalenza di Ampere per calcolare il contributo magnetico di un avvolgimento, era giunto, senza l'attuale ricorso ai lavori virtuali, al *principio dell'allineamento*…

Quanto a Giorgi stesso, nell'illustrare il passaggio di potenza da statore a rotore nella sua *dinamo ricorsiva* del 1905, aveva fatto riferimento a Poynting...

Conclusione

La conoscenza non è un differenziale esatto: i suoi contenuti, oltre a dipendere dai punti di partenza e di arrivo, dipende sensibilmente, in valore e segno, dalla trasformazione seguita. Conoscere questa trasformazione significa chiarirne una storia vissuta come inscindibile dalla sua episteme. L' elettrotecnica italiana, espressione di una Scuola di Pensiero ben più importante di quanto non si creda, non sfugge a questa regola. E' arrivato il momento di indagare e di riflettere. Forse, sommando temine a termine, si scoprirà che i Pacinotti e i Ferraris, i Mossotti e i Giorgi non furono punti isolati, ma punti di accumulazione di un insieme ovunque denso di sensibilità e conoscenza postmaxwelliane.

Riferimenti bibliografici

M. HESSE, *Forze e Campi*, Feltrinelli, Milano, 1974;

B. GIUSTI DORAN, Dalla *concezione meccanica alla concezione elettromagnetica della natura*, Il Mulino, Bologna, 1980;

R. MAIOCCHI, *Il ruolo delle scienze nello sviluppo industriale italiano*, Annali della Storia d'Italia, Ei-naudi, Torino, 1980;

A.M. MC MAHON *The Making of a Profession: a Century of Electrical Engineering in America*, New York, 1984;

Z. J. BUCHWALD, *From Maxwell to Microphysics*, The University of Chicago Press, 1985;

J.G. O'HARA, W. PRICHA, *Hertz and the Maxwel-lians*, Peter Peregrinus, London, 1987;

R.R. KLINE, *Steinmetz Engineer and Socialist*, The J. Hopkins University Press, London, 1992.

Enrico Maria Latrofa

Sviluppi della Fisica Tecnica nelle Facoltà d'Ingegneria italiane

Premessa

Fino alla metà del diciannovesimo secolo esisteva una grande comunità degli studiosi di scienze naturali, da cui si dipartirono fra l'altro, le due comunità dei matematici e dei filosofi della natura.

Un esempio che mi è familiare per la mia appartenenza alla Università di Pisa, può essere illuminante per comprendere ciò che avvenne da allora in poi. Nel 1839 si tenne a Pisa, sotto i Lorena, la prima famosa Riunione degli scienziati italiani ed a Firenze, dopo averla promessa a Pisa, Leopoldo II eresse nel 1841 la Tribuna di Galileo: nello stesso anno operò la riforma, suggerita da Gaetano Giorgini, in conseguenza della quale la "*sectio physicomathematica*" si divise nel "*Collegium mathematicorum*" e nel "*Collegium Physicorum*". Luigi Pacinotti venne allora privato dell'insegnamento della fisica sperimentale, che teneva da dieci anni, e fu, pur contro sua voglia, comandato al primo Collegio con l'insegnamento della "*physica technologica et mechanica experimentis comprobanda*", mentre al secondo Collegio per l'insegnamento della fisica sperimentale fu chiamato Carlo Matteucci. Poco dopo il 1844, non appena terminata la fabbrica del nuovo "*Gabinetto e teatro di fisica sperimentale*", per il Matteucci, esso fu adibito esclusivamente con quasi tutto il suo patrimonio di macchine e strumenti alla fisica tecnologica. Il programma della nuova materia, come si desume dal Sillabo, è il seguente: "*Tradet in theatro experimentorum praecipua Physicae theoremata, ad artem praesertim architectoriam et machinarum spectantia, quae uti optando sint macbinarum usui experimentis demonstrabit: dìebus Lunae et Veneris, hora tertia*". [Dalle nove alle dieci del mattino, lunedì e venerdì, con un impegno didattico anche allora non troppo gravoso].

Grande fu in principio l'importanza della nuova cattedra di fisica tecnologica, poiché essa, insieme con quella di idraulica, geometria grafica, architettura civile ed altre, istituite con la riforma del 1841, formarono una vera e propria scuola di studi di ingegneria, la quale permetteva alla Università di rilasciare lauree in ingegneria civile e architettura. La cattedra, quando all'Università fu tolta la facoltà di conferire siffatte lauree, venne di fatto a mancare al suo scopo e a ridursi quasi a una dipendenza della Scuola di Agraria rimanendo comunque un anello di congiunzione tra le vecchie tradizioni pisane degli studi scientifici puri e quelli applicati all'ingegneria.

Nel 1881, alla cattedra del padre, venne chiamato, Antonio Pacinotti, che,

nel 1859, appena diciottenne, partecipò alla guerra d'indipendenza. Proprio sui campi di Goito egli, che da tre anni perseguiva uno studio indefesso sulle macchine elettromagnetiche, riuscì a completare definitivamente l'invenzione di quella famosa "macchinetta" che immortalò il suo nome. A noi interessa qui ricordare che proprio nell'Istituto di Fisica Tecnologica - divenuto di Fisica Tecnica nella nuova Scuola d'Ingegneria istituita nel 1913 - Antonio Pacinotti costruì, con l'aiuto del tecnico Poggiali, la sua prima "macchinetta", presa in carico dal padre per l'Istituto e segnata al n. 644 d'inventario con la seguente descrizione: "una macchinetta elettromagnetica con calamita temporanea trasversale e a ruota orizzontale immaginata dal prof. Antonio Pacinotti: con pezzi di ricambio e armatura delle calamite fisse... prezzo L. 120".

La denominazione "Fisica Tecnica" appare nelle nostre Facoltà intorno al 1880, un po' dovunque nelle sedi storiche, preceduta dall'altra di Fisica Tecnologica o Fisica Industriale, non certo ad imitazione, ma come a Pisa. Il programma della disciplina raggruppava sia la Scienza del calore e delle sue applicazioni sia quello che si riferiva allora all'elettricità: la parte insomma della Fisica applicata che non riguardasse la meccanica e l'idraulica. A Milano nel 1863 Codazza lasciò Ferrini, lo stesso Codazza, personaggio memorabile, a Torino nel 1867, lasciò Galileo Ferraris, a Padova operò Bellati (dal 1879 al 1922), a Roma Ascoli con Bordoni, usati qui come gli esempi più significativi dei fisici tecnici operanti nelle due discipline, sia didatticamente che scientificamente.

Tra le due guerre, nel 1923, con la ristrutturazione delle Facoltà d'Ingegneria e la definizione per gli insegnamenti delle due sezioni civile e industriale, fu resa operativa ormai quasi ovunque la separazione fra i due settori disciplinari e la Fisica Tecnica assunse per un decennio il nome di Termotecnica.

Come tutti sanno, le operazioni di riforma sostanziale dell'ordinamento nelle Facoltà d'Ingegneria sono avvenute nel 1960 quando furono differenziati i vari corsi di laurea e nel 1989, intervento mediante il quale la parcellizzazione ha raggiunto livelli a dir poco patologici nel nome di una specializzazione, conquistata, sulla carta, in tempi brevissimi.

Cinquanta anni fa le Facoltà d'Ingegneria erano soltanto dieci (attualmente oltre cinquanta) e in ciascuna operava un Istituto di Fisica Tecnica. Gli ordinari erano nove: Faggiani a Genova, Codegone a Torino, Bozza a Milano, Del Nunzio a Padova, Foà a Bologna, Poggi a Pisa, Bordoni a Roma, Carlevaro a Napoli, Sellerio a Palermo.

Sedi e personaggi della Fisica Tecnica prima del 1950

Nel 1873, la Scuola d'Ingegneria, istituita in Roma da Pio VII con "motu proprio" del 23 ottobre 1817, viene trasformata in Scuola di Applicazione per gli Ingegneri; fra le materie insegnate c'è la Fisica Tecnica. Giuseppe Pisati* è il primo professore di Fisica Tecnica.

Con il "Regolamento organico" approvato nel 1913, la Scuola viene riorganizzata in Sezioni (civile e industriale) ed in Istituti, fra cui quello di Fisica Tecnica.

All'inizio del secolo è professore di Fisica Tecnica Moisé Ascoli*. L'insegnamento comprende due argomenti: Termologia ed Elettrotecnica. A partire dal 1906, assistente di Ascoli è Ugo Bordoni.

Nel 1912 la materia viene sdoppiata: la parte relativa all'elettrologia assume il nome di Elettrotecnica , affidata al prof. Ascoli mentre nel corso col nome di Fisica Tecnica rimane solo la parte termomeccanica affidata al prof. Bordoni* (1884-1952), che fonda e dirige il Laboratorio di Fisica Tecnica.

Il suo corso del 1917-18 contiene tutti i temi divenuti poi classici nella materia. L'opera di Ugo Bordoni apportò un contributo sostanziale in ognuna delle varie parti illustrate nel suo corso, per l'importanza del Suo laboratorio e per la sicura guida data agli allievi ingegneri.

Senza dubbio la testimonianza più completa della sua attività di insegnante e di scienziato sono le 'Lezioni di Fisica Tecnica', edite dapprima nel 1911 sotto forma di dispense e di cui uscirono sette edizioni successive, via via aggiornate. Appare in esse il continuo lavoro compiuto per ampliare il quadro dell'insegnamento seguendo da vicino e guidando sovente il laborioso progredire della scienza applicata. Egli incluse nel corso la trattazione completa di tutte quelle applicazioni della fisica che non costituissero già argomento di insegnamenti autonomi nelle Scuole d'Ingegneria. Fu la prima pubblicazione sull'argomento ispirata a questi criteri e servì di modello per varie altre scuole.

Il trattato "Fondamenti di Fisica tecnica" di cui uscirono due edizioni nel 1932 e nel 1936 (ne è stata curata una particolare ristampa nel 1950, avente carattere didattico), contiene una trattazione completa ed aggiornata dei problemi della fisica applicata ai problemi dell'ingegneria. In esso si fondono mirabilmente, in una prosa elegante e scorrevole, tutte quelle doti che hanno reso preziosa la sua vita per il progresso della scienza e della tecnica.

In conseguenza della sua eminente statura scientifica, si dedicò spesso a commemorazioni e conferenze tenute presso i più elevati consessi scientifici del Paese. In essi rivelava, come nella commemorazione di Antonio Pacinotti, tenuta a Pisa nel 1934, una profonda cultura umanistica ed una sensibilità delicata.

Nel corso degli anni la materia, per il contributo di altri docenti, si ampliò seguendo lo sviluppo delle applicazioni della Fisica: in particolare vennero inseriti i temi dei rapporti fra l'organismo umano e l'ambiente e si sviluppò l'aerodinamica.

Nel corso degli anni '30 il corso si arricchì dei temi della Acustica Applicata mentre nel dopoguerra, accanto ad un importante approfondimento nei temi di più vivace sviluppo, vennero introdotte nuove tematiche, che, verso la fine degli anni '50, assunsero tale importan-

za ed estensione da poter costituire oggetto di appositi corsi di insegnamento. Di questa tendenza è promotore il prof. Gino Parolini* che assunse nel dopoguerra l'insegnamento della Fisica Tecnica, introducendo fra l'altro le tematiche relative alla Termotecnica dei reattori nucleari e successivamente la istituzione e l'accensione del corso di Energetica, primo in Italia, di cui iniziò l'insegnamento.

La Scuola d'Ingegneria, a Bologna, vede il suo primo Regolamento l'8/10/1876, con un biennio presso la Facoltà di Scienze e un triennio successivo che comprendeva il corso di Fisica Tecnica, che viene affidato nell'anno accademico 1877/78 al professore straordinario Luigi Donati* . Nell'annuario dell'anno accademico successivo è riportato il programma della materia con gli argomenti allora classici della scienza del calore e parti assai diffuse su correnti e misure elettriche, elettromagnetismo e telegrafia, correnti indotte, macchine magneto-elettriche e dinamo-elettriche. Dopo dieci anni di straordinariato, in completa solitudine, Donati diventa ordinario nel 1887/88 e costituisce il Gabinetto di Fisica Tecnica di cui aveva cominciato a presentare il progetto dal 1881. Nel programma del 1899/1900 il Donati inserisce anche le applicazioni della elettrotecnica alla metallurgia, nonché esercitazioni di misure elettriche e comunque solo da quell'anno accademico "tiene il corso complementare facoltativo di Elettrotecnica, gratuitamente e a titolo assolutamente privato".

A partire dall'anno accademico successivo la cattedra di Fisica tecnica dispone di uno o più assistenti, che però sembrano non dedicarsi molto alla possibile carriera universitaria, mentre lo faranno negli anni seguenti Umberto Puppini (1909/1910) e Dario Graffi* (1923/1930); il primo diventerà poi ordinario di Idraulica e successivamente direttore della R. Scuola d'Ingegneria (1927/32), il secondo invece, ordinario di Meccanica Razionale, lascerà in questa disciplina un'impronta fondamentale. Con il trasferimento della Regia Scuola d'Ingegneria dall'ex Convento di S.Lucia all'attuale sede di via Risorgimento, viene riservata un'intera ala al primo piano alla Fisica tecnica, con accluso omonimo Gabinetto per la sperimentazione. Dal 1917 al 1923, Donati assume la direzione della Regia Scuola e quindi dal 1923 al 1926 la cattedra passa a Francesco Piola*, che riduce la presenza, nel programma, della Elettrotecnica. Sotto il suo insegnamento si forma culturalmente l'allora assistente Dario Graffi che assumerà l'insegnamento nel 1926/27, di cui resta traccia in un testo di dispense, scritte prima di diventare scienziato di fama internazionale.

Nominato Emanuele Foà* (1892-1949) professore ordinario nell'anno accademico 1927/28, Dario Graffi riassume il ruolo di assistente della materia fino al 1933. Emanuele Foà fa i suoi studi di ingegneria a Torino, interrotti dal richiamo alle armi per la guerra del 1915/18, dove milita come ufficiale di artiglieria, viene fatto prigioniero a

Caporetto e deportato per un anno in Germania. Tornato in Italia completa gli studi e diviene assistente di Termo-tecnica con il prof. Montel al Politecnico di Torino. Vincitore della cattedra di Fisica tecnica nel 1928 sostituisce il Donati, che vi era stato maestro insigne e indimenticabile.

Pur essendo stato un combattente della prima guerra mondiale egli si trovò a subire persecuzioni a causa della inumana campagna razziale, che lo tormentò prima e dopo la seconda guerra mondiale, durante la quale si trovò anche sotto le macerie di un edificio bombardato riportando gravi conseguenze fisiche.

Queste vicende così sfortunate che si sovrapposero nella sua vita, pur mettendo a dura prova il suo spirito di sopportazione e la sua resistenza fisica, non gli fecero mai diminuire l'orgoglio di essere stato un ufficiale dell'esercito italiano, come si riferisce, con toni commoventi, nel ricordo che di Lui si da nell'Annuario della Università di Bologna avvenuta nell'ottobre del 1949.

Al periodo bolognese del Foà sono da ascriversi le importanti ricerche sull'analisi dimensionale e sulle sue applicazioni allo studio dei processi tecnici in vista di dedurre, da tali analisi, metodi semplici e sicuri per stabilire importanti proprietà delle equazioni differenziali che tali processi descrivono e alcuni alte ricerche sulla conducibilità termica. Infine va ricordato l'originale trattato* - pubblicato per affettuosa cura del suo allievo prof. Arturo Giulianini, - che fu oggetto dell'ultima attività del Foà.

Gli interessi culturali del Foà, non si limitavano al campo scientifico e tecnico, ma si estesero anche in ambito storico, in cui era versatissimo, e in quello della filosofia della Scienza. Egli era un brillante e vivace umanista pronto al raffronto fra idee e fatti, all'analisi psicologica acuta del mondo che Egli osservava e che spesso amava interpretare con una sorta di elegante, e pur sempre benevolo, umorismo.

Per le sue particolari e singolari vicissitudini personali e per la sua altezza morale, Egli aveva una grande autorità non solo nella sua Facoltà, ma in tutta l'Università che della sicurezza e dell'equilibrio del suo giudizio faceva altissimo conto. Sotto la guida del prof. Foà si formano altri colleghi.

Alla morte del Foà inizia un martoriato cammino dell'insegnamento della Fisica tecnica vagante per brevi periodi tra professori certamente di chiara fama, ma non aventi le caratteristiche peculiari di questa disciplina.

Deve essere atteso, dopo queste alterne vicende a cavallo del primo dopoguerra, che il prof. Giulianini divenga, nel 1958/59 cattedratico di Fisica tecnica, rimanendo nel ruolo fino al 1982, perché inizi una notevolissima valorizzazione della disciplina e di altre collaterali con un numero considerevole di docenti, ricercatori e personaggi di grande rilievo nella gestione dell'università di Bologna e di quelle vicine di Modena, Parma, Ferrara.

A Milano, a seguito della Legge Casati del 13 Novembre 1859 n.3725, che ai primordi del Regno Italico aveva

istituito nello stesso anno un Istituto Tecnico Superiore, nasce, nel 1863, il Politecnico di Milano, in cui naturalmente l'ingegneria industriale trova l'ambiente ideale per operare tutti gli interscambi culturali necessari per tentare operazioni unificanti fra le varie discipline costituenti il cuore della formazione umana e professionale dell'ingegnere.

Non è quindi sorprendente che qui nasca la grande manualistica e in particolare nel 1877/78 veda la stampa il "Manuale dell'ingegnere civile e industriale" di G. Colombo, che nella versione "monovolume" vide ottanta edizioni per i tipi della benemerita casa editrice Hoepli in Milano.

"Mi parve che in Italia si mancasse di un manuale di ingegneria succinto e tascabile "(mai parole furono più appropriate)" del genere di quelli che in Inghilterra, in Francia e soprattutto in Germania annualmente si pubblicano. Io ho tentato di riempire questa lacuna."

Con queste parole l'autore presenta, nella prefazione, la sua prima opera, che tanto successo ha avuto negli anni seguenti, costituendo un supporto indispensabile alla formazione dei tecnici italiani. Nell'ottantunesima edizione, non più monovolume, un illustre fisico tecnico lombardo, il prof. Silvestri, ne ha tracciato efficacemente la storia nella prefazione che può essere per tutti una piacevole lettura.

Questa premessa è necessaria per comprendere che, a Milano, i percorsi della Fisica tecnica sono stati più che altrove intersecati da esigenze culturali più unificanti verso altre discipline come le Macchine, gli Impianti nucleari, la Costruzione di Macchine, arricchendo di contenuti soprattutto progettuali il normale bagaglio dei corsi fisico tecnici.

Anche in questa sede all'inizio, gli argomenti diventati oggetto della Fisica tecnica erano inglobati in un unico corso di "Fisica generale ed applicata" , chiamata inizialmente "Fisica tecnologica," successivamente "Fisica tecnologica ed elettrotecnica". La Fisica Tecnologica è professata dal prof. Giovanni Covazza, noto cultore di studi teorici e tecnici, dal 1863 al 1867, data del suo trasferimento a Torino.

Il titolo di Fisica tecnica si ritrova in una comunicazione del 1882 del prof. Brioschi al prof. Ferrini*. Dopo il Ferrini la Fisica tecnica fu affidata fino al 1929 al prof. Oreste Murani*, che, essendo titolare di Fisica Sperimentale, si valse anche della collaborazione del prof. Angelo Izar*. Al Murani successe nella cattedra di Fisica sperimentale il prof. Alessandro Amerio*, mentre nella Fisica tecnica continuò il prof. Izar: Collocato questi a riposo l'insegnamento fu affidato per incarico al prof. Dalberto Faggiani*, poi titolare della stessa cattedra a Genova.

La ricerca sperimentale si confuse, in quel periodo, con quella di Fisica e non ebbe mai rilievo autonomo un Istituto di Fisica Tecnica, benché alcune originali ricerche scientifiche siano state documentate in apprezzate pubblicazioni. Nel 1948 fu chiamato a coprire la cattedra di Fisica tecnica il prof. Gino Bozza* (1899-1967), ordinario di Fisi-

ca tecnica nella Facoltà di Scienze della Università di Milano.

Con l'accesso del prof. Bozza, l'Istituto di Fisica Tecnica venne a unirsi all'esistente laboratorio di Meccanica industriale e quando al prof. Bozza fu affidato anche l'incarico dell'insegnamento di Macchine, dopo il passaggio fuori ruolo del prof, Mario Dornig, apparve il titolo unificato di Istituto di Fisica tecnica e Macchine (pur sussistendo, sia pure a mero titolo amministrativo, anche quello di Meccanica industriale).

Bozza è stato un personaggio di grande rilievo nella Fisica tecnica italiana, nel Politecnico di Milano e nella comunità scientifica nazionale. Come ebbe a dire di lui il prof, Codegone nel settembre 1966 alla seduta inaugurale del XXI congresso dell'Associazione Termotecnica Italiana "non si sapeva se più ammirare in lui la sicura dottrina dello scienziato o la limpida serenità dell'umanista." Di ingegno acuto e vivace oltre il comune, aperto ad ogni interesse culturale, avrebbe potuto intraprendere con successo ogni tipo di professione, ma volle essere ingegnere, svolgendo la sua attività con ardore versatilità e rettitudine.

Nato a Firenze nel 1899, da famiglia di ceppo friulano, fece brillanti studi classici a Firenze con eccezionale profitto, si laureò al Politecnico di Milano nel 1922 in ingegneria industriale ad indirizzo chimico ed ebbe, presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Milano, l'incarico di Termotecnica, disciplina di vasti orizzonti culturali e tecnici, allora, in forma autonoma , insegnata non soltanto all'estero, e segnata-mente in Germania, ma anche in varie Facoltà d'Ingegneria italiane. Si tornò poi alla denominazione di Fisica tecnica e nel 1936 Bozza assunse la cattedra con tale nome, tornando poi, con eguale titolo, nel 1947 al "suo" Politecnico in cui si era laureato e di cui diciassette anni dopo, a coronamento di una brillante carriera di docente, viene eletto Rettore, in tal veste celebrandone nella stesso 1964, con memorande cerimonie, discorsi umanissimi e dotte pubblicazioni il primo centenario della fondazione. Naturalmente di tutte queste vicende, della sua presenza significativa nel Politecnico e della sua attività scientifica restano in quella Istituzione memoria e tracce facilmente consultabili, che qui pare fuori luogo far risaltare.

É significativo però ricordare quanto fosse viva in Lui la consapevolezza della opportunità e della utilità dell'azione sociale anche nel campo del progresso tecnico.

Fu socio fondatore, insieme ad un manipolo di entusiasti proponenti, il 25 Settembre 1946, dell'Associazione Termotecnica Italiana, membro del Comitato di Redazione della rivista "La Termotecnica" che nacque nel 1948, sostenitore del neo-costituito Comitato Termotecnico Italiano, voluto dal Sen. Panetti e sotto gli auspici del CNR. Di queste istituzioni, tuttora operanti e centri naturali dell'interscambio culturale dei Fisici tecnici italiani e delle varie discipline ed attività che ad essi si collegano, fu per lunghi periodi e a vario titolo responsabile, animatore e coordi-

natore a livello locale e nazionale. Dopo l'arrivo di Bozza, il nuovo Istituto si sviluppò su nuovi campi di ricerca fra i quali meritano menzione l'attività del centro di microscopia elettronica e quella del laboratorio di acustica applicata.

Senza voler uscire dal periodo temporale che questo testo si è prefisso di indagare, ma solo per maggiore chiarezza, dopo la scomparsa di Bozza, l'Istituto si divise in due; l'Istituto di Fisica Tecnica e l'Istituto di Macchine, il primo fu affidato al prof: Mario Silvestri, che si trasferì dalla cattedra di Impianti nucleari a quella di Fisica Tecnica, il secondo fu affidato al prof. Casci. Nel 1982 i due Istituti di Fisica tecnica e di Macchine decisero di riunirsi nuovamente per costituire il Dipartimento di Energetica.

A Torino, nasce, in virtù della già citata Legge Casati, la Scuola di Applicazione per Ingegneri sul modello della "'Ecole des Ponts e Chaussèees" di Parigi per cui la maggio parte della formazione si concentrava l'accento sull'edilizia e sulle costruzioni idrauliche e di ponti e strade. Per venire incontro alle esigenze di formazione dei tecnici richiesti dal mondo industriale sorse in Torino, nel 1862, il Regio Museo Industriale Italiano, con funzioni sia di esposizione permanente di prodotti e di macchine, sia di diffusione di notizie e studi tecnici delle più varie tecnologie. Tale diffusione assumeva fra il 1866 e il 1867 il carattere di corsi universitari legalmente riconosciuti per la formazione di Ingegneri Industriali. Tra questi figura il corso di Fisica Industriale, tenuto dal prof: Giovanni Codazza, trasferitosi a Torino da Milano dove aveva tenuto il corso di Fisica tecnologica.

Nella commemorazione che Quintino Sella, Presidente dell'Accademia dei Lincei, tenne in quella Accademia per l'occasione della sua morte avvenuta nel 1877, si espresse con queste parole: "L'attività scientifica più importante del Codazza appartiene all'epoca in cui egli insegnò la fisica industriale, scienza pochissimo coltivata allora in Italia, e nella quale egli ha veramente creato una scuola."

Della scuola che Codazza animò, il migliore allievo resta il suo collaboratore Galileo Ferraris*, che successe appunto al suo maestro nella cattedra di Fisica Tecnologica. Nel 1889 egli tenne il corso di una nuova disciplina che egli chiamò "Elettrotenica" e che attirò subito numerosi allievi sia per il valore del maestro che per la novità degli argomenti.

Al Ferraris, morto precocemente non ancora cinquantenne durante una lezione che non riuscì a terminare, successe sulla cattedra, denominata da qualche anno Fisica tecnica, Luigi Lombardi*, suo eccellente allievo perfezionatosi a Zurigo con Weber. Nel 1901 il Lombardi passa a Napoli in quella Scuola di applicazione per ingegneri come ordinario di Fisica tecnica prima e poi di Elettrotecnica, in una intensa e costante attività che proseguì a Roma dove fu chiamato nel 1921 alla Scuola di ingegneria. Dal 1901 al 1906, il corso di Fisica tecnica al Museo Industriale fu tenuto dal prof. Pietro Paolo Morra, in

precedenza ordinario di Fisica presso l'Accademia Militare.

In quello stesso anno in cui il Morra morì, con apposita legge dell'8 Luglio n.321, veniva costituito il Politecnico di Torino dalla fusione della Scuola di Applicazione e del Museo industriale.

Nell'appena costituito Politecnico, fu chiamato come professore incaricato di Fisica tecnica, a sostituire il Morra, Benedetto Luigi Montel*, di nascita pisana, laureato a Torino e specializzato in elettrotecnica, grande estimatore di Ferraris. Nel 1910, Montel vinse il concorso della disciplina "Termotecnica", nuovo temporaneo nome della Fisica tecnica, che insegnò fino al 1932, efficace docente e paziente sperimentatore.

Nel 1932, per iniziativa del prof. Vallauri, fu chiamato per trasferimento il prof. Pietro Enrico Brunelli*, figura composita di tecnico a tutto campo, prima laureato ingegnere civile a Roma e poi navalmeccanico a Genova, con vasta esperienza nella cantieristica e progettazione navali, per cui era notissimo in Italia e all'estero.

Per questo motivo fu chiamato per ricoprire insieme le cattedre di Macchine a vapore e di Fisica tecnica. In questa sua nuova sede diede un notevole impulso non solo alla Termodinamica e alla Termocinetica, ma anche alla Costruzione di generatori di vapore, ampliò il laboratorio di ricerche, iniziò a scrivere un trattato di Fisica tecnica in più volumi che fu completato dal Codegone, suo allievo, particolarmente per le parti di Acustica architettonica e illuminazione tecnica. Dopo le vicende della guerra che colpì duramente l'edificio del Politecnico e causò distruzioni e trasferimenti in sedi provvisorie si trovò infine Direttore della Scuola contribuendo efficacemente a risollevarne le sorti. Nel 1946 presiedette il Congresso da cui nacque l'Associazione Termotecnica Italiana di cui fu il primo Presidente Nazionale.

Alla sua morte, avvenuta nel 1947, viene chiamato il prof. Cesare Codegone* (1904-1991), vincitore nello stesso anno del concorso a cattedra di Fisica tecnica.

Egli fu direttore dell'Istituto di Fisica tecnica (poi divenuto Fisica tecnica e Impianti nucleari), direttore del corso di perfezionamento in Ingegneria Nucleare dal 1955 al 1974, prorettore dal 1955 al 1970. Fece parte di numerose istituzioni scientifiche in cui svolse per lungo tempo funzioni direttive e di coordinamento con intelligenza, lungimiranza e soprattutto spirito di servizio veramente ammirabili.

Gli va riconosciuto il merito di essere stato l'anima della Associazione termotecnica italiana e della rivista ad essa collegata, ricoprendo la carica di segretario generale dal 1946 al 1974 e dal 1974 al 1979 di presidente nazionale e successivamente di presidente onorario. La sua operosità scientifica fu notevolissima ed è stata ricordata con due testi in sua memoria sia per il decennale della sua scomparsa avvenuta nel 1991, che per il centenario della nascita.

Sarebbe opportuno svolgere qui un attento riesame della sua attività scien-

tifica copiosissima, che sorprende per la naturale chiarezza espositiva, per la ampiezza degli interessi, ma soprattutto per l'accurata ricerca del quadro storico in cui ogni argomento si è sviluppato e per la puntuale ricerca bibliografica, premessa necessaria a ogni suo lavoro.

La validità del suo metodo è confermata dalla grande fioritura dal suo ceppo di uno stuolo di allievi che hanno lasciato nel Politecnico di Torino e altrove tracce considerevoli.

A Padova, a modifica dell'ordinamento istituito il 13 ottobre del 1867, operante già ad un anno dalla liberazione del Veneto, l'insegnamento della Fisica tecnologica. dotato di cattedra e laboratorio, fu introdotto, con il piano di studi proposto dal Rettore prof. Domenico Turazza per l'anno accademico 1870/71.

La disciplina fu assegnata al prof. Andrea Naccari*, assistente di Fisica Sperimentale, che la coltivò con i mezzi di studio e di insegnamento dell'Istituto di Fisica Sperimentale fino all'ottobre 1874 come professore incaricato e dall'anno accademico 1874/75 quale professore straordinario fino al 1877/78.

Nel successivo 1878/79, l'incarico passò al prof. Manfredo Bellati*, il quale nel 1879/80 divenne professore straordinario del corso che assunse la denominazione di Fisica tecnica. Il Bellati era stato assistente nelle discipline matematiche e poi professore incaricato di Calcolo differenziale ed integrale e di Fisica Matematica, producendo alcuni lavori originali in questi settori. Con quel suo passaggio definitivo alla Fisica tecnica , dove rimase fino al 1922, anno del suo collocamento in pensione e della sua nomina a emerito, andò consolidandosi l'indirizzo applicativo dell'insegnamento con il distacco progressivo dalla Fisica del biennio di studi teorici.

Oltre al pregevole trattato di Fisica Pratica, scritto in collaborazione con Naccari, produsse una serie notevole di lavori su argomenti di viva attualità per il suo tempo interessanti soprattutto fenomeni termici interconnessi con fenomeni elettrici. Ideò e fece costruire un pregevole elettrodinamometro, il cui successo lo rese famoso all'estero, perché fu il primo strumento idoneo alla misura delle correnti telefoniche e di quelle assai deboli di origine fisiologica. Durante una visita al Laboratorio di Galileo Ferraris, al Politecnico di Torino, constatò che il glorioso apparecchio del campo rotante era depositato come dimenticato in uno scaffale. Sollecitò con insistenza l'illustre scienziato a comunicare la geniale scoperta al mondo della tecnica: si ebbe così la costruzione del motore a campo rotante da parte di una grande industria elettrica tedesca.

Con la riforma universitaria del 1923 furono introdotte alcune novità nella organizzazione interna della Scuola: i due Istituti di Elettrotecnica e di Fisica Tecnica furono fusi nell'Istituto di Fisica Applicata, ripartito nelle due sezioni di Elettrotecnica e di Termotecnica e con l'insegnamento di Fisica teorica ad integrazione delle predette due materie,

dedicate soprattutto alla parte applicativa. La direzione del nuovo Istituto fu assunta dal prof. Ferdinando Lori, illustre titolare della cattedra di Elettrotecnica; l'insegnamento della Termotecnica fu assegnato per incarico all'assistente prof. Vitale Gallina e quando questi abbandonò la Scuola (1928) al prof. Balbino Del Nunzio* (1893-1980).

L'introduzione della Termotecnica era giustificata dal notevole sviluppo, che andava assumendo nel Paese l'impiego industriale del calore a tutte le temperature, da quelle prossime allo zero assoluto a quelle elevate dei corpi incandescenti.

D'altronde la istituzione della cattedra di Elettrotecnica, ramo inizialmente fiorente nella Fisica tecnica, accelerò la concentrazione degli argomenti riguardanti il calore, variamente dispersi nei corsi del quinquennio con preminente metodo nozionistico, imposto dalla frammentarietà degli argomenti trattati a fini diversi. Torino e Padova ebbero il corso di Termotecnica e Roma addirittura la nuova laurea di ingegneria termotecnica, con la prospettiva che il maggiore spazio disponibile consentisse di dare anche al termotecnico, alla pari con ogni altro ingegnere, la trattazione ordinata e coerente della materia per raggiungere la carica formativa necessaria a soddisfare le esigenze della nuova tecnologia emergente.

Questo periodo è indissolubilmente legato alla figura di Balbino Del Nunzio. Abruzzese d'origine, nacque a Spoltore nel 1893, partecipò alla prima guerra mondiale come volontario e si laureò in Fisica a Bologna nel 1920. Iniziò la sua carriera universitaria nell'Istituto di Fisica Applicata a Padova dove svolse interamente la sua luminosa carriera di uomo di scuola e di ricerca e dove la morte lo colse nel 1980.

Le prime ricerche di Del Nunzio si rivolsero ad argomenti di elettrologia e di elettrotecnica sotto la guida del Lori, eminente scienziato del suo tempo, e tenne corsi di Misure elettriche, occupandosi della strutturazione dei laboratori di alta tensione e di misure elettriche. Improvvisamente intorno al 1927 gli interessi di Del Nunzio si staccano dalla Elettrotecnica e si indirizzano verso argomenti di Ottica, Termofluo-dinamica e Termotecnica, che oggi costituiscono il dominio della Fisica tecnica e dell'Energetica nelle nostre Facoltà d'Ingegneria.

Dal 1927 al 1932 Del Nunzio si impegna accanitamente su problemi di Fluidodinamica e Trasmissione del calore, allora affrontati con poche formule empiriche, e, in virtù di una attività sperimentale affrontata con metodi e strumenti di grande precisione, sostenuta da una cultura fisica collaterale solida e ben fondata, ottenne risultati notevoli, inserendosi autorevolmente fra gli autori più considerati, in specie considerato dai tedeschi di allora. Tale operosa e intensa attività gli fece vincere, nel 1932, la cattedra di Fisica tecnica a Padova, ove rimase fino al 1963, anno del suo collocamento a riposo. Diresse contemporaneamente l'Istituto di Fisica tecnica che si arricchì di una sede moderna e attrezzata nel 1936: fu presi-

de della Facoltà d'Ingegneria dal 1949 al 1964, contribuendo con saggio equilibrio al rinnovamento dei piani di studio che il progredire della tecnologia via via imponeva. Nel 1935 quando i suoi interessi scientifici si volsero al settore delle basse temperature, egli comprese quale importanza poteva avere in Italia la Tecnica del freddo sul piano tecnologico ed economico.

Cento anni fa nasceva a Lanciano, in provincia di Chieti, Lorenzo Poggi* (1905-1978), ultimo do otto figli di Carlo Ambrogio Poggi, un magistrato di famiglia fiorentina, dal carattere fiero e di grande rigore morale.

Lorenzo rimase orfano in giovane età per la morte del padre: si laureò dapprima in ingegneria civile presso l'allora scuola di applicazione per ingegneri della Università di Pisa e vinse poi due borse di studio , con la prima delle quali poté frequentare la Scuola di ingegneria Aeronautica del Politecnico di Torino e approfondire la conoscenza della aerodinamica sotto la guida del prof. Modesto Panetti e con la seconda recarsi ad Aquisgrana, ove seguì i corsi del prof. Teodoro von Kàrmàn, con cui iniziò una promettente attività scientifica sempre nella stessa direzione. Essa poté continuare sotto la guida del prof. Enrico Pistolesi, dell'Università di Pisa, dove rimase stabilmente e svolse la sua intera attività accademica.

Assistente nel 1929 alla cattedra di Fisica Tecnica che era stata di Pacinotti e successivamente di Cassuto e Polvani, divenne libero docente di Aerodinamica nel 1932, Direttore incaricato dell'Istituto di Fisica Tecnica dal 1935 e infine nel 1947 Professore di ruolo presso la Facoltà d'Ingegneria di Pisa.

Il Poggi non era il classico professore come s'intende ora, cioè lo specialista di una particolare disciplina che, seppure molto ampia, costringe il ricercatore ad operare in un ambito molto ristretto. Egli, a mano a mano che si proponevano nuovi indirizzi o nuovi corsi di laurea, era interpellato dai colleghi, forse allora meno gelosi dei loro privilegi disciplinari, per affrontare le nuove materie, che gli venivano proposte e affidate direttamente per incarico. Egli tenne così (oltre alla Fisica Tecnica per tutti i corsi di Ingegneria) successivamente, nei vari anni, gli incarichi di "Motori per aeromobili", di "Complementi di Macchine Termiche e Idrauliche", di "Teoria dei Servomeccanismi", di "Regolazione dei Reattori Nucleari" e di "Gasdinamica".

Come si è detto, la prima attività del Poggi ricercatore è rivolta a problemi di Aerodinamica teorica a cui si riferiscono sette lavori, pubblicati fra il 1930 e il 1931 sulla rivista "L'aerotecnica" e sugli "Atti della Pontificia Accademia della Scienze-Nuovi Lincei". La pubblicazione a titolo "Azioni aerodinamiche su di un ellissoide di rotazione investito da un vortice con l'asse posto sul suo piano equatoriale e da una corrente traslatoria parallela al suo asse" fu di particolare interesse per comprendere gli effetti deleteri che possono essere provocati dai fortissimi momenti flettenti agenti sulla struttura di un dirigibile che incontri un vortice avente asse

normale alla sua velocità: In essa si dimostra l'impossibilità ponderale del dirigibile a resistere a sollecitazioni indotte da vortici possibili nell'atmosfera temporalesca.

Il Poggi ha dedicato ininterrottamente cinquanta anni della sua vita alla ricerca, interessandosi a molti campi dell'Ingegneria in maniera sorprendentemente originale in virtù del fatto che possedeva un modo sintetico di avvicinarsi ai problemi, che gli derivava, come fa notare Lazzarino in un suo lavoro, "dalla capacità di comprendere a fondo e di padroneggiare le idee fondamentali di ciascuna metodologia ed i meccanismi matematici mediante i quali le metodologie vengono applicate e di valutare gli ordini di grandezza degli errori di approssimazione da cui ogni modello matematico della complessa realtà fisica è inevitabilmente affetto.

Poggi era un uomo profondamente religioso, umile nei rapporti con gli altri, caritatevole, arguto, naturalmente simpatico, dallo sguardo penetrante, severo e buono allo stesso tempo, con una forte rassomiglianza con Spencer Tracy, attore cinematografico del suo tempo. La Scuola d'Ingegneria di Genova, negli anni 35-40, affidò l'insegnamento della Fisica Tecnica per gli allievi ingegneri prima al prof. Baratta, titolare di un insegnamento di Fisica presso la facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali. Parte della materia veniva svolta anche dal prof. Ezio Moriondo*, titolare del corso di Macchine della Facoltà di Ingegneria e Preside della Facoltà.

Il primo concorso alla Cattedra di Fisica Tecnica dell'immediato dopoguerra fu bandito dall'Università di Pisa nel 1946 e risultò primo classificato il prof. Dalberto Faggiani* (1903-1975), già professore incaricato della stessa disciplina al Politecnico di Milano.

Nato a Tresnuraghes in Sardegna da famiglia piemontese, laureatosi nel 1929 in Fisica presso l'Università di Napoli, Faggiani è stato titolare dal 1939 al 1942 della Cattedra di Fisica Sperimentale presso la Facoltà di Filosofia dell'Università Federale del Brasile in Rio de Janeiro, da dove fu rimpatriato all'atto dell'entrata in guerra del Brasile. Presentava un ricco curriculum di produzione scientifica riguardante principalmente la Termodinamica Applicata, la Trasmissione del Calore, le proprietà Termofisiche dei Materiali e l'Acustica Applicata.

L'istituto di Fisica Tecnica, sorto nel 1947 alla chiamata del Faggiani, aveva i suoi locali a Villa Cambiaso, al piano nobile, in posizione adiacente all'attuale salone intitolato al prof. Riccardo Baldacci, dove era situata la Biblioteca e la Direzione. E' del 1960 lo spostamento dell'Istituto in via dell''Opera Pia, nei nuovi padiglioni della Facoltà.

É da ricordare che ancora oggi il suo volume "Trasmissione del Calore", edito per la prima volta nel 1945, viene utilizzato da progettisti e studiosi del settore. Il suo articolo: "Tentativo di correlazione della convezione in liquidi bollenti" (1936), antesignano degli studi sulla trasmissione del calore in fluidi bifase, argomento divenuto impor-

tante per l'applicazione ai fluidi in ebollizione negli impianti nucleari, viene tuttora frequentemente citato: Soprattutto la sua teoria sul calcolo del Tempo di Riverberazione in grandi locali (1934) costituisce un approfondimento delle condizioni che hanno portato alla formula di W.C. Sabine, ed è stata recentemente ripresa ed utilizzata per alcune applicazioni acustiche riguardanti edifici monumentali. Il volume "Fondamenti di Termodinamica Tecnica" (1968) ha rappresentato per anni un testo di riferimento adottato da numerose sedi universitarie italiane. I principi della termodinamica ed i concetti fondamentali sulla evoluzione dei sistemi e le irreversibilità dei processi vengono presentati in modo chiaro ed originale, costituendo ancor oggi la necessaria premessa alla moderna analisi dei sistemi termodinamici.

Negli ultimi anni Faggiani si dedicò a studi di logica e di epistemologia e la sua produzione scientifica, secondo l'indirizzo del positivismo logico, presenta tuttora notevole rilievo. A Napoli, agli inizi con Carlo di Borbone nel 1754 che volle la fondazione del Corpo degli ingegneri, si passò a Gioacchino Murat , che nel 1811 dette vita alla Scuola di applicazione del Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade, trasformata nel 1863 in Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri: nel Regolamento del 1882 appare al secondo anno, sia di Architettura che d'Ingegneria, la Fisica Tecnica.

Professore ordinario di tale materia risulta nel 1879 Guido Grassi, dottore in Scienze Fisiche; egli, che aveva ampliato il Gabinetto di Fisica Tecnica ad applicazioni elettriche, nel 1898, a seguito della morte di Galileo Ferraris, fu chiamato alla Scuola di applicazione di Torino ed a Napoli gli successe nel 1901 il prof. Luigi Lombardi, di cui si è già accennato per la sua successiva presenza a Roma. Nel 1905 la Scuola si trasforma in Scuola Superiore Politecnica ed infine nel 1923 viene istituita la Facoltà d'ingegneria. A Lombardi, direttore dell'Istituto di Fisica Tecnica, a seguito del suo trasferimento a Roma, successe il prof. Piero Enrico Brunelli ed infine assunse la direzione nel 1927 il prof. Enzo Carlevaro* (1894-1987), mantenendola fino al 1965, anno in cui dalla vecchia sede in via Mezzocannone la Facoltà passò nell'attuale sede di Piazzale Tecchio.

Carlevaro nacque a Voghera e si laureò in Ingegneria elettrotecnica nel 1917, assistente di elettrotecnica presso la Scuola Superiore Politecnica a Napoli, conseguì la libera docenza nella stessa materia nel 1922, vincitore di concorso a cattedra nel 1928, insegnò Fisica Tecnica ininterrottamente presso la Facoltà d'Ingegneria e per lungo tempo anche nella Facoltà di architettura di Napoli. Fu preside della Facoltà dal 1939 al 1944.

Autore di numerosi volumi didattici di Elettrotecnica, Fisica e Fisica Tecnica e di oltre ottanta lavori scientifici, svolse un'ampia attività anche in campo professionale con importanti contributi nei settori dell'elettrotecnica, degli impianti termotecnici e dell'acustica applicata con grandissima competenza

e rigore scientifico ed un disinteresse divenuto proverbiale. Ebbe inoltre posizioni di grande prestigio in tutte le Associazioni culturali e professionali dell'ingegneria sia a livello nazionale che internazionale, lasciando ai suoi successori l'esempio di una vita esemplare. Anche se questa affermazione non è accompagnata da motivazioni documentate con precisione, credo di poter sostenere che il personaggio in cui si è identificata la Fisica Tecnica a Palermo sia senza ombra di dubbio Antonio Sellerio, da cui si è originata una nutrita schiera di allievi per vari rami dell'ingegneria, che ancora Lo identificano come il naturale maestro e ispiratore delle loro attività.

Antonio Sellerio* (1885-1973) nacque a Geraci Siculo, laureatosi in matematica nel 1908 a Palermo,si trasferì in Germania a studiare ingegneria elettronica presso la Technische Hochschule di Monaco dove conseguì il titolo di *diplomat ingenieur* nel 1911. Dopo aver lavorato dal 1911 al 1914 presso la Siemens-Schuckert fu richiamato in Italia dallo scoppio della prima guerra mondiale e nominato aiuto presso la cattedra di Fisica dell'Università di Palermo, tenuta allora da Michele La Rosa, e prestò servizio militare dal 1916 al 1919, dopodiché divenne libero docente in Fisica Sperimentale. Nel 1925 venne chiamato alla cattedra di Fisica Tecnica della Scuola di Ingegneria di Palermo, forte di una solidissima preparazione matematica, di una lunga esperienza di ricerca in Fisica Sperimentale, di una formazione di ingegnere appoggiata ad una significativa esperienza nel campo della produzione industriale, avendo cioè una struttura scientifica ideale per contribuire all'evoluzione della Fisica Tecnica.

Fu preside della Facoltà dal 1942 al 1948, direttore dell'Istituto per 35 anni dal 1925, incaricato dell'insegnamento di Aerodinamica, ponendo le basi insieme al prof. Miata, del corso di laurea in ingegneria aeronautica. Organizzatore dei primi corsi di aggiornamento in Fisica Nucleare e dei successivi Corsi di perfeziona-mento in Fisica Nucleare applicata, in cui insegnò Fisica del reattore, costituì quel gruppo di docenti e scienziati che oggi illustrano con la loro attività la Facoltà d'Ingegneria nel campo delle Applicazioni ed Impianti Nucleari. Un ultimo significativo risultato è stata la realizzazione di un reattore nucleare da laboratorio, che entrò in esercizio nel 1960 con il nome emblematico di "Costanza", ed ebbe come sede la baracca del cantiere di costruzione dell'allora erigenda Facoltà d'Ingegneria. Qui Sellerio operò instancabilmente e serenamente la sua attività scientifica sino a tutto il 1972, spegnendosi pochi mesi dopo aver lasciato la partecipazione attiva alla vita della scuola e del laboratorio.

Il pensiero e l'attività scientifica di Antonio Sellerio sono testimoniati da più di cento lavori pubblicati tra il 1909 e il 1970: sono scritti di matematica - quelli più giovanili - di fisica teorica, di fisica pratica ed applicata, di filosofia della scienza ed il testo didattico di Fisica tecnica ancor oggi adottato.

Nota al testo

I nomi *sottolineati* e *contrassegnati con asterisco* hanno le loro opere ancora conservate nei patrimoni librari degli istituti storici di Fisica Tecnica.

Note del D.I.E.N.C.A. di Bologna, a cura di A. Cocchi e S. Piva, 1998

Dip. Energetica di Milano, a cura di E. Pedrocchi, 2000.
Dip. Energetica ed Applicazioni di Fisica di Palermo, a cura di M. Colomba, 1998.
D.I.T.E.C. di Genova, a cura di G. Guglielmini, 2003.
Dip. Energetica di Roma, a cura di D.M. Fontana e F. Guglieminetti, 2003.
Dip. Energetica di Padova a cura di E. Bettanini, 2000.
D.I.M.E. di Napoli, a cura di V. Betta e F.R. D'Ambrosio, 2004.

Riferimenti bibliografici

D. Barsanti, *L'Università di Pisa dal 1800 al 1860*, Pisa, ETS, 1993.
L. Mattarolo, *L'evoluzione della Fisica Tecnica nelle facoltà d'Ingegneria*, Accademia delle Scienze, Vol. 128, Torino, 1994.
E.M. Latrofa, *Note storiche sull'insegnamento della Fisica Tecnica in Italia*, Atti 53° Congresso ATI, su "La Termotecnica", Luglio/Agosto 1999.
E.M. Latrofa, *Ricordo di Lorenzo Poggi – un geniale maestro inconsueto*, su "Il rintocco del Campano", XXXV, Pisa, ETS, 2005.
C. Codegone, *Contributi alla Storia della Fisica Tecnica in Italia*, su "La Termotecnica", 11, 1970.
C. Codegone, *La Fisica Industriale in Torino fra l'otto e il novecento*, su "Atti della società ingegneri e architetti in Torino", XXIV, 3 1970.

Francesco Viola

"La composizione dell'architettura": l'insegnamento di Luigi Cosenza nella Facoltà d'Ingegneria di Napoli

L'impegno di Luigi Cosenza nella facoltà di Ingegneria di Napoli, dal 1946 al 1958, è un aspetto poco noto della sua attività nonostante egli abbia contribuito in diversi ambiti al rinnovamento degli studi di architettura: ha insegnato, infatti, "Composizione Architettonica" e "Progetti Edili", fondato e diretto l'Istituto di Architettura, coordinato le attività del Centro Studi per l'Edilizia, progettato a titolo gratuito le due nuove sedi della facoltà nel quartiere di Fuorigrotta[1].

Questa esperienza così lunga ed intensa non casualmente è coincisa con il periodo della sua piena maturità artistica, durante la quale ha prodotto le idee e gli spunti più originali, dimostrando la migliore padronanza dei mezzi espressivi, la più raffinata capacità di articolazione degli spazi, le più lucide argomentazioni teoriche - basti pensare al Quartiere Sperimentale di Torre Ranieri, al progetto della Banca del Sangue, alle Case in viale Augusto, alla Fabbrica ed al Quartiere Olivetti, alla stessa Facoltà d'Ingegneria, alle ricerche del Centro Studi dell'Edilizia e dell'Istituto d'Architettura.

Eppure, come si diceva, pochissime sono le tracce che Cosenza ha lasciato nell'università, dopo aver rassegnato le dimissioni dall'insegnamento nel settembre del 1958 in polemica con la facoltà: negli anni seguenti la prematura scomparsa del preside Adriano Galli, suo amico e sostenitore, infatti, egli ha incontrato crescenti ostacoli nello svolgimento dell'attività didattica, soprattutto per la tenacia con cui si faceva promotore di un rinnovamento degli studi d'ingegneria, ispirato ad una nuova etica della professione, ed in cui l'insegnamento dell'architettura avrebbe assunto maggiore importanza[2].

Nella Napoli della ricostruzione postbellica egli temeva che si potesse verificare una saldatura tra gli interessi della speculazione edilizia e quelli di una classe di tecnici senza scrupoli e privi di qualità morali, e contro questo pericolo riteneva che l'università potesse svolgere un ruolo importante, non solo nel formare «l'abito morale del tecnico prima ancora di acquistarne la competenza», ma soprattutto nell' "insegnare a pensare correttamente da scienziato e da artista, a ricordare in ogni momento quale contributo la società si aspetta dal tecnico per la soluzione dei suoi problemi e delle sue aspirazioni"[3]. "Estendendo la collaborazione tra ingegneri ed architetti a pittori e scultori, disegnatori industriali e geometri", Cosenza voleva dimostrare come "il lavoro di gruppo [fosse] il più adatto alla vastità e complessità dei problemi della moderna architettura. Per diffonderlo e potenziar-

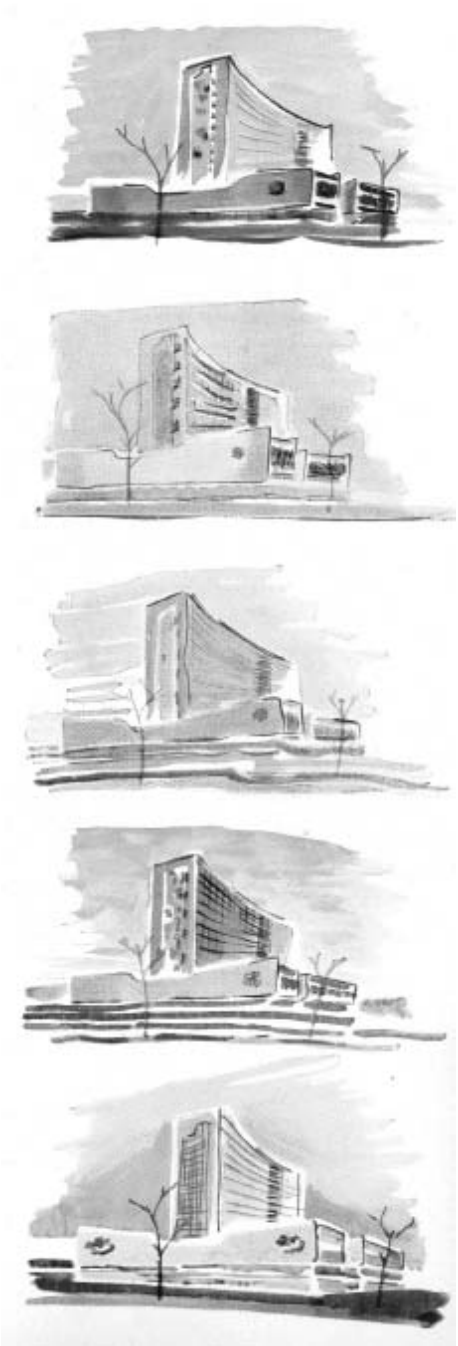


Fig. 2 - Schizzi di studio per il fronte principale della Facoltà di Ingegneria di Napoli

lo [occorreva] radicalmente modificare il sistema nei suoi due elementi essenziali: la formazione degli uomini di cultura nelle scuole d'ingegneria e d'architettura, i modi d'esecuzione e di controllo delle opere nei cantieri"[4]. Ma questo progetto di rinnovamento didattico contrastava con l'altra tesi, sostenuta dal preside Luigi Tocchetti, che l'ingegnere edile, per non entrare in competizione con l'architetto, dovesse prevalentemente occuparsi della "parte statica, strutturale, tecnologica, organizzativa, economica, aziendale, produttivistica dei lavori edili in genere"[5].

Il tempo ha però dimostrato quanto lungimiranti fossero le idee di Cosenza: le riforme che si sono succedute negli anni seguenti, infatti, hanno ampliato l'orizzonte culturale dell'ingegnere edile, aumentando il numero dei corsi di progettazione architettonica ed introducendo nuovi insegnamenti di carattere storico-critico. Ancora più, recentemente, inoltre è stato istituito un nuovo corso di laurea in Ingegneria-Architettura, con riconoscimento europeo, che presenta molti aspetti di affinità con quello a suo tempo da lui prefigurato.

Richiamare l'attenzione sulla sua figura di docente non significa però solo rendere giustizia ad una delle più prestigiose personalità della scuola d'ingegneria napoletana, ma anche avere l'opportunità di riscoprire un vasto patrimonio di esperienze didattiche e di ricerca che ancora oggi risulta di grande interesse[6]. In entrambi gli insegnamenti di cui fu titolare -*Composizione Architettonica* e *Progetti Edili*, impartiti ne-

gli ultimi anni del corso di laurea in Ingegneria Civile Edile- Cosenza alternava le lezioni alle esercitazioni in laboratorio, invitando gli allievi a collaborare ai progetti che in quegli anni stava sviluppando per la facoltà: la nuova sede di piazzale Tecchio, i laboratori di via Claudio e le abitazioni del Quartiere Sperimentale di Torre Ranieri, in collaborazione con il Centro Studi dell'Edilizia. Nell'Istituto di Composizione Architettonica si era costituito, dunque, un vero e proprio atelier di progettazione, nel quale studenti e professori lavoravano con entusiasmo fianco a fianco, sperimentando in cantiere gli esiti delle ricerche teoriche. E non è un caso che il progetto della nuova facoltà di Piazzale Tecchio, un'architettura straordinaria che interpreta nelle forme e nell'articolazione degli spazi l'aspirazione ad un nuovo modo d'intendere l'insegnamento universitario, sia stata concepita proprio in un ambiente così stimolante. Nei corsi di Composizione Architettonica Luigi Cosenza alternava le lezioni teoriche alle proiezioni d'immagini che ne illustravano di volta in volta i contenuti. Delineavano nell'insieme un approccio al progetto d'architettura che nella struttura espositiva, basata sulla classificazione per destinazioni d'uso degli edifici, risultava piuttosto tradizionale, simile a quella adottata nella maggior parte dei manuali della prima metà del secolo.



Fig. 1 - Facciata della Facoltà di Ingegneria di Napoli su Piazzale Tecchio

In realtà, Cosenza interpretava questa traccia in maniera del tutto personale, proponendo per ciascun caso una "metodica analisi critica, fondata sulle esperienze storiche e controllata alla luce delle spiegazioni più controllate del mondo, delle sue origini e mutazioni", che gli consentiva di "spazzare i luoghi comuni dell'empirismo e correggere le deformazioni della tradizione". Era infatti convinto che l'architettura, come ogni altra attività dell'uomo intesa a trasformare la realtà circostante, fosse passata da una "struttura finalistica", tipica del passato, ad una "fase evoluzionistica", propria dell'età moderna. Nella prima la costruzione delle opere più significative – il tempio, il castello – è stata strumentale all'esaltazione del potere spirituale e temporale, nella seconda l'architettura è stata investita del compito di creare l'ambiente più adatto per soddisfare le crescenti aspirazioni dell'uomo a migliori condizioni di vita culturali e materiali. Questa evoluzione ha significato una sostanziale modificazione nel modo di intendere la qualità degli edifici, apprezzati non solo per il loro aspetto esteriore, ma anche per la capacità di indurre più ampi benefici economici e sociali.

In tal senso, nelle lezioni di Cosenza erano evidenziate soprattutto le qualità "relazionali" degli edifici, le loro capacità di stabilire rapporti significativi con il contesto paesistico, culturale, sociale ed economico cui appartengono: "L'opera di architettura è dunque una successione di spazi articolati in un determinato ambiente, capaci di fare da contenitori alle funzioni che sono stati chiamati ad assolvere, realizzati con le tecnologie più adatte a quelle rappresentazioni, in senso estetico, economico e compositivo, concepiti come unità di espressione creativa nell'ambiente storico, sociale, paesistico e culturale […] Il metodo più adatto ad una progettazione razionale e coerente consiste in una successione di impulsi creativi alternati a processi critici attraverso i vari momenti della distribuzione, della tecnologia, della composizione, ciascuno ispirazione e controllo critico dell'altro, in un processo dialettico inteso a considerare la progettazione come espressione del proprio mondo interiore nel quadro più vasto del patrimonio di esperienze di una determinata società in un dato luogo ed in un dato momento storico".

La prima parte del Corso affrontava il tema dell'edificio d'abitazione, l'elemento più caratterizzante in termini quantitativi e qualitativi l'immagine della città moderna ed il più congeniale, dal punto di vista didattico, ad introdurre gli allievi ai principi della composizione architettonica partendo dalle relazioni tra l'uso degli spazi e la loro forma: "Nel caso dell'abitazione, [infatti] l'analisi dello spazio, cioè del particolare costituente dell'architettura, consiste principalmente in una analisi del modo di vivere in uno spazio, del modo di configurarlo allo scopo di svolgervi determinate attività […] Lo schema più completo di casa dell'uomo è quello capace di mettere a disposizione dell'abitazione tutti gli spazi necessari alle

reali funzioni della vita familiare: gli spazi esterni illimitati e limitati, gli spazi aperti, scoperti e coperti, gli spazi chiusi scoperti e coperti […]. Si può osservare come una abitazione compiuta, nella quale all'uomo è consentita la libera espressione dei più vari modi di vivere suoi e della sua famiglia, richiede la disponibilità di tutti quanti i sei spazi sopra elencati.".

Lo studio della casa – cui Cosenza dedicherà nel 1974 la poderosa pubblicazione *Storia dell'abitazione*[7] – era affrontato nelle lezioni da più punti di vista ed in maniera esaustiva: delineato il tema nei suoi aspetti storici e sociali, se ne illustravano gli elementi costitutivi, l'articolazione degli spazi, interni ed esterni, le diverse soluzioni tipologiche, raffrontando i più significativi esempi italiani ed esteri.

Per la sua rilevanza sociale, una particolare attenzione era poi rivolta all'esperienza dell'edilizia sovvenzionata, facendo riferimento ai quartieri realizzati a Napoli nell'ultimo dopoguerra. Su questo tema Cosenza ed i collaboratori dell'Istituto di Architettura avevano svolto una approfondita ricerca valutando i progetti realizzati prendendo in considerazione alcuni aspetti (spazi interni ed esterni, distribuzione, dimensioni, re-

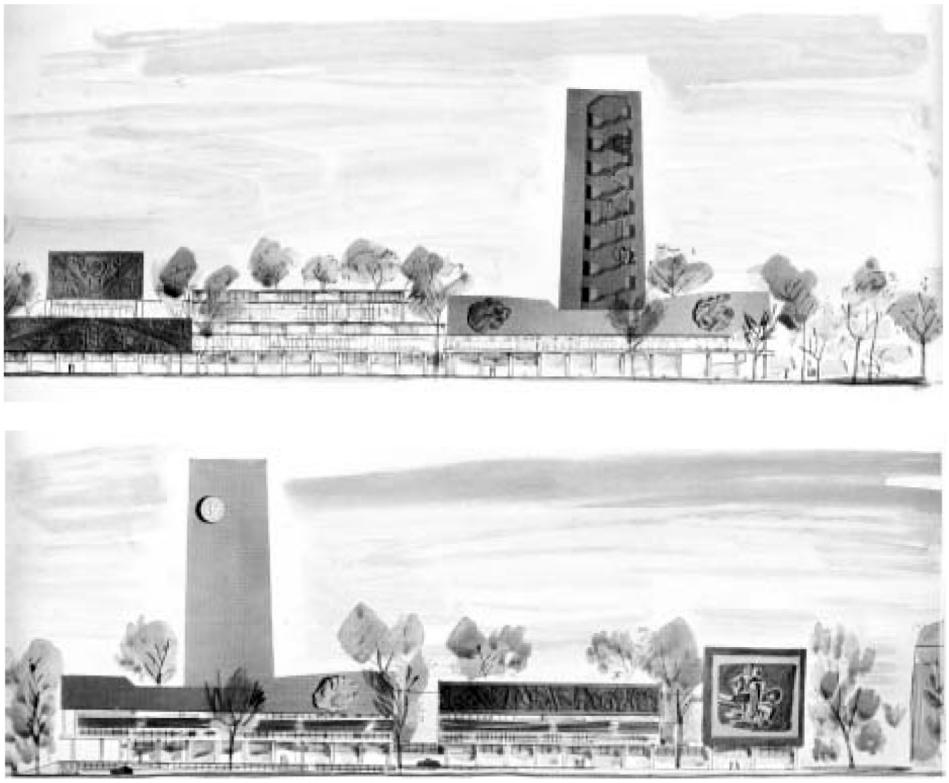


Fig. 3 - Schizzi di studio per i fronti laterali della Facoltà di Ingegneria di Napoli

lazioni con il contesto, tecnologie, ecc.) che nel loro insieme definivano una rinnovata qualità per la moderna architettura residenziale.

Proprio l'originalità dei contributi e la ricchezza dei punti di vista assunti nelle lezioni sull'abitazione dimostra quanto lontano fosse l'approccio di Cosenza dal banale funzionalismo: se è vero, infatti, che egli ha sempre coltivato un vivo interesse per gli aspetti tecnologici, funzionali e distributivi della progettazione architettonica, alla ricerca di soluzioni tipiche e condivise, d'altro canto poneva grande attenzione ai legami che ciascuna architettura stabilisce con il proprio contesto, richiamando l'attenzione degli allievi proprio su questo aspetto: "Una casa popolare – sosteneva – non può essere realizzata al di fuori del suo ambiente storico, la distribuzione degli elementi della sua pianta al di fuori dell'ambiente sociale, i suoi caratteri compositivi al di fuori del preesistente ambiente paesistico e culturale". Questa attenzione si esprimeva anche nell'interesse che egli nutriva per l'architettura spontanea mediterranea, dedicando a questo tema alcune lezioni specifiche. Citando l'ami-



Fig. 4 - Aula di Disegno della Facoltà di Ingegneria di Napoli

co Rudofky ed illustrando le immagini di architetture "minori" nel Golfo di Napoli, ne sottolineva gli aspetti di maggiore attualità: lo stretto legame tra le articolazioni volumetriche degli edifici e la natura del terreno, le relazioni tra le soluzioni tecnologiche ed il clima locale, l'economia e la funzionalità delle strutture, l'appropriatezza delle soluzioni distributive, l'omogeneità delle soluzioni compositive e la loro cristallizzazione in forme ricorrenti nel tempo.

Le altre lezioni del corso erano dedicate alle diverse tipologie di edifici di pubblica utilità, un genere tradizionalmente privilegiato nelle facoltà di ingegneria: le scuole e le università, i teatri ed i cinema, gli ospedali, gli alberghi, gli impianti sportivi, i mercati, le chiese, le stazioni, gli uffici, le banche e le borse, le architetture per il commercio. Per ciascuna di esse Cosenza sviluppava una rigorosa analisi critica, inquadrando storicamente il tema, classificando le diverse soluzioni tipologiche in relazione al contesto, urbano o rurale, individuando i mezzi tecnologici ed economici più appropriati, illustrando con proiezioni di diapositive i riferimenti più significativi.



Fig. 5 - Aula del Consiglio della Facoltà di Ingegneria di Napoli

Tra questi esempi erano inclusi anche molti progetti dello stesso Cosenza, scelti in un arco temporale piuttosto ampio, dall'Auditorium di Roma del 1935 alla scuola di S. Vito ad Ercolano del 1955. Progetti che, pur mostrando una notevole eterogeneità linguistica, risultavano utili dal punto di vista didattico per esemplificare un corretto approccio alla composizione e per introdurre alcuni temi "trasversali" rispetto alla più rigida sequenza delle lezioni. Così, ad esempio, lo "Studio di un caffè in un boschetto di Lecci sulla riva del Golfo di Napoli" serviva ad affrontare il progetto del verde; l'edificio della Facoltà di Ingegneria, a sua volta, era esemplificativo di un rinnovato rapporto tra l'architettura, le arti figurative e l'uso del colore.

In questo modo, da un lato l'esposizione dei principi teorici assumeva maggiore chiarezza e concretezza grazie all'esemplificazione degli esempi realizzati, dall'altro le proprie architetture riuscivano a recuperare una dimensione indipendente dalle occasioni che ne avevano determinato la progettazione per acquistare, all'interno del contesto didattico, il valore di tappe significative di una coerente ricerca progettuale.

Nell'ambito del suo corso Cosenza non rinunciava, inoltre, a confrontarsi con gli allievi su questioni di respiro più ampio che ancora oggi appaiono di grande attualità: mi riferisco al richiamo ad una più stretta relazione tra architettura ed istanze della società civile, quale rimedio alle derive formalistiche ed accademiche, alla ricerca di nuove espressioni linguistiche in grado di tradurre compiutamente gli sviluppi della cultura contemporanea, alle relazioni tra innovazione tecnologica e rinnovamento del linguaggio architettonico.

Nella prolusione del secondo anno di corso, ad esempio, egli introduceva una riflessione sull'origine della "bellezza in architettura", sostenendo la sostanziale coincidenza nella "buona architettura" delle qualità formali, razionali ed ideali: "la bellezza degli oggetti sensibili è ciò che piace all'atto della percezione visiva. Consiste infatti in un certo rapporto di proporzioni gradevoli all'occhio, e queste proporzioni sono diverse per ogni oggetto, determinano e concludono le relazioni fra oggetti diversi. Le relazioni tra oggetti diversi sono definite in grandezza e struttura e debbono essere tali da rendere il tutto unitario e compiuto. Ma un oggetto unitario e compiuto soprattutto allorché risponde allo scopo per il quale fu concepito.

Le sue parti debbono essere dunque costituite in modo da essere efficaci per l'uso e per il fine complessivo. Ma la proporzione delle parti fra loro, la loro capacità di appartenere al tutto, il rapporto di esso col suo uso e col suo fine debbono apparire come prodotto della ragione. Le proporzioni vengono dunque percepite dai sensi ma comprese dalla ragione, a mezzo dello spirito. Di conseguenza la bellezza non è un fatto dell'occhio, ma dello spirito. La bellezza, come ha scritto Hobbes, è la qualità di un oggetto capace di farci attendere da esso un bene.

In ogni modo, sia nel senso plastico come in quello spaziale è sempre necessaria la presenza di un'idea chiara, visibile e comprensibile. Caratteristica di questa idea deve essere la sua capacità di collegare tutte le parti in un tutto unico, il quale parta da un fondamento e conduca ad uno scopo, il quale abbia una origine ed una prospettiva. Quanto più chiaramente questa idea viene espressa, tanto più chiaramente appare anche il pensiero determinante"[8].

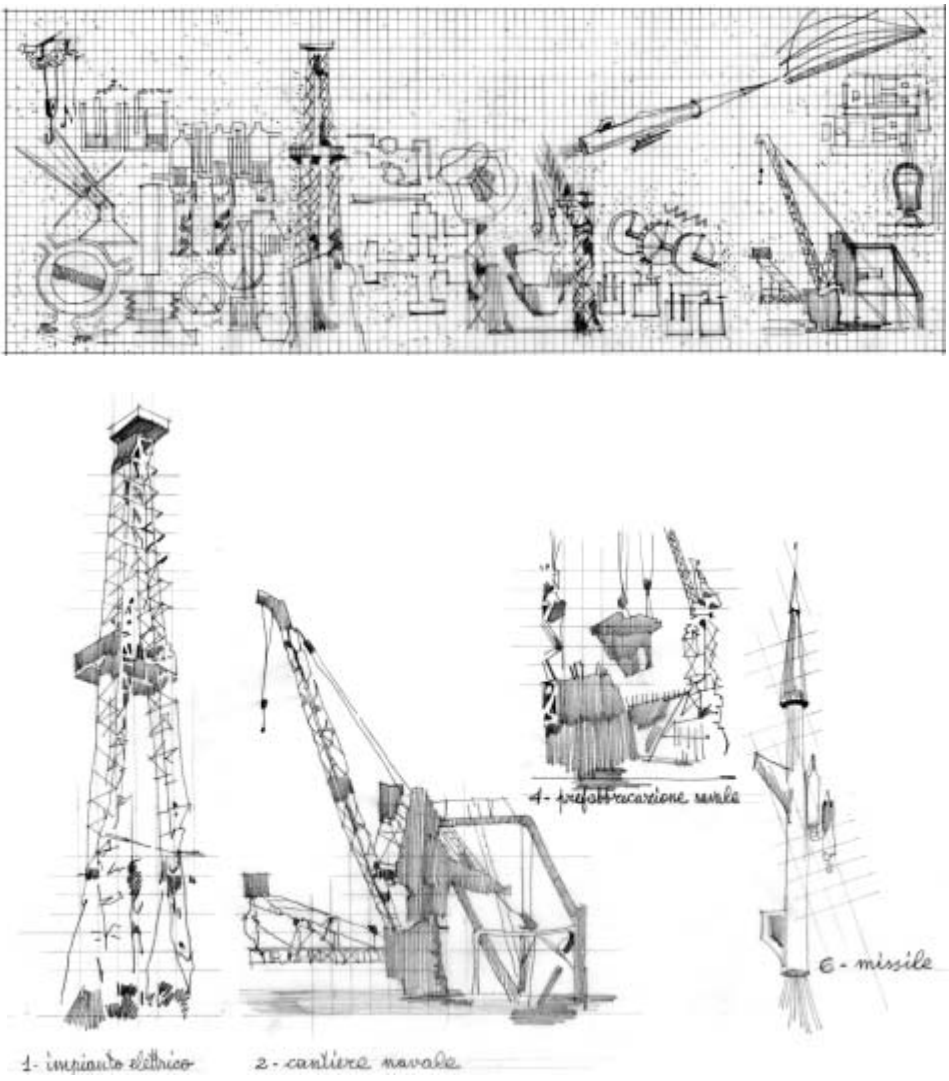


Fig. 6 - Progetto del pannello decorativo sulla parete esterna dell'Aula Magna, Facoltà di Ingegneria di Napoli

[1] Luigi Cosenza è stato Assistente Volontario dal primo novembre del 1945 al 31 ottobre 1949 e poi Professore Incaricato di "Composizione Architettonica" (IV anno) e di "Progetti Edili" (V anno) sino al 31 ottobre 1958. I rapporti con la facoltà dopo le dimissioni del 1958 sono ripresi saltuariamente: nel 1972 tenne un corso libero su "Caratteri interdisciplinari della Composizione Architettonica" e nel 1974 si prospettò la possibilità di bandire un concorso per la sua cattedra, ma nonostante le insistenze del professore Michele Pagano che reclamò in Consiglio di Facoltà un seppur tardivo riconoscimento dell'attività svolta da Cosenza, la cattedra fu sottratta all'insegnamento dell'architettura, come sistematicamente accaduto in passato, ed assegnata a "Tecnica delle Costruzioni".

[2] L. Cosenza, *Luigi Cosenza rifiuta di insegnare nella Facoltà di Ingegneria di Napoli e spiega ai colleghi le ragioni che determinano le sue dimissioni*, «L'architettura. Cronache e storia», n. 41, marzo 1959, p. 724.

[3] L. Cosenza, *Esperienze di architettura*, Napoli, Macchiaroli, 1950, p. 10.

[4] L. Cosenza, *Tre domande su: il lavoro di gruppo in edilizia*, «L'ingegnere», dicembre 1966, pp. 1138-1144.

[5] Tocchetti era convinto della necessità di "dare alla sottosezione stessa un andamento che fosse più consono alla formazione mentale degli ingegneri ed alla loro specifica preparazione. Tutto ciò allo scopo di evitare la formazione di un professionista che potesse presumere di avere e le qualità di un ingegnere e quelle di un architetto. La professione di architetto, attraverso la Facoltà di Architettura, articolata su cinque anni e con programmi specifici ed esclusivi per detta professione, l'esperienza ha provato che ha una chiara fisionomia e che risponde a particolari esigenze. Non altrettanto può dirsi per quanto concerne la preparazione dell'ingegnere edile così come finora essa si è intesa nelle Facoltà di Ingegneria. Occorre invece nettamente distinguere l'ingegnere edile dall'architetto; ciò allo scopo di evitare doppioni e soprattutto delusioni e disagi nell'attività professionale. In particolare per quanto riguarda l'ingegnere edile questi deve pervenire, attraverso la scuola, ad una sua precisa caratterizzazione professionale, autonoma sullo stesso piano di altre specializzazioni a cui la laurea di ingegneria indirizza. Precisamente l'ingegnere edile dovrebbe essere particolarmente preparato ad affrontare e risolvere tutti i problemi relativi della parte statica, strutturale, tecnologica, organizzativa, economica, aziendale, produttivistica dei lavori edili in genere"; Verbale del Consiglio di Facoltà di Ingegneria del 27.07.1959.

[6]Sono molto grato a Giancarlo e Gianni Cosenza per avermi messo a disposizione la documentazione sui Corsi di Composizione Architettonica presente nell'Archivio Cosenza, a questa fanno anche riferimento le citazioni che seguono.

[7] L. Cosenza, *Storia dell'abitazione*, Vangelista, Milano 1974.

[8] Il brano è tratto dalla prolusione del V anno di corso, a sua volta stralciato dal *Wasmuths Lexicon der Baukunst*, tradotto nel 1943 dallo stesso Luigi Cosenza e pubblicato in F.D. Moccia (a cura di), *Luigi Cosenza. Scritti e progetti di architettura*, Napoli, Clean, 1994, pp.143-148.

Francesco Rosa, Edoardo Rovida

Un'esperienza d'insegnamento della storia dell'Ingegneria Meccanica

Introduzione

Presso il Politecnico di Milano, gli studenti di Ingegneria Industriale, a partire dall'anno accademico 2004/05, devono scegliere, all'interno di un pacchetto predeterminato, un corso di cultura scientifica, tecnica ed umanistica [1].

Fra tali corsi, un certo numero riguarda la storia della tecnica e, fra essi, c'è il corso "Storia della Meccanica", le cui lezioni sono tenute da uno degli autori (E. Rovida).

Obiettivi

Le motivazioni per lo studio (e quindi anche per l'insegnamento) della Storia della Meccanica, sono molteplici:

- culturale: la storia dell'ingegneria ed, in generale, della tecnica, è un'indispensabile chiave d'accesso alla storia della tecnica, la quale è una parte non trascurabile della Storia. I beni culturali sono riconducibili a messaggi mandati dagli "abitanti" del passato a noi, "abitanti" di oggi, che, con una decodifica, ricostruiamo il passato. I beni culturali scientifico-tecnici, quindi, sono la chiave di lettura indispensabile per ricostruire la storia della tecnica, dell'economia, del lavoro;
- tecnica: le collezioni di soluzioni costruttive storiche possono essere una base interessante di idee, intuite e poi "dimenticate", magari per mancanza di materiali e di tecnologie adatte. Esse potrebbero essere riprese oggi, in chiave moderna. L'esame critico delle soluzioni costruttive del passato può fornire idee utili anche oggi: infatti, idee non sviluppate in passato potrebbero oggi costituire una base di idee "innovative". Vale la pena, a questo proposito, di soffermarsi sulle affermazioni di alcuni noti personaggi. Cicerone afferma che "Non conoscere quello che c'è stato prima di noi significa restare sempre bambini", mentre Leon Battista Alberti osserva che "si sono conservati esempi di opere dell'antichità, come teatri e templi, da cui, come da insigni maestri, molto si può apprendere". Luca Beltrami suggerisce "Facciamo un poco di economia nei richiami retorici alla grandezza della Patria, alle sue memorie, al suo passato; non risparmiamo, invece, le nostre cure, le nostre forze per custodire e trasmettere gelosamente i testimoni della nostra grandezza". Leonardo "inventa" una bicicletta (Figura 1) molto simile all'attuale con trasmissione a catena, che sarà poi dimenticata, e ripresa solo a fine '800. Secondo alcuni, il disegno non sarebbe di Leonardo: ciò nulla to-

glie alla validità della storia della tecnica come fonte di idee.
Un disegno di Leonardo rappresenta una penna molto simile ad una stilografica di oggi. Sembra, addirittura, che Leonardo l'abbia anche realizzata: studi calligrafici dimostrerebbero che il tratto è continuo e non con le interruzioni necessarie per intingere il pennino nel calamaio. La Figura 2 mostra alcuni schizzi di principio (oggi si definirebbero *concept*) di Vincenza Lancia e di Battista Falchetto che hanno portato alla prima sospensione a ruote indipendenti, montata poi sulla Lancia Lambda (1922). La soluzione sviluppata è la quarta dall'alto della seconda colonna. È interessante constatare come i due progettisti abbiano concepito sospensioni a quadrilatero trasversale (dalla terza in avanti nella prima colonna) che diventeranno di ordinaria amministrazione alcuni decenni più tardi;

- estetica: molte realizzazioni tecniche del passato hanno una grande bellezza, che ne rende l'osservazione un vero piacere. La Figura 3 rappresenta una scatola di compassi del XIX secolo, della quale è evidente la notevole ricerca estetica;-
etica: le realizzazioni tecniche storiche costituiscono spesso esempi di grande abilità e professionalità, che possono essere un utile esempio per i giovani. La Figura 4 rappresenta un compasso di proporzionalità realizzato da Butterfield, meccanico di corte di Luigi XIV;

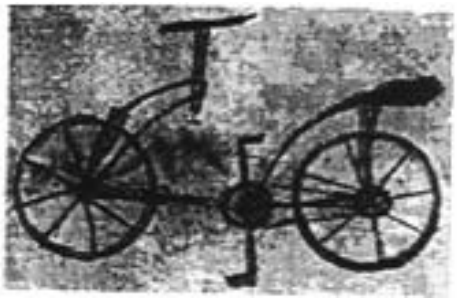


Fig. 1 - La bicicletta di Leonardo, con l'anticipazione della demoltiplica a catena

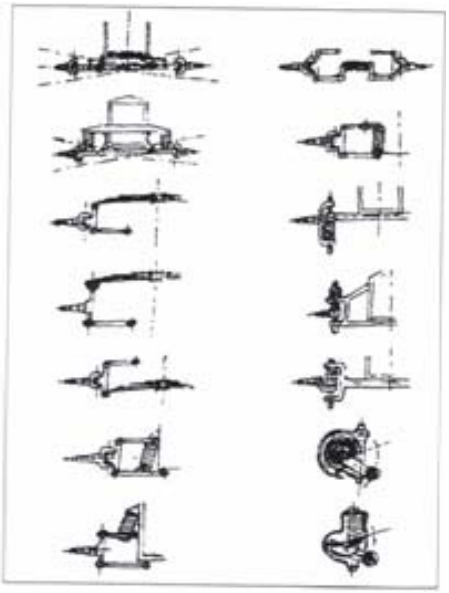


Fig. 2 - Schizzi di Lancia e Falchetto che anticipano alcune soluzioni innovative di sospensioni indipendenti

- formativa: dalla considerazione critica della storia possono derivare apprezzamento per i lati positivi dello sviluppo, considerazione del lavoro che c'è sotto ogni realizzazione, che oggi può sembrare "banale", valutazione corretta dello sviluppo di oggi, che sarà rapidamente superato;

- didattica: le soluzioni costruttive del passato sono, in generale, molto semplici. Il loro esame critico, perciò, consente di scoprire immediatamente i principi che ne stanno alla base.

Considerando le soluzioni costruttive del passato, emergono, infatti, numerosi casi degni di riflessione in ciascuno degli ambiti appena citati.

Metodo

Partendo da queste considerazioni, è stato progettato il corso "Storia della Meccanica", che si propone di indagare l'evoluzione delle idee e delle realizzazioni di questa storica, e sempre verde, branca dell'Ingegneria, con l'obbiettivo di abituare gli Allievi a realizzare evoluzioni storiche di soluzioni costruttive, individuando le tappe fondamentali e, per ciascuna di esse, evidenziando gli aspetti costruttivi, tecnologici e, per quanto possibile, i legami con gli eventi storici e culturali.



Fig. 3 - Scatola di compassi del XIX secolo di grande ricerca estetica

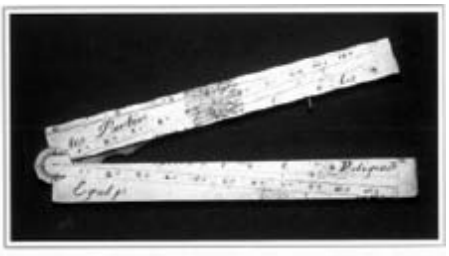


Fig. 4 – Compasso di proporzionalità, realizzato da Butterfield, meccanico di corte di Luigi XIV

Il corso è stato progettato e realizzato applicando le teorie della comunicazione tecnica e seguendo i passi seguenti [2]:

- "Comportamento terminale" (obbiettivi): è espresso dalla quantità di conoscenze che devono essere raggiunte dall'allievo. Tali conoscenze sono, ovviamente, da porre in relazione con il comportamento della persona. Nel caso specifico, il comportamento terminale è stato assunto come: "Conoscere i passi fondamentali delle idee e teorie in ambito meccanico e delle conseguenti realizzazioni, quali, ad esempio, macchine, impianti, strumenti, e mettere, per quanto possibile, tali passi in relazione con gli eventi storico-culturali delle varie epoche".
- Strutturazione della materia: ciascun concetto da trasmettere può essere evidenziato con un procedimento di analisi del comportamento terminale.

  La Figura 5 ne mostra un approccio. I concetti che scaturiscono da tale procedimento di analisi possono, in linea generale, essere ricondotti ai pe-

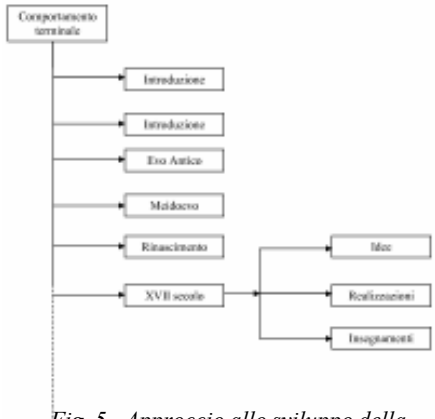


Fig. 5 - Approccio allo sviluppo della strutturazione della materia nel corso

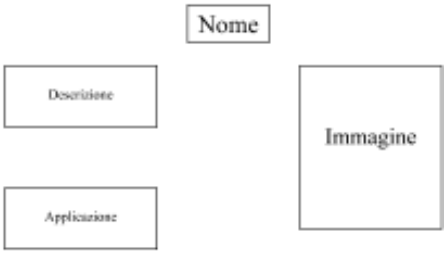


Fig. 6 – Esempio generale di unità didattica

riodi storici classici. Dall'analisi di ciascun periodo, scaturiscono i seguenti concetti componenti: idee, cioè lo sviluppo del pensiero riguardante le teorie meccaniche, le realizzazioni, e cioè macchine, costruzioni, strumenti ottenuti mediante l'applicazione delle teorie, insegnamento, cioè la diffusione istituzionalizzata delle idee.

- Unità didattiche: esse sono riconducibili alla porzione di corso dedicata a ciascun concetto. Esse, in generale, sono costituite da una parte informativa (o regola, RUL), da una parte critica (od esempio, EG) e da una parte applicativa (o esempio incompleto, EG*), riflettendo, in tal modo, le tre sfaccettature del comportamento terminale.

  La Figura 6 mostra uno schema generale e la Figura 7 una applicazione al caso dell'"automobile" di Cugnot.
- Mezzi di comunicazione: essi sono, essenzialmente, lezioni frontali, slide in rete [3], testi consigliati [4], [5], [6] e [7] ed esercizi.
- Esercizi: essi sono basati, essenzialmente, sull'analisi critica dell'evoluzione storica di una data soluzione costruttiva, scelta dagli allievi, che la elaborano individualmente o a piccoli gruppi. Sono indirizzati ad analizzare, in particolare, i seguenti aspetti di ciascuna soluzione individuata: costruttivi (come la soluzione costruttiva svolge la funzione), tecnologici (come la soluzione costruttiva è stata realizzata), storico-culturali (come la soluzione costruttiva si pone in relazione con la vicende storiche e culturali dell'epoca corrispondente). (Figura 8)



Fig. 7 – Una delle unità didattiche dedicate all'automobile di Cugnot

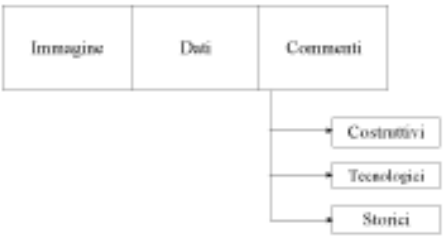


Fig. 8 - Esempio di unità di comunicazione proposta come esempio agli Allievi

Conclusioni

Il corso, quest'anno alla sua seconda edizione, ha permesso di iniziare a costituire una banca di dati riguardanti l'evoluzione storica delle soluzioni costruttive di numerose macchine, arrivando, in taluni casi ad individuare, attraverso accurate ricerche svolte dagli Allievi, informazioni con un certo carattere di originalità.

La grande mole di risultati finora raccolta ed in via di ampliamento inizia a costituire una base di dati di interesse per la progettazione moderna.

Risultati

Gli allievi hanno, con motivazione ed interesse, affrontato gli esercizi proposti, scegliendo le macchine e le realizzazioni di loro interesse e per ciascuna di esse, singolarmente o a piccoli gruppi hanno sviluppato i lavori, realizzando unità di comunicazione del tipo generale indicato in Figura 8.

Le Figure 9, 10 ed 11 ne mostrano alcuni esempi.

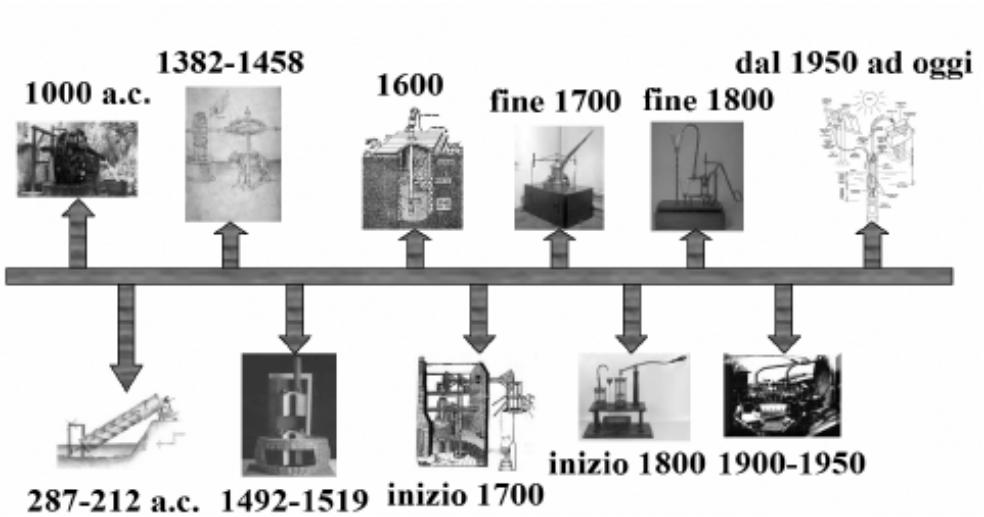


Fig. 9 – Cronologia dell'evoluzione delle pompe

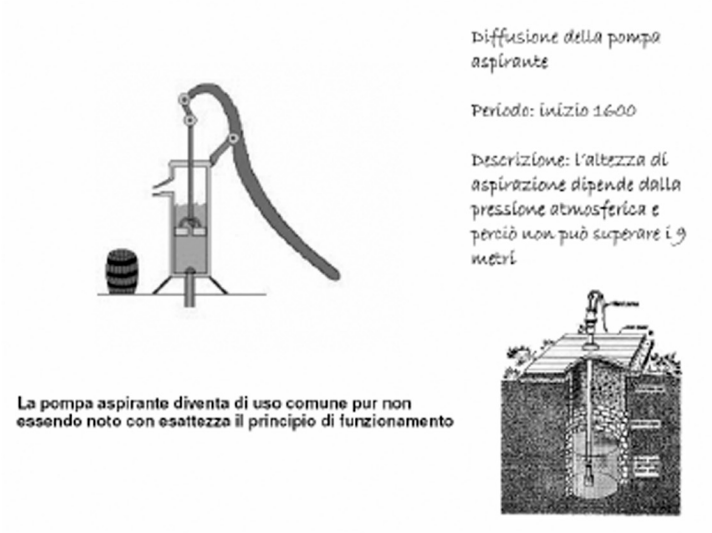


Fig. 10 – Unità didattica dedicata alle pompe

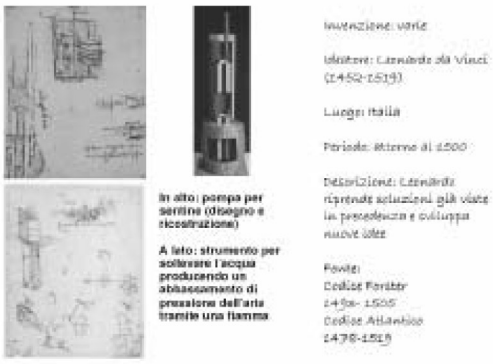


Fig. 11 – Unità didattica dedicata alle pompe

Note bibliografiche

[1] *Insegnamenti di cultura scientifica, tecnica e umanistica*, Politecnico di Milano, A.A. 2005-2006

[2] G.F. Biggioggero, E. Rovida, *Metodi di comunicazione tecnica*, Cittastudi, 1997

[3] http://www.kaemart.it/storia-mecc/bovisa/rovida

[4] C. Singer, *Storia della tecnologia*, Boringheri

[5] AA.VV., *Innovazione e sviluppo a Milano*, Associazione per gli Interessi Metropolitani, 1996

[6] G.F. Biggioggero, S. Calabrò, G. Menzio, E. Rovida, *Il progetto e la memoria*, Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano, 2003

[7] V. Marchis, *Storia delle Macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*, Roma-Bari, Laterza, 1994

Franco Angotti, Mauro Cozzi, Giuseppe Pelosi,
Sergio Reale, Gianfranco Manes

Idee per un corso di 'Storia dell'Ingegneria' presso l'Università di Firenze

Per venire incontro ad una esigenza spesso manifestata, la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze ha istituito sperimentalmente, per l'Anno Accademico 2003-2004, un insegnamento di 'Storia dell'Ingegneria' a supporto di tutti i corsi di laurea della Facoltà.

Nel primo anno di attivazione, tale Corso è stato costituito da un certo numero di conferenze-evento affidate a studiosi che potessro esplorare la materia fornendo idee per costruire al meglio e far evolvere nel futuro i contenuti e i metodi di questa storia speciale, non frequentatissima in Italia. Alle conferenze sono seguite proiezioni di filmati, di video ecc., o in alcuni casi, l'esposizione di elaborati, di modelli e di tutto ciò che, nell'ambito della medesima giornata, poteva eventualmente accompagnare e illustrare il tema scelto per l'incontro. Il Corso, oltre a promuovere e diffondere all'interno della Facoltà un racconto critico sulle origini e sull'evoluzione dell'ingegneria, si è proposto anche come un luogo per un dibattito interdisciplinare su cosa è stato, e di conseguenza, su cosa potrà essere il "progetto di ingegneria" e su come si vengano modificando il ruolo e la mentalità dell'ingegnere.

Per l'Anno Accademico 2003-2004, 'Storia dell'Ingegneria' si è proposto come Corso opzionale di 3 CFU, da collocarsi al terzo anno delle lauree di primo livello o all'inizio delle lauree specialistiche. L'assegnazione dei crediti è avvenuta mediante la certificazione delle presenze ed un colloquio finale.

Il Corso si è svolto per conferenze di tipo monotematico. Le conferenze elencate di seguito, divise in due cicli: il primo dedicato a tematiche generali ed il secondo ad una tematica specifica, cioè a "La nascita dell'ingegneria moderna tra '800 e '900". Per alcune di queste conferenze in cui si è articolato il Corso è riportato in alcuni casi anche un breve sommario.

Conferenze del primo ciclo

Le conferenze del primo ciclo, riguardanti tematiche generali, sono state:

- *Gli artisti-ingegneri del Rinascimento*, Paolo Galluzzi, Università di Firenze ed Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze
- *Il bricolage come paradigma della ricerca*, Vittorio Marchis, Politecnico di Torino.

Conferenze del secondo ciclo

Le conferenze del secondo ciclo, focalizzate su temi più specifici del-

l'evoluzione dell'ingegneria nei secoli più vicini al nostro sono state:
- *La nascita dell'ingegnere elettro-tecnico in Italia ed altrove*, Sigfrido Leschiutta, Politecnico di Torino ed Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris", Torino.

È ben noto il fenomeno della improvvisa nascita e rapida crescita della figura dell'ingegnere elettrotecnico, sia come numero, sia come stato sociale, fenomeno che si osserva, con caratteristiche diverse in talune Nazioni europee, come Belgio, Francia, Germania, Inghilterra, Italia e Russia, tra il 1880 ed il 1914. Numerose cause e stimoli; ne verranno indicati solo alcuni.

Lo sviluppo delle macchine in corrente continua era avvenuto su base largamente empirica, ragionando con buon senso ed usando unicamente, ma con un certo successo, equazioni di scala tra massa, rame, potenza, ecc. La necessaria modellizzazione per gli oggetti con corrente alternata avvenne solo dopo il 1885, per opera di Ferraris e di Steinmetz; tanto è vero che, proprio in quegli anni, si proposero trasformatori con nucleo parzialmente in legno.

In taluni casi, i titolari di industrie elettriche anche affermate mancavano di nozioni generali di fisica, al punto da affermate, implicitamente, dei rendimenti globali superiori ad uno; insegni la lunga polemica sui cosiddetti "generatori secondari", vulgo trasformatori.

Altro caso classico è quello delle trasmissioni ad alta tensione in continua ove vennero progettate e venduti, in Francia, Italia e Svizzera, sistemi basati su una cascata di conversioni meccanico-elettriche, con sino a sei macchine ruotanti in serie.

Per finire, Tesla quasi sbancò i Rotschild negli Stati Uniti, perché sino al 1940 sembra non gli fosse chiaro il concetto di adattamento di impedenza tra più sistemi elettrici in cascata.

Lungo e fondamentalmente stupido sarebbe un elenco dei problemi incontrati, non inutile il constatare che tutti i singoli problemi nascevano da una carenza di formazione di base, complicata dalla esistenza di un iato, che il taluni nazioni europee durò sino al 1920, tra la cultura tecnologica del fare e quella scientifica del sapere.

Naturalmente esistevano le debite eccezioni, ma il generale la situazione non era razionale.

I problemi da risolvere, ma tutti da affrontare in parallelo, erano quattro: il fabbricare in quantità ingegneri per l'industria elettrica, l'approntare rapidamente i docenti necessari, il fornire una "infarinatura" elettrica a tutta una serie di utenti, funzionari pubblici, ferrovieri, militari, a persone che non avrebbero mai praticato professionalmente la Elettrotecnica, ma che per la loro attività avrebbero dovuto conoscerne i rudimenti, dare conoscenze approfondite a determinate classi si utenti.

Il terzo caso era, in particolare, quello dell' Italia, nata come stato unitario dopo il 1870, dalla unione di sette stati con diverse storie tecnologiche; era qui necessario approntare una formazione elettrica, non necessariamente approfon-

dita, ma impartita a centinaia di persone. Nella nota si considererà come queste quattro esigenze siano state soddisfatte in Italia e altrove negli anni attorno i giro del secolo; verranno presentate alcune notizie considerando come esempi: l'Istituto elettrotecnico Montefiore di Liegi, la Fondazione Volta a Milano, l'Istituto tecnico di Karlsruhe, il Regio Museo Industriale di Torino, la scuola di "ingegneri galvanici" del Ministero della Marina di San Pietroburgo.

Nascita e sviluppo delle telecomunicazioni nell'800: un caso canonico di interazione tra scienza, tecnica e società, Ovidio M. Bucci, Università di Napoli "Federico II".

Partendo dall'invenzione del telegrafo elettromagnetico da parte di Morse, vengono esaminati la nascita e lo sviluppo delle telecomunicazioni sino all'inizio della radiotelefonia.

Vengono percorse le principali tappe di tale sviluppo, evidenziandone i tratti caratteristici fondamentali: la stretta interconnessione tra ricerca scientifica, innovazioni tecnologiche e spirito imprenditoriale da un lato, l'impatto sociale e la lotta tra tendenze monopolistiche e libera concorrenza dall'altro.

L'ingegnere civile tra ottocento e novecento, Sergio Poretti, Università di Roma "Tor Vergata".

L'intervento ha voluto ricostruire non un quadro completo, ma un percorso, tra i tanti, all'interno della storia dell'ingegneria civile ed edile. E' un percorso che segue il filo degli sviluppi dell'ingegneria strutturale in rapporto a due fattori: l'evoluzione della meccanica applicata alle costruzioni e l'evoluzione delle tecnologie. Partendo dalle origini della scienza delle costruzioni e in particolare dal problema di Galileo, sono state indagate le ripercussioni dei progressi della meccanica applicate alle costruzioni sulle tecniche costruttive reali e sulle opere strutturali nel '700 e nell'800.

Nel ricostruire la contemporanea evoluzione tecnologica nel campo dei materiali, che vede il passaggio dalla ghisa, al ferro all'acciaio, è stato esaminato il conseguente sviluppo in particolare dei ponti metallici, emblematico nel panorama delle strutture, nel cui progresso verso la conquista di luci sempre maggiori sono stati decisivi quelli che Edoardo Benvenuto chiama "i tre decenni d'oro" (1850-70) durante i quali vengono chiariti i metodi di calcolo per le strutture fortemente iperstatiche, sbloccando di fatto il calcolo degli archi incastrati. Brevemente sono state segnalate anche le altre linee di sviluppo della strutture metalliche, con particolare riferimento agli edifici alti americani e alle prime applicazioni delle tensostrutture nel ponti sospesi di fine Ottocento. Procedendo nel percorso fino all'inizio del Novecento, è stato riconosciuto il rilievo dell'avvento di una nuova tecnica, quella del cemento armato, che soprattutto in Italia ha monopolizzato rapidamente il settore delle grandi strutture facendo passare in secondo piano la costruzione metallica. Si è quindi ricostruita la vicenda delle

pionieristiche esperienze dei primi brevetti e dei primi rudimentali metodi di calcolo che pretendevano di applicare al nuovo materiale, non omogeneo e anisotropo, la teoria dell'elasticità messa a punto per l'acciaio. Quindi, sono state messe a fuoco le principali linee di sviluppo della tecnica che, grazie anche all'aiuto dei modelli al vero e di laboratorio, rapidamente ha conosciuto "mutazioni genetiche" – le volte sottili, la precompressione – in grado di aprire nuovi orizzonti realizzativi. Nell'immediato dopoguerra queste potenzialità del cemento armato sono state abilmente tradotte in sofisticate espressioni strutturali in particolare da due ingegneri italiani, Pier Luigi Nervi e Riccardo Morandi, che hanno portato l'ingegneria delle strutture ai massimi livelli mondiali.

Storia della teoria di meccanismi in relazione all'IFTOMM (Federazione Mondiale di Teoria dei Meccanismi), Marco Ceccarelli, Università di Cassino

Infine è importante ricordare, tra le iniziative che sinergiche al Corso di "Storia dell'Ingegneria", che sono promosse sempre dalla nostra Facoltà, la mostra, organizzata nell'ambito delle manifestazioni degli 80 anni dell'Ateneo fiorentino, "L'avventura della radio". Un viaggio nella storia, scienza e arte delle Telecomunicazioni -"Collezione Patanè" (Salone Brunelleschi, Istituto degli Innocenti, Piazza SS Annunziata 12, Firenze, 4-28 Giugno 2004). La mostra è stata presentata anche negli Atti della Fondazione Ronchi, 60, 1-2, pp. 395416, Gennaio-Aprile 2005.

E-learning

L'innegabile vantaggio di tenere un corso dai temi così ampi e vari nella forma di cicli di conferenze tenuti da eminenti studiosi si scontra però con le difficoltà logistiche legate all'organizzare e coordinare numerosi conferenzieri da ogni parte d'Italia. È quindi auspicabile, per il prossimo futuro, l'organizzazione del corso come conferenze on-line.

Il Centro Servizi Informatici dell'Ateneo Fiorentino (CSIAF) dispone degli strumenti e delle competenze necessarie e presso tale struttura sono già stati sviluppati alcuni corsi on-line.

In particolare si possono prevedere due tipi di lezione, delle vere e proprie conferenze *on-line* e delle videolezioni *off-line*.

Nelle prime è richiesta la presenza contemporanea, anche se non la collocazione, del docente e dei discenti. Il docente viene ripreso da una WebCam e le sue parole registrate da un microfono.

Questi dati, insieme a le slides vengono inviate tramite Internet ai discenti, ciascuno nella propria sede. I discenti possono vedere e ascoltare la conferenza tramite il proprio terminale multimediale e intervenire in tempo reale con domande e richieste di chiarimenti.

Questa soluzione presenta l'indubbio vantaggio dell'interazione in tempo reale fra docenti e discenti ma richiede terminali multimediali e, soprattutto, una larghezza di banda non indiffe-

rente oltre, ovviamente, alla necessità della presenza contemporanea degli interessati. La seconda soluzione prevede invece la registrazione della lezione e la diffusione della registrazione. Quest'ultima può essere visionata offline dai discenti nel momento a loro più conveniente. Insieme a questa maggiore flessibilità nella fruizione della lezione si ha in generale una maggiore qualità della stessa in quanto è sempre possibile rifare una parte della stessa e modificarne il montaggio in modo da renderla più efficace.

Lo svantaggio di questa soluzione risiede però nella mancanza di interattività tra docente e discenti. Questi ultimi non possono richiedere chiarimenti immediatamente ma solo tramite posta elettronica e, ovviamente, solo se il docente è disposto a dedicare del tempo alla risposta di queste e-mail.

Nicola Alberti, Bruno Di Maio

Studi d'ingegneria: dopo quaranta anni il cammino della riforma non è ancora completato

Sommario

Nella relazione della Commissione ministeriale per la revisione degli studi di Ingegneria, presentata al ministero nel febbraio 1987, si sottolineava che "l'aggiornamento dei curricula non è che un aspetto del problema generale del rinnovamento delle Facoltà d'Ingegneria italiane… l'attuale rapidissimo sviluppo scientifico e tecnologico provoca nel mondo della produzione e dei servizi pesanti impegni di carattere tecnico ed organizzativo ai quali occorre dare risposta, se si vuole mantenere una posizione di sufficiente competitività internazionale o almeno rimanere nel novero dei paesi sviluppati".

Oggi non si può che constatare che tale prospettiva lungimirante rimane ancora aperta, nonostante i numerosi provvedimenti legislativi intervenuti successivamente. Nella presente comunicazione si ripercorrono i passaggi salienti del cammino della riforma dell'ordinamento degli studi d'Ingegneria negli ultimi quaranta anni e si indicano alcune linee guida per inserire l'Ingegneria italiana nell'area dell'alta formazione europea (EAHE), prevista dalla dichiarazione di Bologna.

1. *L'ordinamento delle Facoltà rigidità dei curricula, sia pure differenziati per d'Ingegneria dal 1960 al 1980. Corso di laurea.*

La riforma degli studi dovuta ad Agostino Capocaccia (DPR 31.1.1960 n° 53) aveva del principale strumento di formazione del indubbiamente reso più moderni i percorsi formativi introducendo i Corsi di laurea al posto dell'articolazione, ormai largamente superata, tra Ingegneria civile ed Ingegneria industriale con le rispettive sezioni e ridotto numero di insegnamenti disponibili e sottosezioni. Tuttavia risultavano progressivamente condizionanti due aspetti relativi all'assetto generale degli studi universitari e quindi tali da richiedere interventi normativi di livello superiore: il centralismo della gestione didattica, ancora completamente affidata ai Consigli di Facoltà, composti dai soli professori ordinari e la rigidità dei curricula, sia pure differenziati per Corso di Laurea.

Ne conseguiva un funzionamento asmatico del principale strumento di formazione del patrimonio di risorse umane nel settore tecnico - scientifico, bloccato in ingresso dalla imitata portata dell'alveo formativo dei Licei, scarsamente flessibile in itinere a causa del ridotto numero di insegnamenti disponibili e ritardato in uscita dalla obiettiva difficoltà degli studenti a conseguire la laurea nel numero di anni istituzionalmente previsto.

L'ondata di proteste giovanili dette luogo, nel nostro Paese, ad una tipica decisione "all'italiana", come si usa dire. L'accesso all'Università, fino a quel momento consentito ai maturati classici e scientifici, venne esteso a tutti i cittadini in possesso di un diploma ottenuto in una scuola media superiore di durata quinquennale ed inoltre fu consentito agli studenti di "personalizzare" il piano degli studi, previa approvazione dei competenti Consigli di Facoltà (Legge 910/69).

L'estrema semplicità del disposto legislativo, che, per inciso, non comportava alcun incremento delle risorse di docenza a fronte dell'aumento della popolazione studentesca, era in parte giustificata dai limiti temporali della sua validità: "fino alla riforma universitaria" per la liberalizzazione degli accessi, e addirittura "l'anno accademico 1969/70" per la personalizzazione dei piani di studio.

L'anno dopo, puntualmente, anche tale concessione veniva prorogata sino alla riforma di là da venire.

La preconizzata riforma universitaria si andava preparando anche con l'abolizione della libera docenza (1970), sino allora passaggio praticamente obbligato per l'accesso all'insegnamento universitario, con l'eccezione dei Corsi di laurea di nuova istituzione.

Dopo due anni, il pesante carico burocratico connesso con la gestione degli incarichi, costrinse il legislatore ad intervenire nuovamente, ancora una volta in termini di emergenza: gli incarichi d'insegnamento in atto furono prorogati a semplice domanda, senza essere più sottoposti a delibera dei Consigli di Facoltà e, successivamente, resi "stabili". Le conseguenze di tali eventi risultarono particolarmente pesanti per la Facoltà di Ingegneria, sollecitata costantemente a seguire l'evoluzione del mondo scientifico e produttivo. Ciascuna sede cercò di far fronte alle esigenze dell'oggi ricorrendo, in modo più o meno spregiudicato, alle pieghe della legislazione vigente, dando luogo ad uno sfrangiamento del panorama nazionale, con il grave rischio di compromettere la stessa figura professionale dell'Ingegnere, sempre percepita come un riferimento culturale di prestigio sul piano internazionale.

Nel 1974 il Collegio dei Presidi delle Facoltà d'Ingegneria decise all'unanimità di:

• Procedere ad un'indagine conoscitiva per verificare le modalità di applicazione della legge sui piano di studio da parte delle singole Facoltà utilizzando, a tale scopo, un questionario preparato dell'Università di Pavia;

• Di predisporre una proposta di modifica dell'ordinamento didattico, previsto dal DPR del 1960.

Per ciò che concerne il secondo punto il Collegio deliberò che la Commissione fosse composta da un rappresentante per ciascuna delle 18 Facoltà d'Ingegneria allora esistenti, inclusi tra questi tre componenti del Collegio dei Presidi, ivi compreso il Presidente del Collegio prof. A. Ruberti.

La commissione iniziò i lavori nel febbraio del 1974 e li concluse a novem-

bre dello stesso anno; la relazione conclusive è del gennaio 1975. Nel corso dell'anno furono tenute diverse riunioni di settore allo scopo di commentare e avanzare proposte alla Commissione, mentre i contatti con le Facoltà erano assicurati dai singoli Commissari.

La Commissione escluse sin dall'inizio di occuparsi dei livelli di laurea, ritenendo che l'argomento fosse di interesse di tutte le Facoltà e non solo di quella d'Ingegneria. L'attenzione si concentrò sin dall'inizio sull'individuazione dei corsi di laurea ritenuti per quell'epoca indispensabili, sull'eliminazione della divisione tra biennio e triennio e sulla revisione degli insegnamenti di base, tra i quali fu proposta l'introduzione di alcune discipline di carattere economico; si propose inoltre di fare riferimento nei curricula non più le singole discipline ma a discipline appartenenti a gruppi omogenei, in linea con l'orientamento espresso in vasti ambienti universitari ed in accordo con la soluzione adottata nell'ultimo concorso a cattedre. La Commissione sottolineò soprattutto l'esigenza per le Facoltà d'Ingegneria di poter adeguare tempestivamente i propri curricula ai progressi della scienza e della tecnica, considerato che il ricorso al meccanismo delle modifiche di statuto o all'utilizzazione della legge sui piani di studio si erano rivelate lente o non razionali.

Si convenne infine di formulare alla fine dei lavori una proposta di decreto, sotto forma di legge quadro, nel quale fossero previste esplicitamente le modalità di aggiornamento. Di tale iniziativa fu informato il ministero e furono contatati funzionari ministeriali per avere pareri sulla struttura del decreto.

Largo dibattito fu dedicato al tema dei corsi di laurea. Si iniziò osservando che i corsi di laurea possono essere individuati per settore di intervento (ad esempio il quadrifoglio delle professioni americane: civile, chimico, elettrico e meccanico), ma anche utilizzando due parametri: settore d'intervento e tipo di intervento (e cioè progettazione, esecuzione ed esercizio-gestione).

Alla fine del dibattito furono formulate tre proposte ed ottenne il maggior numero di consensi la proposta seguente, che prevedeva quattro corsi di laurea divisi in sezioni e precisamente

• Civile, comprendente le sezioni: *edile Idraulica, trasporti, ambiente e territorio, mineraria*

• Chimica, *orientamento costruttivo ed orientamento gestionale*

• Elettrica, comprendente le sezioni: *elettrotecnica, elettronica, informatica sistemistica*

• Meccanica, comprendente le sezioni: *generale, aeronautica, navale, nucleare*

In tutte e tre le proposte sottoposte a votazione, tra l'altro poco differenti tra loro, compaiono per la prima volta i due corsi di laurea in *Ambiente e Territorio* e in *Informatica e Sistemistica*, in quanto la Commissione ritenne unanimemente non più procrastinabili le esigenze manifestate da settori dell'ingegneria civile e dai docenti di automatica e informatica. Si decise invece di rinviare al dibattito nelle facoltà l'introduzione di

un corso di laurea in *Ingegneria della Produzione* o *delle Tecnologie industriali* e, in pratica si rinviò alle facoltà pure la proposta di un corso in *Ingegneria dei materiali*, anche perché non si riuscì a individuare a quale settore tale laurea dovesse afferire; si dedicò infine una certa attenzione alla proposta di una *Ingegneria edile* separata dall'ingegneria civile, in vista della soluzione che andava prospettandosi in ambito CEE per la professione di "Ingegnere – Architetto", e si ebbe notizia di proposte di corsi di laurea in Ingegneria delle Strutture, Ingegneria delle Telecomunicazioni e di una Ingegneria fisico-tecnica.

Va ricordato infine il largo dibattito fu dedicato alla sezione ingegneria delle Tecnologie industriali del corso di laurea in ingegneria meccanica, antesignano del corso di laurea in ingegneria gestionale, cui si è accennato in precedenza. Il dibattito vide contrapposte due idee, del resto non nuove, e cioè se dovesse prevalere nella gestione e organizzazione di un sistema complesso, quale è un sistema produttivo, la conoscenza di argomenti di teoria dei sistemi rispetto ai temi tipicamente tecnologici, e in particolare meccanici, dei singoli processi. La relazione finale fu consegnata al collegio di Presidi, nel gennaio del 1976, ma di essa non si ebbe più notizia, anche perché le Facoltà attendevano e premevano per una riforma dell'Università e temevano che qualunque iniziativa, anche parziale, potesse pregiudicare la tanto attesa "Riforma" o interferire con essa.

2. *L'ordinamento delle Facoltà d'Ingegneria dal 1980 al 2000.*

In tale situazione si venne a collocare il serio tentativo di riforma universitaria (legge 28 e decreto attuativo 382 del 1980).

In estrema sintesi, il provvedimento introduceva le seguenti innovazioni:

Governo dell'Università: Istituzione del Consiglio Universitario Nazionale, eletto da tutte le categorie universitarie, compresi gli studenti.

Docenza: Istituzione del ruolo dei professori associati. Riapertura dei concorsi liberi a scadenza biennale per ordinari ed associati, con programmazione nazionale. Giudizi di idoneità ad associato per gli stabilizzati e gli assistenti del ruolo ad esaurimento. Istituzione del ruolo dei Ricercatori.

Canale di alta formazione: Dottorato di ricerca.

Sperimentazione organizzativa: Commissioni di Ateneo, Dipartimenti, Centri Interdipartimentali

Sperimentazione didattica: Consigli di Corso di Laurea, Scuole dirette a fini speciali.

In sostanza, l'Università veniva chiamata ad autoriformarsi e, ci duole dire a cose fatte, non si dimostrò all'altezza della situazione. Tenuto conto dei vincoli posti dal tessuto dello stesso DPR, l'Università fu impegnata per diversi anni nel complesso e travagliato riordino della docenza, in particolare con le tre tornate di giudizi di idoneità a Professore associato, mentre i frutti della sperimen-tazione organizzativa e didattica tardavano a maturare.

In particolare, per la Facoltà di Ingegneria, la sperimentazione organizzativa si ridusse praticamente alla trasformazione in Dipartimenti degli Istituti che avevano già le dimensioni richieste dai criteri fissati dal CUN, mentre la sperimentazione didattica si limitò all'istituzione dei Consigli di Corso di Laurea, senza riuscire ad affrontare, neppure marginalmente, il problema della rigidità dei curricula che continuava a rimanere un ostacolo molto grave all'efficacia della formazione.

Superato, almeno nominalmente, lo scoglio della riforma ed avviati i primi giudizi di idoneità, le Facoltà d'Ingegneria tornano a premere per modernizzare il loro ordinamento.

Tra il 1984 e il 1985 si svolgono diversi convegni e riunioni organizzati dal Consiglio Nazionale degli Ingegneri, dal Comitato Ingegneria del CUN ed anche dal Politecnico di Milano, mentre il Ministro sollecita il CUN a studiare la possibilità della introduzione in Italia di un titolo di primo livello.

Vanno ricordati tra gli altri il Convegno *l'Ingegnere per il duemila*, che si svolse a Milano, organizzato da quel Politecnico, presso le Stelline, al quale parteciparono anche alcuni economisti dell'Università Bocconi, professori di informatica ed anche di altre discipline non ingegneristiche. Dopo quel convegno risultò evidente che i curricula di tutti i corsi di laurea della Facoltà d'Ingegneria andavano integrati con discipline appartenenti ad altri settori disciplinari quali quelli dell'economia, dell'informatica, della statistica ed auspicabilmente anche con discipline appartenenti ai settori delle scienze umane e giuridiche.

Sulla base dei risultati di tali Convegni e di un documento del Collegio dei Presidi delle Facoltà d'Ingegneria, il Comitato Ingegneria del CUN, integrato da componenti del Comitato Scienze ed Economia, elaborò una prima *ipotesi di ristrutturazione* dei corsi di laurea di Ingegneria, che, in accordo con l'invito rivolto al CUN in più occasioni dal Ministro, prevedeva due titoli in serie.

Il progetto, elaborato dal prof. Guglielmo Benfratello, a quel tempo membro del CUN, prevedeva un primo ciclo di quattro anni in una delle cinque sezioni previste (civile, meccanica, chimica, elettrica, dell'informazione), seguito da un secondo titolo, conseguibile in due anni in uno dei venti corsi di laurea ipotizzati (sei per le sezioni civile e meccanica, tre per le sezioni chimica ed elettrica, due per quella dell'informazione).

La proposta Benfratello era un'ottima ipotesi di partenza, certamente migliorabile, e in ogni caso da definire compiutamente in alcuni punti nel corso del confronto con i corsi di laurea e le Facoltà. Inspiegabilmente però, nel corso di un Convegno svoltosi nei pressi di Milano nell'autunno del 1985, il progetto fu seccamente bocciato. Le ragioni non furono del tutto chiare, ma certamente influirono su tale inaspettata conclusione il fatto che le quattro sezioni abilitate a rilasciare il titolo di primo livello acquistavano un certa prevalenza rispetto agli altri corsi di laurea. Inoltre

si manifestava una certa diffidenza rispetto ai titoli di primo livello, di cui, secondo molti colleghi, non si sentiva l'esigenza.

Malgrado ciò, sotto la spinta del Collegio dei Presidi, l'anno seguente il Ministero riprese la strada di coinvolgere il mondo accademico dell'Ingegneria nella ricerca di un
nuovo assetto, istituendo una Commissione con lo scopo di proporre una modifica dell'ordinamento

La Commissione, guidata dal Prof. Nicola Alberti, allora Presidente del Collegio dei Presidi delle Facoltà d'Ingegneria, produsse una circostanziata relazione, accompagnata da una proposta di revisione della "Tabella XXIX", relativa all'ordinamento degli studi della Facoltà. Nella relazione si aveva cura di sottolineare, tra l'altro, che «l'aggiornamento dei curricula non è che un aspetto del problema generale del rinnovamento delle Facoltà d'Ingegneria italiane…. L'attuale rapidissimo sviluppo scientifico e tecnologico provoca nel mondo della produzione e dei servizi pesanti impegni di carattere tecnico ed organizzativo ai quali occorre dare risposta, se si vuole mantenere una posizione di sufficiente competitività internazionale o almeno rimanere nel novero dei paesi sviluppati».

Il Ministero trasmise i risultati della Commissione Alberti ad una nuova Commissione presieduta dal Rettore del Politecnico di Torino, Prof. Rodolfo Zich. Tale seconda commissione redasse la versione finale della Tabella XXIX, divenuta poi legge nel 1989, recependo sostanzialmente i risultati raggiunti dalla Commissione precedente, che si possono così riassumere:

Raggruppamento dei corsi di laurea in tre settori corrispondenti a vasti ambiti tecnico-culturali e professionali).

Introduzione delle unità didattiche a struttura semplice o integrata, caratterizzate da contenuti individuati in base a raggruppamenti concorsuali e non vincolati a specifiche discipline.

Dinamica dell'attivazione-disattivazione delle sezioni e dei corsi di laurea, per rispondere con prontezza alle richieste del mercato del lavoro.

Purtroppo, nonostante l'impegno profuso dalle due Commissioni, il nuovo assetto degli studi di Ingegneria non sortì pienamente l'effetto sperato, a causa della mancata articolazione dei livelli di laurea, divenuta nel frattempo ineludibile.

Infatti, proprio nel 1988, nel pieno dell'elaborazione che abbiamo ora ricordato, la CEE approvava la Direttiva che riconosceva, sul piano professionale, l'equivalenza dei titoli di Ingegnere rilasciati dagli Stati membri dopo un curriculum universitario di tre anni[1] .

Sarebbe interessante entrare nel merito della vicenda che ha portato la CEE a raggiungere l'accordo sul livello triennale di laurea anziché su quello quinquennale, pure largamente presente in Europa, ma la questione esula dagli scopi del presente lavoro. Il mondo universitario italiano, che credeva di aver fronteggiato il problema con l'introduzione delle Scuole a fini speciali (DPR 382/80) si trovò davanti alla ne-

cessità di approntare un titolo universitario di primo livello in tempi brevissimi, pena la perdita del "passo" europeo.

La soluzione, consistente nell'introdurre i diplomi universitari triennali, in parallelo con le lauree, attuata con la legge 341/90, si rivelò quanto mai infelice, perché squalificata sul piano socio -culturale. Ad onor del vero, oltre ad alcuni saggi monografici[2] [3] ed oltre al progetto Benfratello, la citata relazione Alberti dedicava un esteso passaggio all'introduzione del primo livello di laurea e la Commissione Zich aveva addirittura fornito al Ministro uno studio di "scenario" sul titolo di primo livello, comprendente un piano decennale di sviluppo dell'assetto degli studi di Ingegneria, completo della previsione di risorse finanziarie richieste dalle diverse varianti del piano stesso.

Inspiegabilmente, tale pregevole documento rimase lettera morta e non riuscì neppure ad evitare che alcune Facoltà di Ingegneria, in seguito ad una speciosa interpretazione della legge 341, rendesse il cammino dei diplomi addirittura impervio attraverso l'introduzione del numero chiuso, non previsto per l'ordinaria laurea quinquennale.

Nel frattempo il fronte dell'alta formazione europea aveva proseguito il proprio movimento, nella previsione che il processo di unificazione esigesse una contemporanea convergenza dei sistemi formativi.

3. *Sviluppi conseguenti alla dichiarazione di Bologna.*

Nel 1999, i Ministri dell'Università di Francia, Germania, Gran Bretagna ed Italia sottoscrivono la "Dichiarazione della Sorbona", estesa a trentuno Stati con la "Dichiarazione di Bologna" nell'anno successivo.

In estrema sintesi, la Dichiarazione di Bologna, oltre al sistema dei due titoli in serie prevede il Diploma supplement, come strumento di leggibilità e confrontabilità dei titoli, e la definizione di criteri e metodologie confrontabili per la garanzia della qualità (Quality Assurance). I Ministri dell'Istruzione superiore avevano chiaramente inteso sgombrare il campo da ipotesi di "patente europea" fondata sulla sola struttura dei Corsi di studio, per concordare sulla necessità che l'equivalenza dei titoli conseguiti nei Paesi membri fosse accertata in modo chiaro attraverso procedure condivise e trasparenti. Peraltro la natura del "Diploma supplement" rimaneva non definita, lasciando anche adito all'ipotesi che si trattasse di un terzo titolo.

Con un'improvvisa accelerazione, nel 1999 il Parlamento italiano approvava il cosiddetto sistema "3 + 2" che imponeva a tutte le Facoltà (tranne Medicina ed Architettura) di fornire un primo corso triennale, concluso dalla "Laurea ", seguito da un corso biennale, concluso dalla "Laurea specialistica. ". E' opportuno qualche commento al riguardo. Intanto si osserva che in nessun Paese al mondo il titolo di primo livello viene chiamato "Laurea". Tale scelta non può non avere profonde conseguenze a livello sociale in Italia, specialmente per la Facoltà di Ingegneria. Abbia-

mo già ricordato che in Italia il titolo di Ingegnere ha una notevole valenza socio-culturale, a differenza dei Paesi anglosassoni, dove indica prevalentemente una specificazione professionale. Tale atteggiamento è abbastanza radicato anche nel mondo imprenditoriale, sempre scettico nei riguardi degli aspetti culturali della formazione dei dipendenti, ma in fondo tradizionalmente sensibile a modelli "dottorali", almeno nella forma.

Da qui è probabilmente discesa la tendenza delle Facoltà di Ingegneria ad applicare la legge del 1999 disegnando la struttura dei Corsi di primo livello in modo tale da renderli equivalenti, od almeno somiglianti, ai vecchi Corsi di laurea quinquennali, attraverso un'inevitabile compressione dei contenuti.

Venivano così compromessi alcuni obiettivi qualificanti del nuovo ordinamento, cioè l'osmosi tra il mondo accademico e quello del lavoro e l'eliminazione, almeno in prospettiva, del divario tra la durata ufficiale e quella effettiva degli studi universitari[4].

Un ultimo argomento di notevole rilievo riguarda la cultura della qualità.

La Dichiarazione di Bologna si concludeva con l'intesa di tenere nuove riunioni a livello ministeriale per verificare il cammino percorso e guidare gli ulteriori passi. Negli ambienti accademici si parla di "Processo di Bologna".

Dopo una prima riunione interlocutoria svoltasi a Praga nel 2001, i Ministri hanno tenuto un nuovo Convegno a Berlino nel 2003. Il documento conclusivo, piuttosto articolato, fornisce un attendibile scenario della volontà politica europea nel campo dell'alta formazione e chiarisce alcuni aspetti della Dichiarazione di Bologna rimasti in ombra.

L'aspetto saliente del documento riguarda, a nostro avviso, una nuova definizione delle priorità: che vengono riformulate in quest'ordine: I) Garanzia della qualità. II) Adozione sel sistema a due livelli. III) Promozione della mobilità. IV) Consolidamento del sistema dei crediti ECTS.
V) Riconoscimento dei titoli anche attraverso il "Diploma Supplement". VI) Promozione della dimensione europea[5].

Non si tratta evidentemente di un cambiamento di politica ma di strategia. Si esprime autorevolmente la posizione che l'impegno per garantire la qualità costituisca la vera premessa al riconoscimento dei titoli, insieme con la struttura unificata del sistema formativo.

Nel frattempo, i risultati dell'attività della Rete tematica E4, promossa in ambito Erasmus dalla SEFI (Società Europea per la Formazione degli Ingegneri) conducevano a definire il "Diploma supplement" non come una nuova forma di titolo, ma come un documento annesso ai Diplomi ed attestante i contenuti del curriculum seguito dal laureato[6]. Riprendendo l'analisi della situazione italiana, oltre all'introduzione immediata e generalizzata dei due livelli di laurea, è da rilevare un spostamento di ottica a proposito della qualità. Infatti, nella versione italiana dei documenti relativi al Processo di Bologna, l'espres-

sione: "Quality Assurance" viene tradotta con "Valutazione della qualità", che corrisponde invece a "Quality Assessment" la quale, a sua volta, è un presupposto della "Quality Assurance", ma non coincide con essa.

Non sembra trattarsi di una pura questione terminologica. Infatti, si designa con "Quality Assurance "un sistema di procedure inteso a garantire la qualità di un prodotto, mentre "Quality Assessment" definisce l'accertamento della qualità come confronto tra il garantito e l'ottenuto[7]. In particolare, le procedure di "Quality Assurance" possono anche essere stabilite dal produttore, sotto la propria responsabilità, mentre la "Quality Assessment" di norma deve essere condotta da Agenzie terze, anche a partire da rapporti di autovalutazione del produttore da certificare.

Per quanto riguarda l'Ingegneria, esistono in Europa da tempo diverse Agenzie di valutazione accreditate, come l'ABET ed inoltre alcuni Paesi, come l'Olanda, si sono dotati di un sistema completo di "Quality Assurance".

L'orientamento specifico assunto dai Ministri europei dell'Istruzione riguarda proprio l'armonizzazione delle procedure di "Quality Assurance" nell'ambito dell'Unione. Nella riunione di Berlino, in cui si è ridefinita la priorità degli obiettivi mettendo al primo posto la QA, essi decisero di affidare all'ENQA (European Network for Quality Assurance) la redazione di un documento guida, che è stato effettivamente presentato poi nella riunione di Bergen (2005) ed assunto come base per il successivo lavoro nel campo.

La posizione dell'Italia appare sinora piuttosto defilata rispetto a tali prospettive. E' noto che il Ministero ha istituito un Comitato nazionale per la valutazione del sistema universitario (CNVSU), al quale si appoggia in modo esclusivo per quanto riguarda problemi della qualità, e non sempre in modo coerente e condivisibile.

Ad esempio, il piano di programmazione nazionale varato nel 2005 utilizza in maniera riduttiva le conclusioni di alcuni studi del CNVSU sui requisiti minimi ai quali devono soddisfare le risorse didattiche dei Corsi di studio, limitandosi a prescrivere che possano essere attivati solo quei Corsi di laurea che dimostrino di disporre (sulla carta…), delle risorse minime.

4. *Linee guida suggerite per un efficace inserimento nella prospettiva europea.*

4.1 A nostro avviso, nella formazione dovrebbero essere inseriti spazi e strumenti didattici destinati ad orientare chiaramente gli allievi Ingegneri verso il modello culturale della differenziazione tra Ingegnere junior e Ingegnere senior.

Il titolo di primo livello dovrebbe assicurare la possibilità di inserirsi efficacemente in un team di progettazione, senza pretendere di conferire la capacità di gestione di problemi complessi, come invece è ragionevole pensare per un percorso formativo più esteso e qualificato.

Inoltre, accanto alla disponibilità dei corsi di Master universitario, andrebbe promossa e valorizzata la cultura della formazione permanente, in modo tale da offrire agli ingegneri juniores un ventaglio di occasioni per aggiornare in estensione e profondità le proprie competenze, mantenendo l'opportunità dell'eventuale successivo riconoscimento.

4.2 Sul piano della qualità, l'Italia dovrebbe porsi invece l'obiettivo prioritario di contribuire attivamente ad individuare ed elaborare procedure di armonizzazione dei sistemi di Quality Assurance, che è il vero risultato atteso dal Processo di Bologna. Lo sviluppo dell'Ingegneria italiana ne dipende in larga misura.

Per quanto riguarda la programmazione delle risorse, appare consigliabile invertire l'ordine logico seguito finora, individuando le esigenze nascenti dalla domanda didattica come il numero degli studenti e la loro distribuzione sul territorio per aree disciplinari, incrociandole con i requisiti posti dalla qualità della formazione, tenendo conto degli obiettivi della politica della ricerca scientifica e determinando conseguentemente le caratteristiche del sistema di docenza e di strutture necessarie allo scopo.

La partecipazione dell'Italia alla cooperazione internazionale così delineata, da un lato consentirebbe la valorizzazione degli aspetti più nobili e validi della tradizione accademica italiana e dall'altro offrirebbe nuova e valida motivazione a riavviare un processo di sviluppo dell'Ingegneria italiana come polo culturale e come fattore strategico di promozione sociale.

[1] Direttiva Europea 89/48/EEC.

[2] N. Alberti, B. Di Maio, Guidelines of the incoming reform ofEngineering studies in Italy, Atti Annual SEFI Conference 1985.

[3] G. Augusti, Techinfo – Sud,-SEFI Publication, 1989.

[4] B. Di Maio, Competence Profiles Characterise a new two-step system of Engineering studies in Italy, Atti SEFI annual Conference 2000, Paris

[5] *Realising the European Higher Education Area, Communication of the Conference of Ministers responsible for higher Education in Berlin on 19th September 2003.*

[6] Enhancing Engineering Education in Europe, Final Pubblication of yhe Erasmus Thematic network, Università di Firenze, 2004.

[7] *Enhancing Engineering Education in Europe, Final Pubblication of yhe Erasmus Thematic network, Università di Firenze, 2004.*

Storia dell'Ingegneria

Atti del 1° Convegno Nazionale

Napoli, 8-9 marzo 2006

tomo secondo



CUZZOLIN EDITORE

Storia dell'Ingegneria

Atti del 1° Convegno Nazionale

Napoli, 8-9 marzo 2006

tomo secondo

a cura di

Alfredo Buccaro
Giulio Fabricatore
Lia Maria Papa

Comitato scientifico:

E. Cosenza
Università di Napoli Federico II
S. D'Agostino
Università di Napoli Federico II
F. De Negri
Archivio di Stato di Napoli
G. Galasso
Università di Napoli Federico II
V. Marchis
Politecnico di Torino
G. Marrucci
Università di Napoli Federico II
S. Polese
Consiglio Nazionale degli Ingegneri
A.G. Ricci
Archivio Centrale dello Stato
A. Silvestri
Politecnico di Milano
R. Sirica
Consiglio Nazionale degli Architetti
A. Stella
Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria
M. Torrini
Università di Napoli Federico II

Comitato organizzaore:

A. Buccaro
Università di Napoli Federico II
G. Fabricatore
Università di Napoli Federico II
L.M. Papa
Università di Napoli Federico II
V. Rinaldi
Ordine degli Ingegneri di Napoli e Provincia
L. Verolino
Università di Napoli Federico II
L. Vinci
Ordine degli Ingegneri di Napoli e Provincia

Segreteria scientifica:

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

Facoltà di Ingegneria
Piazzale V. Tecchio, 80
80125 Napoli

Segreteria organizzativa:

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
e-mail: segreteria@ordineingegnerinapoli.it
telefono: 0815514620
fax: 0815512126

via del Chiostro, 9
80134 Napoli

Progetto grafico:

Maria Ines Pascariello

Sostenitori:

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno
Rohde & Schwarz
Napoletana Gas
Banca Nazionale del Lavoro
Associazione Costruttori Edili di Napoli

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

Sommario

Tomo primo

Perché la Storia dell'Ingegneria: necessità, propositi, prospettive
Salvatore D'Agostino 17

Il contributo dell'Ordine Professionale per la Storia dell'Ingegneria
Luigi Vinci 23

STORIA E SCIENZE DELL'INGEGNERIA

La Storia della Scienza e il fondamento del saper fare
Maurizio Torrini 27

Obiettivi di una Storia della Scienza e della Tecnologia con funzioni terapeutiche
Luciano De Menna, Luigi Verolino 33

Matematica e Ingegneria: convergenze parallele
Vincenzo Ferone, Guido Trombetti 39

Per una Teoria e Storia dell'Ingegneria
Vittorio Marchis 49

Ingegneria tra ricerca e innovazione
Luigi Nicolais 59

L'Ingegneria e la Scienza dell'Informazione
Giorgio Franceschetti 67

La Ricerca Operativa e l'ingegneria: passato, presente e futuro
Gennaro Improta 71

Lo sviluppo dei Metodi Integrali:
un possibile paradigma per una Storia dell'Ingegneria
Dario Assante, Luciano De Menna, Luigi Verolino 81

Metodi probabilistici in Ingegneria Civile:
da un concetto all'uso corrente
Giuliano Augusti, Alessandro Baratta, Marcello Ciampoli 89

Geotecnica e Ingegneria Civile
Giovanni Calabresi 101

Storia dell'Ingegneria Marittima in Italia
Leopoldo Franco 109

Il ruolo dell'Informatica nello sviluppo dell'ingegneria
Antonio Mazzeo 123

La Storia della Bioingegneria in Italia. Ieri, oggi, domani…
Marcello Bracale 135

Dalla"Ingegneria + Chimica" all'Ingegneria Chimica
Giuseppe Marrucci 139

Storia della luce e dell'illuminazione
Luciano Di Fraia 147

L'ingegneria e la "scomparsa delle lucciole"
Sergio Poretti 157

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Le fonti dell'Archivio Centrale dello Stato per la Storia dell'Ingegneria
ALDO G. RICCI 169

Problemi di 'ingegneria' in alcuni scritti di medicina medievale
PAOLA CAPONE 185

Il bisogno di filosofia nella formazione dell'ingegnere. Evoluzione storica e risvolti antropologici
MARIA TERESA RUSSO 195

Ingegneri e istituzioni alla fine del XVIII secolo
FAUSTO DE MATTIA, FELICITA DE NEGRI 207

Nascita e tradizione dell'Architettura per gli Ingegneri nella Scuola napoletana di Ponti e Strade
ALFREDO BUCCARO 213

La nascita delle Facoltà di Ingegneria e di Architettura in Italia
ANDREA SILVESTRI 223

La scuola romana degli ingegneri pontifici
ANGELA MARINO 235

Linguaggio e modelli grafici nell'evoluzione delle conoscenze-competenze dell'ingegnere
LIA M. PAPA 243

Architetti e Ingegneri: il restauro dei monumenti nel dibattito ottocentesco sulle riviste tecniche milanesi
SERENA PESENTI 257

L'avvio degli studi di ingegneria in America
VITO CARDONE 267

L'insegnamento dell'Architettura nella Facoltà di Ingegneria di Palermo
ANTONIO COTTONE 279

*Saint-Venant e l'*Art de l'ingénieur. *Un primo studio critico delle* Leçons de mécanique appliquée *(1837-1838)*
Danila Aita, Federico Foce 291

Pio Chicchi e l'insegnamento delle costruzioni metalliche nelle ultime decadi dell'Ottocento
Roberto Gori 303

Storia, curricula studiorum e studenti della Scuola d'applicazione per gli ingegneri e gli architetti dell'Università di Bologna (1877-1899)
Michelangelo L. Giumanini 315

Il viaggio di istruzione del professor Bonacossa nell'Isère, nella Loire e nella Saône-Loire (settembre 1883)
Filippo Nieddu 325

Gli archivi del Politecnico di Milano, fonti per la storia dell'Ingegneria fra Ottocento e Novecento
Raffaella Gobbo 337

La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino: didattica e sperimentazione fra Otto e Novecento
Annalisa Dameri 347

L'insegnamento per ingegneri nell'Università di Pavia
Luiisa Erba 359

Origini e formazione del Politecnico di Torino: dagli esordi alla sua istituzione l'8 luglio 1906
Caterina Mele 369

I primi ingegneri elettrotecnici del Regio Museo Industriale di Torino
Sigfrido Leschiutta 379

La nascita dell'ingegneria elettrica in Europa
Sigfrido Leschiutta 385

Rappresentazione ed analisi di macchine e meccanismi nella trattatistica tecnica dal XV al XVII secolo
MICHELA CIGOLA, MARCO CECCARELLI 395

Il contributo della cultura degli ingegneri alla costruzione del sapere urbanistico in Italia (1905-1946)
GEMMA BELLI 403

Formazione dei tecnici e dibattito sulla tutela della professione: echi della situazione italiana in Austria nei primi anni del '900
FRANCESCA TORELLO 413

La nascita dell'Ordine degli Ingegneri: tutela del titolo ed evoluzione del ruolo (1923-1950)
ADRIANA DI LEO 421

Da Ferraris a Giorgi: la scuola italiana di Elettrotecnica
ADRIANO PAOLO MORANDO 431

Sviluppi della Fisica Tecnica nelle Facoltà di Ingegneria italiane
ENRICO MARIA LATROFA 455

"La composizione dell'architettura": l'insegnamento di Luigi Cosenza nella Facoltà d'Ingegneria di Napoli
FRANCESCO VIOLA 471

Un'esperienza di insegnamento della storia dell'Ingegneria Meccanica
FRANCESCO ROSA, EDOARDO ROVIDA 481

Idee per un corso di 'Storia dell'Ingegneria' presso l'Università di Firenze
FRANCO ANGOTTI, MAURO COZZI, GIUSEPPE PELOSI, SERGIO REALE, GIANFRANCO MANES 487

Studi d'Ingegneria: dopo quaranta anni il cammino della riforma non è ancora completato
NICOLA ALBERTI, BRUNO DI MAIO 493

Tomo secondo

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato
Roberto Gori 523

Evoluzione del calcestruzzo di cemento
da tempi remoti al giorno d'oggi
Riccardo Sersale 533

La Tecnologia dell'Architettura: cronache e storia
Rosalba La Creta 537

I mercati in ferro nel Regno d'Italia: ingegneri a confronto
Carlos Alberto Cacciavillani, Nina Maria Margiotta,
Claudio Mazzanti, Atonia Nardella 547

Bologna e l'innovazione tecnologica tra Otto e Novecento:
note attorno al carteggio Attilio Muggia-François Hennebique
M. Beatrice Bettazzi 557

La continuità storica nell'invenzione tecnologica e teorica
del cemento armato
Antonio Perretti, Aurelio Ghersi, Stefania Di Pietro 565

L'evoluzione dell'Ingegneria Stradale nel corso del XX secolo
Paolo Ferrari 575

L'industrializzazione dell'edilizia tra storia,
sperimentazione e progetto
Gigliola Ausiello 587

La nascita e l'evoluzione dell'industria italiana
della litoceramica e i suoi riflessi nella cultura del costruire
Marika Mangosio 597

L'Ingegneria Idraulica e i modelli: excursus storico
Carlo Montuori 601

La Meccanica Applicata alle Macchine, a Napoli
Lelio Della Pietra 617

L'Ingegneria Stradale:
dalle costruzioni stradali agli approcci sistemici
Raffaele Mauro 635

Alcune considerazioni sulle opere d'arte
e le teorie per la spinta delle terre nelle costruzioni stradali
Anna Villanova 645

L'Ingegneria dei ponti in Italia nel XX secolo
Enzo Siviero, Ilaria Zampini 655

L'International Center of Earthquake Engineering: una tappa
importante dell'Ingegneria Strutturale italiana (1967-1969)
Carla M. Kovsca Colani 663

L'Ingegneria e le costruzioni storiche in Italia. Parte I.
Sicurezza e progetto degli interventi di consolidamento
Chiara Calderini, Sergio Lagomarsino 671

L'Ingegneria e le costruzioni storiche in Italia. Parte II.
Diagnosi e monitoraggio del comportamento strutturale
Chiara Calderini, Sergio Lagomarsino,
Stefano Podestà, Sonia Resemini 681

Nuove tecnologie nautiche: dal vascello alla nave a vapore
Maria Sirago 693

La figura dell'ingegnere industriale
e la sua evoluzione nel tempo
Francesco Rosa, Edoardo Rovida 703

L'Ingegneria del Vento in Italia: dai primi passi alla maturità
Giuliano Augusti, Claudio Borri, Paolo Spinelli 711

Innovare e tutelare in Piemonte nell'800: i privilegi industriali e Carlo Ignazio Giulio
LUISA DOLZA 721

Una breve rassegna sugli automi: la meccanica che ha preceduto i robot
CESARE ROSSI 737

Cenni di telegrafia senza elettricità
SANDRA MARINI, GIUSEPPE PELOSI, STEFANO SELLERI 751

La distribuzione dell'energia elettrica: nascita, affermazione e contributi italiani
MASSIMO GUARNIERI 761

Contributo della Facoltà di Ingegneria di Napoli allo sviluppo e all'utilizzazione di laser di potenza
SALVATORE SOLIMENO 771

L'evoluzione aerodinamica delle vetture di Formula Uno
PAOLO PINTO 779

Storia del rientro atmosferico da missioni spaziali
RODOLFO MONTI, GIUSEPPE DE CHIARA 789

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Un ingegnere Romano di epoca tardorepubblicana: Lucio Cocceio Aucto
CARLO VIGGIANI 807

Sulla termotecnica in epoca romana
FRANCESCA R. D'AMBROSIO, ANTONELLO CHIDICHIMO, FERDINANDO SORRENTINO 819

L'acustica degli auditorî: arte, scienza o mito?
I tempi dei teatri greci e romani
Carmine Ianniello 833

Breve excursus storico delle officine vetrarie
Francesco Branda 843

De Aquaeductu Urbis Romae *di Sesto Giulio Frontino*
Pasquale Argenziano 853

Sulla resistenza strutturale degli antichi ponti
Marcello Fulgione 861

Storie di ponti
Mario Manganaro 873

Francesco De Marchi, ingegnere-trattatista del Rinascimento
Ciro Robotti 883

Notizie sulla storia dell'ingegneria napoletana
tra Cinque e Seicento
Franco Strazzullo 893

Ingegneria idraulica in età borbonica:
l'opera di Giovanni Bompiede
Maria Gabriella Pezone 897

Storia e vicende edilizie del Teatro di San Carlo a Napoli
Nicola Augenti 909

Ingegneri e lavori pubblici in Sicilia tra Sette e Ottocento
Francesca M. Lo Faro 921

Progetto e costruzione dei grandi ponti
dai primi dell'Ottocento ad oggi
Mario Como 933

Un contributo al dibattito sulle opere pubbliche nella prima metà dell'Ottocento: l'ingegnere Antonio Maiuri
Giuseppe Foscari 949

I cannoni del Regno di Napoli
Francesco Caputo 967

Indagine storica sulla criticità del ponte San Lorenzo sul fiume Crati a Cosenza in merito al deflusso delle piene
Giancarlo Principato 981

L'ingegneria stradale prima della V.I.A.: le infrastrutture viarie storiche dal XVIII al XX secolo, monumenti nel paesaggio e per il paesaggio
Murizio Boriani, Alberta Cazzani 991

Il porto borbonico di Ischia
Francesco Rispoli 1001

Da un primato storico a un progetto di archeologia industriale. La prima ferrovia italiana Napoli-Portici, ieri e … domani
Anna Natale 1011

Eugenio Michitelli in Abruzzo e l'istituzione degli Ingegneri di Ponti e Strade
Carlos Alberto Cacciavillani 1019

Il ponte ferroviario fra Venezia e la terraferma
Laura Facchinelli 1031

Tra ingegneria e architettura: il villino "ingegneria sanitaria" a Torino e le istanze igieniste tra Ottocento e Novecento
Paolo Piantanida 1041

L'ingegneria italiana del Novecento: ricerca in corso presso lo IUAV di Venezia
Enzo Siviero, Ilaria Zampini 1051

L'architettura universitaria a Parma:
storia di un'infrastruttura del sapere
Chiara Vernizzi 1061

Trasporti su rotaie agli inizi del Novecento.
La Circumvesuviana e il progetto per la stazione di Bellavista
Carolina De Falco 1069

1910: un coraggioso approccio al cemento armato.
Il caso della Sinagoga di Trieste
Aulo Guagnini 1079

Le vie dell'Impero. Le strade coloniali italiane
e il loro rapporto con la manualistica del Ventennio
Mirko Guaralda 1087

Opere pubbliche e trasformazioni urbane
a Napoli tra le due guerre
Elena Manzo 1097

L'attività di colonizzazione dell'Opera Nazionale Combattenti
in Campania tra primo e secondo dopoguerra
Riccardo Serraglio 1109

L'ingegnere Lauletta e le prove sperimentali in campo dinamico
Mario Casirati 1119

Enzo Lauletta: la modellazione fisica e l'approccio
dello studio di grandi strutture presso l'ISMES,
Istituto Sperimentale Modelli e Strutture
Carla M. Kovsca Colani 1127

L'autostrada del Sole
Tullia Iori 1133

Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci. Il progetto della forma
strutturale prima dell'avvento del calcolo automatico
Rinaldo Capomolla 1143

Lorenzo Allievi e la cinematica dei meccanismi in Italia nel XIX secolo
MARCO CECCARELLI, TEUN KOETSIER 1153

Le imprese polari del generale Umberto Nobile
DARIO ASSANTE, LUIGI VEROLINO 1165

L'idroplano di Enrico Forlanini
SARA CALABRÒ, CESARE CARDANI 1173

ELENCO DEGLI AUTORI 1187

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Roberto Gori

Le prime teorie scientifiche sul calcestruzzo armato

Sommario

Nei suoi primi anni di applicazione, il calcestruzzo armato si presentava come un sistema costruttivo di grande successo sul piano delle prestazioni, ma fondamentalmente empirico, non teorizzato, se non a livello di risultati sperimentali. S

Solo successivamente, con la diffusione su larga scala delle costruzioni in calcestruzzo armato, negli ultimi decenni del XIX secolo, si svilupparono molti studi tendenti ad una interpretazione matematica degli stati di sollecitazione nelle strutture realizzate con il nuovo materiale.

La memoria che si presenta fa parte di una ricerca tra le cui finalità c'è quella di individuare, in quei primi studi ed indagini, nati in un periodo caratterizzato da un febbrile sperimentalismo, spunti ed intuizioni che si ricolleghino alle odierne, più consolidate teorie sul c.a., in altre parole di verificare in che misura si realizza una continuità storica fra ciò che era stato ipotizzato nelle prime formulazioni teoriche e le conoscenze di oggi.

Le prime teorie studiate riguardavano prevalentemente il problema della compressione semplice di pilastri e della flessione semplice e composta di travi e solette piene o nervate, con il relativo dimensionamento delle armature, con ipotesi di funzionamento lineare e anche non lineare dei materiali costitutivi. Comparando i diversi metodi di analisi messi a disposizione dalla letteratura scientifica e tecnica a cavallo fra '800 e '900, si è indagato entro quali limiti tali metodi di verifica e/o di progetto siano ancora attendibili ed in quale misura.

Introduzione

Agli inizi del XXI secolo esistono ancora numerose costruzioni, ponti, edifici industriali, serbatoi, silos, banchine portuali, muri di sostegno, torri, con struttura in c.a., realizzati alla fine dell'Ottocento e nei primi anni del Novecento.

Essi rappresentano un patrimonio di valore inestimabile nell'ampio panorama dell'archeologia industriale, sia in Europa che nel Nord America, dove costituiscono anche una importante testimonianza dello sviluppo dell'ingegneria contemporanea.

Se da un lato dovrebbe essere presente la necessità di conservazione di un tale patrimonio tecnologico e culturale, che tenga conto dei complessi fenomeni del degrado, molto spesso i problemi principali per la pianificazione di piani di riabilitazione o progetti di restauro risiedono nella carenza di informazioni sulle effettive caratteristiche meccaniche delle strutture e sulle ipotesi assunte dai progettisti circa il com-

portamento dei materiali, i criteri di sicurezza, le condizioni di carico, ecc. .

Nel periodo in cui tali costruzioni furono edificate furono sviluppate e applicate alle nuove costruzioni numerose teorie, spesso in contraddizione fra loro. Appare quindi molto importante una verifica delle prestazioni strutturali teoriche di tali manufatti. Perciò, appare evidente il ruolo predominante di una interpretazione filologica corretta del comportamento strutturale delle costruzioni storiche in c.a. nei progetti di restauro e di riabilitazione strutturale.

Inoltre, per la validazione delle strutture esistenti, sono necessarie ulteriori analisi strutturali basate sugli attuali criteri di sicurezza internazionali, a partire dalle condizioni di carico assunte (o che si presume siano state assunte) dai progettisti originari. Naturalmente è necessaria anche una revisione critica delle ipotesi di carico, se il problema di riabilitazione lo richiede.

In lavori precedenti dell'autore [18, 19] sono stati messi a confronto i vari metodi di calcolo per travi e solette in c.a. inflesse - reperibili nella letteratura scientifica a cavallo fra Ottocento e Novecento - per investigare se e fino a che punto tali metodi di verifica e/o di progetto fossero ancora affidabili.

In questa memoria si pone particolare attenzione su una vasta e approfondita ricerca condotta dall'autore sui criteri di verifica e di progetto delle sezioni di travi e solette in c.a. sottoposte ad azioni taglianti - proposti fino agli anni Venti del Novecento - e se ne riportano alcuni risultati.

I primi brevetti e le loro relazioni con gli approcci teorici

Numerosi brevetti per sistemi strutturali in calcestruzzo armato per opere civili furono depositati nella seconda metà dell'Ottocento in Europa e in Nord America, spesso senza una base di validazione teorica, specie nei primi anni di sviluppo dell'innovazione tecnologica. In Europa, dopo le prime proposte sperimentali di J.L. Lambot (1855) e F. Coignet (1861), i primi brevetti furono depositati da Monier (1867-1869-1878) e successivamente da Ransome (1885), Cottancin, Bordenave, Bonna, Société de Porte de France (1880-1900), Wayss (1879-1885-1890) [10].

Nell'ultima decade del secolo furono proposti nuovi sistemi più avanzati, da F. Hennebique (1892-1899), Emperger (1892), Golding (1896), Lefort (1899), Chaudy, Khan, Möller, Locher, Baroni-Lüling (1895-1900). Alla fine del secolo e agli inizi del Novecento risultavano registrati un gran numero di sistemi, fra i quali sono da ricordare: De Vallière, Matrai, Münch, Luipold, Boussiron, Dégon (1895-1905), Coularou (1900-1910), Leonardi (1901), Siegwart (1902), Visintini (1903), Piketty (1906), Cemento Semiarmato (1906), Cicogna (1900-1910), Brazzola (1905-1909), Lehmann and Ercole (1905-1910) [10].

Con un ritardo di parecchi anni dalla nascita della tecnica del cemento armato, vennero proposti approcci teorici per investigare il reale funzionamento di strutture in c.a. in stati di sollecitazione elementari, in particolare per tra-

vi e solette soggette a flessione e taglio. Lo scopo di tali teorie era di consentire la verifica e/o il progetto di sezioni in c.a. affidabili, in un periodo in cui erano state condotte solo alcune prove sperimentali.

Le prime teorie sulla flessione semplice per i travi e solette in c.a.

Le prime teorie sulla flessione vanno attribuite a M. Koenen (1886), e successivamente a M. Demay (1887-1890), M. Coularou (1889), M. Melan (1890), E. Coignet - De Tedesco (1894), M. R. von Thullie (1896), L. Lefort e C. Rabut (1898). Nel 1899 furono pubbli-cate le teorie di W. Ritter, M. Consi-dère, P. Christophe [14], F. Hennebique [10]. All'inizio del XX secolo altri approcci furono proposti da S. Canevazzi (1901) [12], Gen. Caveglia (1903) [27], F. Leonardi (1904) [25], Kersten (1906) [10, 18]. Un gran numero di tali teorie sono state analizzate e comparate fra loro in precedenti contributi dell' autore [18, 19].

Giova qui ricordare che le prime teorie sulla flessione semplice retta erano prevalentemente rivolte ai problemi di verifica di solette o di travi con una sola posizione di armatura.

Molte differenze si riscontrano nella determinazione della posizione dell'asse neutro. Quasi tutti gli autori adottavano l'ipotesi di Bernoulli-Navier di conservazione delle sezioni piane, anche se non tutti (ad es. Koenen) consideravano l'aderenza fra armatura e calcestruzzo. Alcuni autori consideravano il calcestruzzo reagente a trazione, almeno fino a certi valori della tensione, ipotizzando talora - come nel caso di Mélan - differenti moduli elastici del calcestruzzo, e quindi differenti coefficienti di omogeneizzazione a compressione e a trazione, altri trascuravano completamente la capacità resistente a trazione.

Con il metodo proposto da Koenen nacque la prima teoria specifica dedicata al cemento armato e venne per la prima volta individuato il suo principio strutturale: le armature immerse nel calcestruzzo devono assorbire gli sforzi di trazione mentre al calcestruzzo sono assegnati gli sforzi di compressione.

Mathias Koenen, che era funzionario dell'amministrazione delle Province Renane, pubblicò nel 1886 il suo metodo per la verifica di solette soggette a flessione semplice sulla rivista *Centralblatt der Bauverwaltung*, e nell'anno seguente nel testo ormai classico sul Sistema Monier. Caratteristica fondamentale del metodo di Koenen, sia nei problemi di progetto che in quelli di verifica, è la costanza della posizione dell'asse neutro, fatta coincidere con quella dell'asse baricentrico della sezione omogenea, indipendentemente dalla quantità di armatura.

Edmond Coignet, figlio di Francois Coignet, inventore in Francia del *Béton economique*, pubblicò nel 1894, sul *Bollettino della Societé des Ingénieurs Civils de France,* una teoria per il calcolo delle struture in c.a., in collaborazione con l'Ing. N. De Tedesco. Coignet e De Tedesco furono i primi ad esprimere chiaramente la necessità di ampli-

ficare l'area As delle armature longitudinali attraverso un coefficiente di omogeneizzazione, per gli stati di compressione e di flessione, a differenza dei metodi semiempirici contemporanei come quelli di Hennebique e di Koenen.

Il metodo di calcolo di L. Lefort, apparve nel 1898 con un serie di articoli pubblicati sulla rivista francese *Nouvelles Annales de la Construction*, raccolti l'anno successivo in un trattato sulle strutture in c.a. Per una sezione soggetta a flessione semplice, Lefort ipotizzava un comportamento elastico lineare per il calcestruzzo teso e per quello compresso, come successivamente fece anche Ritter (per sezioni inflesse nella fase I).

La posizione dell'asse neutro era data dal rapporto fra il momento statico della sezione completa rispetto ad un lembo della sezione e l'area omogeneizzata. Per il coefficiente di omogeneizzazione, Lefort, riprendendo le esperienze di De Tedesco eseguite nel 1897, suggeriva valori varianti da 13 a 26, considerando determinante la dipendenza del modulo di elasticità del calcestruzzo non solo dalla composizione del conglomerato ma anche dal tipo di stagionatura e dalla temperatura.

L'ing. Wilhelm Ritter, professore al Politecnico di Zurigo, pubblicò nel 1899 un metodo di calcolo che fu frequentemente utilizzato in Svizzera dai costruttori di strutture in c.a., nonostante contenesse alcune limitazioni.

Nello stesso anno in cui l'ing. Paul Christophe pubblicava un metodo basato sul funzionamento elastico lineare della sezione parzializzata resa omogenea, Ritter proponeva un approccio di tipo non lineare.

Per la valutazione delle tensioni nella sezione inflessa, individuava tre fasi distinte in relazione allo stato tensionale del calcestruzzo.

Nella prima fase ipotizzava che il calcestruzzo fosse reagente anche a trazione, con legame lineare fra tensione e deformazione; di conseguenza l'asse neutro era individuato come asse baricentrico della sezione omogeneizzata, includendo in essa l'intera area del calcestruzzo.

Nella seconda fase supponeva che il calcestruzzo non avesse alcuna resistenza a trazione. Gli sforzi di trazione venivano allora affidati interamente all'armatura tesa. In questa fase, però, la posizione dell'asse neutro non mutava rispetto alla prima e la tensione nell'armatura poteva essere calcolata a partire dal braccio delle forze interne.

Nella terza fase Ritter ipotizzava un andamento parabolico delle tensioni di compressione nel calcestruzzo. Una impostazione molto simile, con tre fasi, era già stata teorizzata nel 1897 da M.R. von Thullie, che considerava reagente a trazione anche una zona limitata di calcestruzzo al di sotto dell'asse neutro (fase II e III) e proponeva una schematizzazione bilineare delle tensioni nel calcestruzzo compresso (fase III). Pochi anni dopo, un approccio simile a quello di Ritter (con andamento parabolico delle tensioni nella fase III) sarà proposto anche da Fowler per lastre in c.a..

Le prime teorie sul taglio per travi e solette in c.a.

La diffusione di teorie analitiche riguardanti la descrizione del comportamento sotto azione tagliante di travi e solette in c.a. cominciò molto tardi. La necessità di contrastare e ricucire possibili fessurazioni dovute al taglio era ben presente nella mente dei primi costruttori.

François Hennebique nel 1892 propose staffe piatte, distribuite lungo la trave, con una spaziatura più ridotta in corrispondenza degli appoggi [33]. Altri metodi furono proposti per la disposizione delle staffe: Boussiron nel 1899 propose staffe verticali con spaziatura costante; Edmond Coignet, nel 1894, e Pavin de Lafarge, nel 1895-97, suggerì di collegare le barre longitudinali infe-

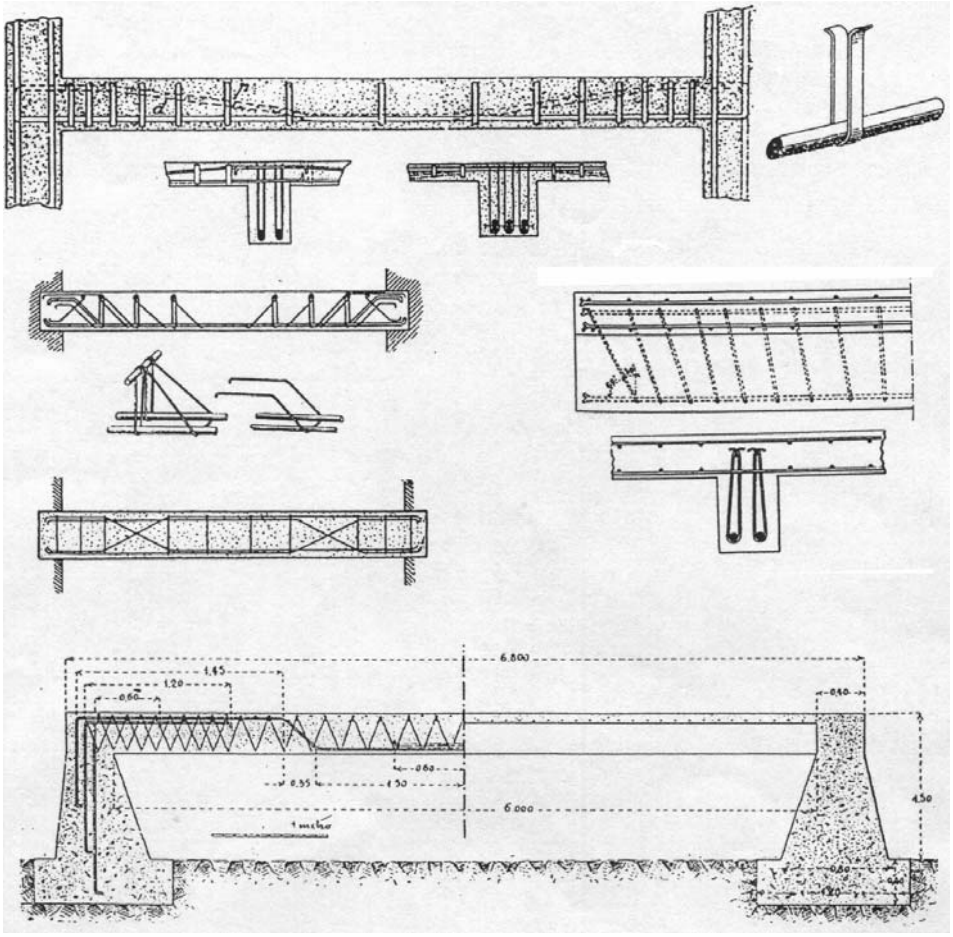


Fig. 1 – Alcuni sistemi di armature per contenere gli effetti dello sforzo tagliante per travi e solette in c.a., in uso alla fine dell'Ottocento e ai primi del Novecento: Hennebique (1892-99), Münch (1900), Luipold (1905), Piketty (1906), Leonardi (1901-1904).

riori alle barre superiori per mezzo di un tondino di ferro continuo [18]; Coularou, Berger e Guillerme nel 1908 propose di disporre le staffe con un angolo di 45° [7]. Fra i primi approcci teorici per la verifica e il progetto di sezioni di c.a. soggette ad azione tagliante vanno ricordati quelli sviluppati da F. Hennebique (1892-99) [8], da L. Lefort (1898-99) [24], da Blesio [10], M. Considère

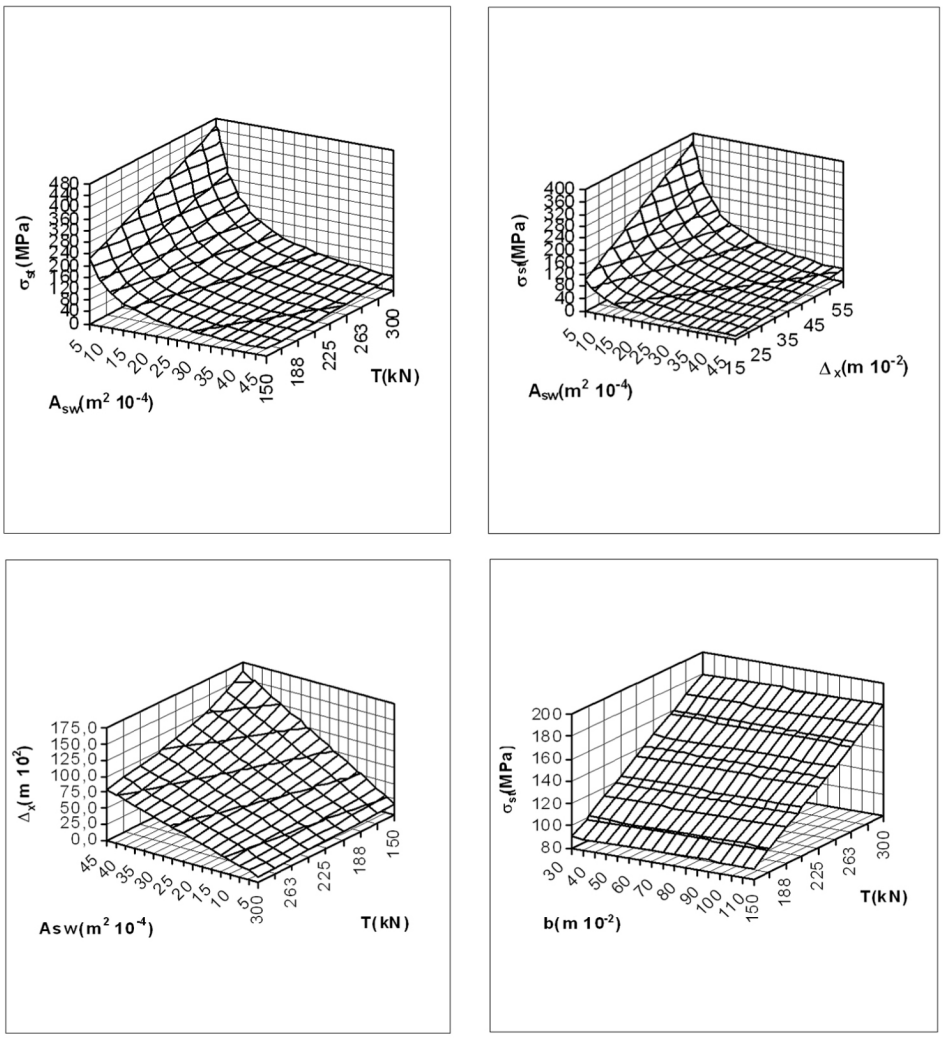


Fig. 2 – Analisi di sezioni rettangolari in c.a. soggette ad azione tagliante, secondo la teoria di F. Hennebique (1899). Relazioni fra tre dei parametri T (sforzo di taglio), σ_{St} *(tensione nelle staffe),* A_{SW} *(area della sezione delle staffe),* Δ_X *(passo delle staffe), b (larghezza della sezione), con il quarto e il quinto assunti costanti (valori medi), e altezza della sezione h = 1.00 m, copriferro = 0.03 m, area della sezione delle barre longitudinali* $A_S = 80\ cm^2$

[10], P. Christophe [14, 17] e M. Harel de la Noè [21, 17] (tutti datati 1899). All' inizio del XX secolo furono pubblicati altri metodi: S. Canevazzi (1901) [12], German Builders Society (1902) [17], Gen. Caveglia (1903) [27], F. Leonardi (1904) [25], Kersten [10], M. Pendaries [31, 16, 11], M. Piketty [7] e C. Pesenti (1906) [32], E. Mörsch (1902-06-10) [28, 29], Societé Stulemeyer (1908) [7], Aubry

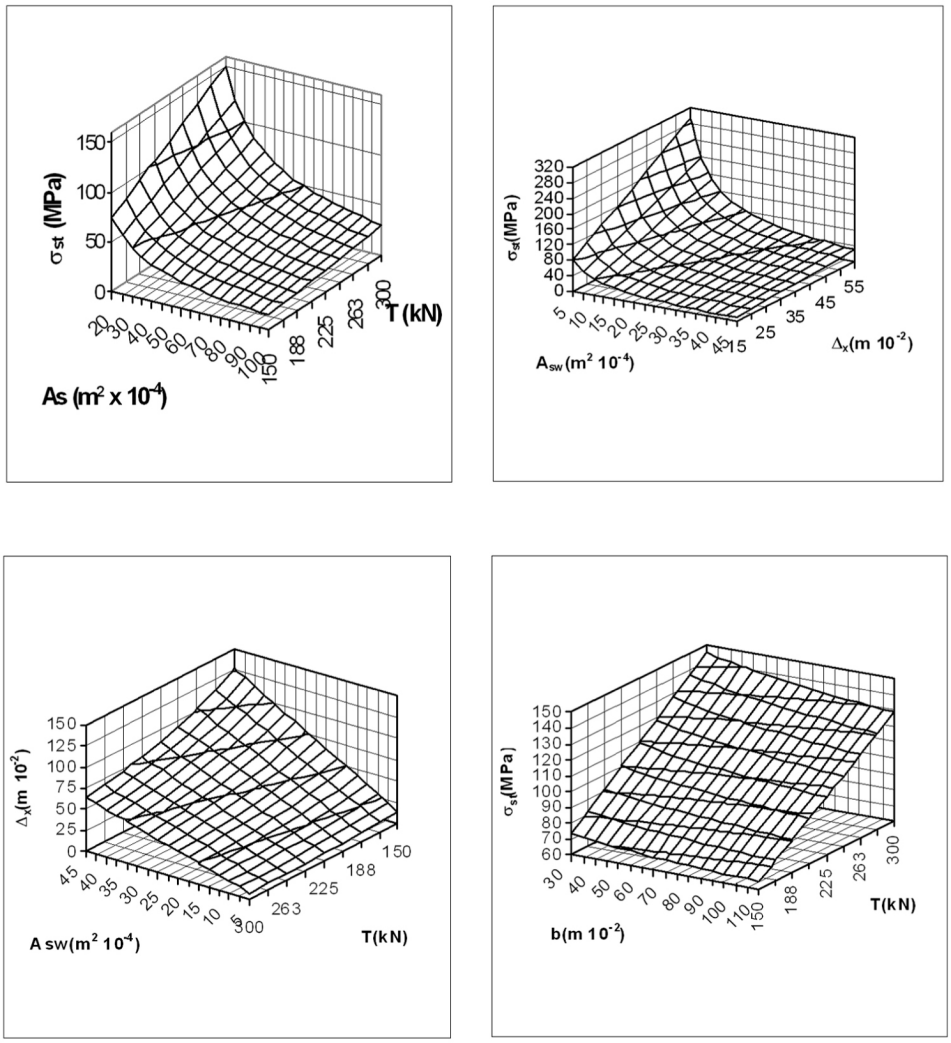


Fig. 3 - Analisi di sezioni rettangolari in c.a. soggette ad azione tagliante, secondo la teoria di M. Considère (1899). Relazioni fra tre dei parametri T (sforzo di taglio), σ_{st} (tensione nelle staffe), A_{SW} (area della sezione delle staffe), Δ_x (passo delle staffe), b (larghezza della sezione), con il quarto e il quinto assunti costanti (valori medi), e altezza della sezione h = 1.00 m, copriferro = 0.03 m, area della sezione delle barre longitudinali A_S = 80 cm^2

(1912) [5] e Landini (1914) [22].

Si riportano nelle Fig. 2-3-4 alcuni esempi di analisi numeriche condotte su sezioni rettangolari in c.a., applicando le prime teorie sul taglio [10], in diagrammi che riguardano, rispettivamente le teorie di Hennebique, di Considère e di Canevazzi.

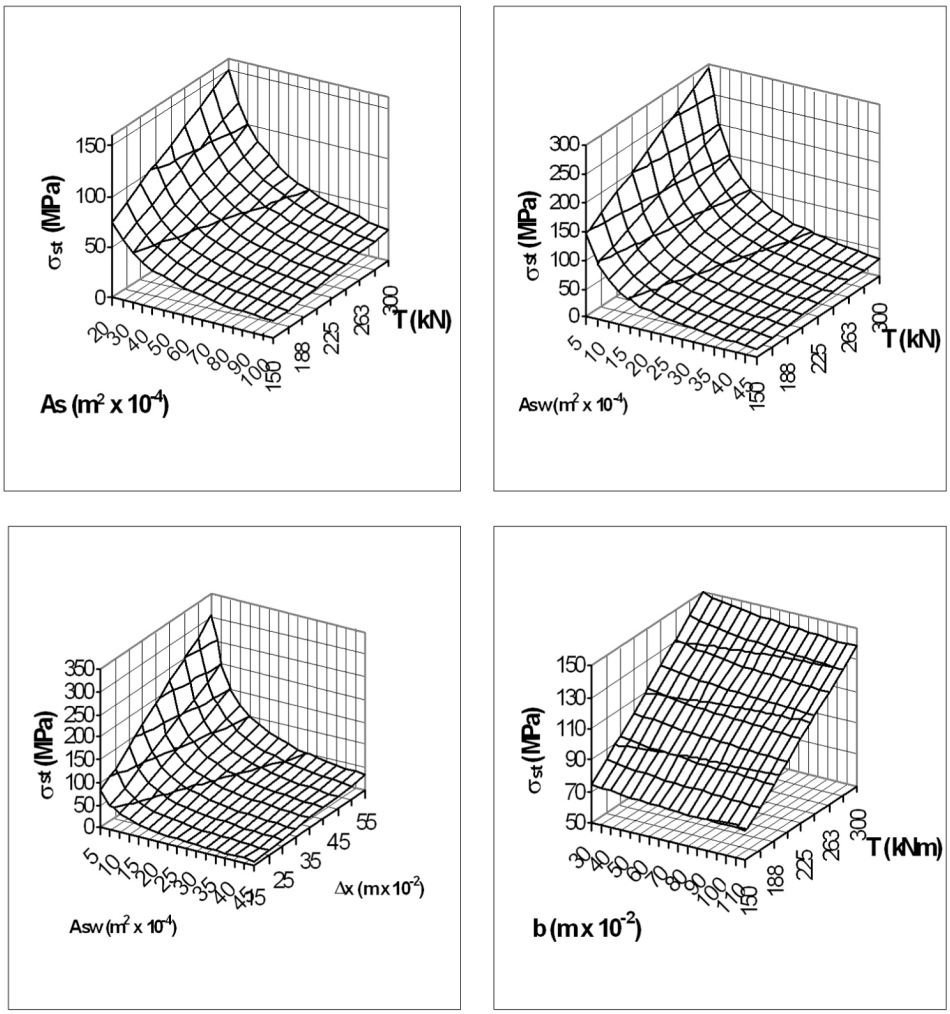


Fig. 4 - Analisi di sezioni rettangolari in c.a. soggette ad azione tagliante, secondo la teoria di S. Canevazzi (1901). Relazioni fra tre dei parametri T (sforzo di taglio), σ_{st} (tensione nelle staffe), A_S (area della sezione delle barre longitudinal), A_{SW} (area della sezione delle staffe), Δ_X (passo delle staffe), b (larghezza della sezione), con gli altri assunti costanti (valori medi), e altezza della sezione h = 1.00 m, copriferro = 0.03 m

Conclusioni

Sono state esaminate le teorie – sviluppate in Europa intorno alla fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento, molti anni dopo l'invenzione della nuova tecnica costruttiva, quando questa aveva già larga diffusione – per l'analisi e il progetto di strutture in c.a. sottoposte a flessione e taglio. Si è condotta questa ricerca per approfondire se e fino a quale grado di affidabilità queste metodologie di verifica e/o di progetto fossero corrette e se esse siano ancora utilizzabili per il controllo della stabilità delle strutture (tuttora esistenti) per le quali erano state ideate.

Sono state effettuate numerose comparazioni fra i vari approcci proposti per l'analisi di travi e solette soggette a flessione e taglio.

L'obiettivo di questo studio è quello di portare un ulteriore contributo per meglio comprendere le scelte originali dei primi progettisti strutturali e per rendere possibile un restauro statico più corretto ed efficiente di costruzioni storiche in calcestruzzo armato, fornendo strumenti più efficaci per rendere più facile una interpretazione filologica del loro comportamento statico reale.

Bibliografia

[1] A.A., *Solai di ferro e cemento*, "Giornale del Genio Civile", 1890, pp. 204-208; *Sulla deformazione del calce-struzzo di cemento armato,* "G. Genio Civile", 1902, pp. 379-382; *Solidi di cemento armato sistema Visintini,* "G. Genio Civile", 1903, pp. 378-379; *Le travi a traliccio sistema Visintini*, "Il Cemento", 1904-05, pp. 25-28; *Le travi in cemento armato - travi sistema Siegwart,*. "Il Cemento", 1904, pp. 145-148; *Travi in béton armato sistema Demay,* "Il Cemento", 1906, pp. 198-199; *Le costruzioni in cemento armato del sistema Brazzola,* "Il Cemento", 1909, 17, pp. 262-265; *Solai in calcestruzzo armato,* "Il Cemento", 1910, pp. 132-134; *Un nuovo tipo di solaio,* "Il Cemento", 1911, pp. 150-151.

[2] Aa.Vv., *Expériences. Rapports & Propositions Instructions Ministerielles relatives à l'Emploi du Béton Armé.* Dunod et Pinat, Paris 1907.

[3] Albenga, Colonnetti, Danusso, Giannelli, Krall, Martinelli, *Tecnica del Cemento Armato.* Edizioni della Bussola, Roma, 1946.

[4] G.C. Argan, *L'arte Moderna 1770/1970,* Sansoni, Firenze 1987.

[5] C. Aubry, *Calcul du beton armé.* Dunod et Pinat Éditeurs, Paris 1912.

[6] C. Bach, O. Graf, *Spannung s_{bz} des betons in der zugzone von eisenbetonbalken unmittelbar vor der rissbildung,* Ernst & Sohn, Berlin 1913.

[7] C. Berger, V. Guillerme, *La construction en ciment armé. Applications générales - Théories et systèmes divers.* H.Dunod et E. Pinat, Paris 1908.

[8] A. Biglieri, *Travi in Cemento Armato (sistema Hennebique) del Policlinico Umberto I° in Roma*, "G. Genio Civile", 28. 1899, pp. 581-589.

[9] D. Blesio, *Costruzione di un solaio in Cemento Armato,* "G. Genio Civile", 11, 1899, pp. 99-112.

[10] S. Bolzonella, G. Sommaggio, *I sistemi costruttivi del calcestruzzo armato in Europa tra fine '800 e inizio '900: aspetti tecnologici e analitici.* Grad. Thesis (rel. R. Gori), IUAV, Venice, a.a. 1997-1998.

[11] G. CAMPANELLA, *Costruzioni in Cemento Armato.* Cav. N. Povene & C., Napoli, 1910.

[12] S. CANEVAZZI, *Ferrocemento. Formu-le di Elasticità e Resistenza.* Succ. Negro e C., Torino, 1904

[13] R. CAPOMOLLA, R. VITTORINI, *Studi sull'Edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento,* Edilstampa, Roma, 1999.

[14] P. CHRISTOPHE, *Le Béton armé et ses applications*. Capitre IV, Theorie, *Annales des Travaux Publics de Belgique* (1899), pp. 961-992.

[15] A. DANUSSO, *La logica e l'estetica nelle costruzioni in calcestruzzo armato,* "Il Cemento", 1906; *Sulla funzione delle staffe nelle travi in calcestruzzo armato,* "Il Cemento", 1907; *Il cemento armato nella costruzione moderna,* "Il Cemento", 1908.

[16] N. DE TEDESCO, V. FORESTIER, *Manuel Thèorique & Pratique du Constructeur en Ciment Armè.* Chap. 10, Libr. Pol. Ch. Béranger, Paris 1909.

[17] N. DE TEDESCO, A. MAUREL, *Traité Théorique et Pratique de la Résistance des Matériaux Appliquée au Bèton et au Ciment Armè.* Libr. Pol. Ch. Béranger, Paris 1904.

[18] R. GORI, *Theoretical performances of RC structural elements built at the turn-of-the century,* "J. Performance of Constructed Facilities",ASCE,13, 1999.

[19] R. GORI, *Evaluating performance of RC beams using turn-of-the century theories,* "J. Performance of Construc-ted Facilities", ASCE, 13, n.2, 1999.

[20] C. GUIDI, *Le costruzioni in Bèton Armato - Conferenze tenute nel maggio 1900,* Libr. Lattes & C., Torino, 1901.

[21] HAREL DE LA NOE, *Théorie et applications nouvelles du ciment armé, «* Annales des Ponts et Chaussées » , 1899, 1° trim., Bernard, Paris, pp. 1-21.

[22] A. LANDINI, *Le Costruzioni in Cemento Armato,* Stab. Poligr. Emiliano, Bologna, 1914.

[23] G. LAVERGNE, *Étude des Divers Systèmes de Constructions en Ciment Armé,* « Le Génie Civil », 1899.

[24] L. LEFÒRT, *Calcul des Poutres Droites et Planchers en Bèton de Ciment Armè,* Libr. Pol. Baudry ed C.ie, Paris 1899.

[25] F. LEONARDI, *Cemento Armato. Sistema Ing. Leonardi,* Impresa F.lli Vender, Milano 1903; *Ponte in Cemento Armato sul torrente Quisa*, "Il Cemento", 1904, nov., pp. 194-198; *Influenza dei collegamenti nelle travature in cemento e ferro*, "Il Cemento", 1905, pp. 162-166.

[26] J. MANDL, *Zur Theorie der Cem-enteisen-Constructionen*, *Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur und Architekten Vereines,* 45, 1896.

[27] C. MARZOCCHI, *Le applicazioni del Cemento Armato fatte dal Genio Militare. Sistema di solai del Gen. Caveglia.* "Giornale del Genio Civile", 33, 1903, pp. 497-527, 43, 1903, pp. 609-639 e 1904, pp. 22-45.

[28] E. MÖRSCH, *Der Eisenbetonbau, seine Anwendung und Theorie*, 1st edition, Wayss & Freytag, A.G., Im Selbstverlag der Firma, Neustadt, A.D. Haardt, Germany, 1902.

[29] E. MÖRSCH, *Teoria e Pratica del Cemento Armato,* Hoepli, Milano, 1910

[30] R. NELVA, B. SIGNORELLI, *Avvento ed Evoluzione del Calcestruzzo Armato in Italia: il Sistema Hennebi-que.* AITEC, Milano, 1990.

[31] M. PENDARIES, *Note sur le calcul et sur la répartition des étriers dans Ies poutres droites en Ciment Armè.,* « Annales des Ponts et Chaussees », 3, 1906, E. Bernard, Paris, 73-96.

[32] C. PESENTI, *Il Cemento Armato e il Cemento Semiarmato,* Ist. Italiano d'Arti Grafiche, Bergamo, 1906; *Il Cemento Armato e la sua Applicazione Pratica,* Hoepli, Milano 1913.

[33] J. RÉSAL, *Stabilité des Construction,* Ch. Béranger, Paris, 1901.

[34] G. REVERE, *Devonsi regolamentare le opere in cemento armato?; Sul calcolo dei solidi inflessi in cemento armato*, "Il Cemento",1906, pp.277-280, pp.300-303

[35] G. VACCHELLI, *Le Costruzioni in Calcestruzzo ed in Cemento Armato,* Hoepli, Milano, 1913.

Riccardo Sersale

Evoluzione del calcestruzzo di cemento da tempi remoti al giorno d'oggi

Se al calcestruzzo, o beton di cemento, si attribuisce il significato odierno di conglomerato strutturale, costituito da sabbia, ghiaia o pietrisco, annegati in una pasta di cemento e saldati fra loro, la sua storia ricopre un arco di tempo piuttosto breve. Il calcestruzzo infatti si affaccia con risolutezza nella storia dell'edilizia verso la fine del XIX secolo, quando la messa a punto e la produzione del cemento Portland segnano il declino dell'impiego di calci idrauliche naturali[1]. In tale secolo rapidamente progrediscono le conoscenze di chimica, chimica fisica, cinetica, termodinamica e si cominciano a chiarire le relazioni triangolari composizione chimica-microstruttura-proprietà dei materiali.

Racchiudere, però, la storia del calcestruzzo entro un intervallo di tempo di circa centocinquanta anni sembra ingiusto e riduttivo, perché disconosce un ben meritato diritto di progenitura ad impasti che, se pure in ridotta misura, hanno svolto nei secoli le medesime funzioni di quelli attuali, concorrendo in maniera determinante alla loro progressiva evoluzione.

Nel lungo periodo in cui il cemento Portland non era conosciuto, sono state infatti realizzate una moltitudine di opere di stupefacente audacia costruttiva, che hanno sfidato l'ingiuria del tempo. Sembra pertanto calcestruzzo come conglomerato di prodotti sciolti, compattati da un legante e, così concepito, assume origini remotissime, poiché la sua ideazione non viene intaccata, ma mutano soltanto caratteristiche del legante e natura dei prodotti ai quali dar coesione.

L'evoluzione storica dei materiali che hanno esercitato funzione legante inizia con quelli primitivi impiegati nella preistoria, quali: il gesso[2], che fu il legante dell'antico Egitto, passa attraverso il lungo periodo storico dei leganti tradizionali, quali: le calci, che i Greci, a differenza degli Egiziani, adoperarono sin da tempi remotissimi e prosegue con la scoperta del cemento Portland nel 1824, in realtà ancora una calce idraulica naturale, ad opera di Joseph Asdin, quando non ancora era stato condotto a buon esito il processo di clinkerizzazione.

Il più antico calcestruzzo conosciuto sembra quello posto in luce nel 1985 in una località della Galilea meridionale (Israele), datato a 7000 anni a.C., che si presenta come pavimentazione compatta[3]. Come legante sembra sia stata adoperata una calce rudimentale che ingloba pietre levigate ed il tutto è adagiato su di un basamento di argilla che concorre a conferire compattezza.

In epoca romana il calcestruzzo inizia a diventare materiale da costruzione sufficientemente diffuso. Esso ha infatti etimologia latina e deriva da "calcis

structio", che sta ad indicare una struttura a base di calce. I Romani definivano "caementum structile" frammenti di pietra compattati da un legante.

A Roma l'impiego di un conglomerato calce-pietre trova documentazione nel 300 a.C. con le opere di Appio Claudio Cieco che costruì il primo acquedotto romano e la strada (via Appia) da Roma a Capua. Nei resti di costruzioni anteriori, la Cloaca Massima costruita da Tarquinio Prisco (590 a.C.) ed in quelli delle Mura Serviane (578 a.C.), non è risultato possibile rilevare tracce d'impiego di calce come legante.

Nel "De Architectura" di Vetruvio[4]. Vissuto nell'età di Augusto (1° secolo a.C.), si trovano significative considerazioni sulla costituzione chimica e sul proporzionamento di un calcestruzzo cosiddetto"gagliardo", preparato con calce spenta che ingloba pezzi di tufo vulcanico e "puteolanus pulvis", la pozzolana flegrea. Ne viene magnificato il comportamento, raccomandando l'impiego del materiale vulcanico incoerente che si propaga da Cuma fino al promontorio di Minerva e sottolineato il ruolo essenziale della costipazione. Plinio il Vecchio in "Naturalis Historia"[5]. Conferma la raccomandazione di Vitruvio, suggerendo di battere fondazioni e fiancate della struttura con mazze ferrate.

Oggi possiamo ben renderci conto della scelta dei componenti del calcestruzzo "gagliardo" proposta da Vetruvio. L'altra reattività con la calce della pozzolana flegrea e del tufo giallo napoletano[6]. Che trasformano il legante in una calce idraulica artificiale e danno vita ad una malta resistente anche all'acqua marina. I Romani avevano appreso dai Greci, che, a loro volta, avevano messo a frutto gli estesi depositi vulcanici dell'antica Tera (Isola di Cantorino), i vantaggi dell'impiego della pozzolana nella formulazione delle malte. In mancanza di pozzolana, i Romani impiegavano quella artificiale: l'argilla torrefatta e talvolta anche il "trass" renano[7].

In epoca romana la tecnica delle costruzioni raggiunge punte molto avanzate, come testimoniano il Pantheon (1° secolo a.C.) che, con una copertura di oltre 43 metri di diametro, è rimasto per oltre duemila anni il più grande edificio a cupola del mondo. Per la sua costruzione è stato impiegato un conglomerato leggero, con un inerte poroso a base di pomici. Con la caduta dell'Impero Romano d'Occidente si è registrato un progressivo e netto peggioramento della tecnica delle costruzioni, dovuto allo scadimento dei materiali impiegati e delle modalità costruttive che invade tutto il Medio Evo. Sono infatti stati impiegati calcari poco duri, più spicciative modalità ed approssimative tecnologie per la loro cottura, insufficiente lavoro di costipazione, stante le già mutate condizioni della mano d'opera. Per ritornare ai livelli di qualità delle costruzioni della Roma Imperiale, bisognerà pertanto attendere il XVIII secolo con il risveglio scientifico che lo ha caratterizzato. Il cemento, che costituisce il legante del calcestruzzo di oggi, nasce sulla scia delle osservazioni di Isaac Charles Johnson, scomparso nel 1911 all'età di cento ani. Egli si accor-

se che i provini, confezionati dopo macinazione delle passerelle vetrificate, scaricate dal forno di cottura di calcari argillosi, e, in un primo momento ritenute un prodotto più scadente, denunziavano invece resistenza meccanica ben più elevata dei provini preparati con prodotto non scarificato. Questa osservazione lo portò a definire più esattamente il ruolo della temperatura di cottura, ciò che, insieme con l'aggiustamento del rapporto calcare/argilla, ha aperto la strada alla messa a punto ed immissione sui mercati del cemento Portland, che diviene il legante per eccellenza e decreta il progressivo declino delle calci idrauliche naturali nel settore dell'edilizia.

La rivoluzione industriale che pone a disposizione dei costruttori ghisa ed acciaio a costi competitivi, determina poi la prima evoluzione del conglomerato divenuto cementizio.

Verso la fine del XIX secolo nasce il cemento armato ad opera dei francesi J. Lombot, J. Monier ed F. Coignet. Con il trascorrere del tempo le strutture diventano sempre più ardite, alte e sottili, grazie alla felice collaborazione della chimica applicata con la tecnologia di fabbricazione del cemento, che giunge ad un livello di alta perfezione e porta alla produzione di cemento Portland ad alta resistenza e rapido indurimento.

Nel 1928 l'ingegnere francese E. Frayssinet formula il primo brevetto valido per la preparazione del cemento armato precompresso, dopo le proposte non operative di Dohring e Koenen. Trova finalmente concretezza l'intuizione di Rabut, di Considère, di Colonnetti (1917) di sostituire le armature metalliche ordinarie con cavi pretesi o postesi, per introdurre nelle strutture stati di coazione permanente. Tali strutture sanciscono diritti di parità in un settore per lunghi decenni appannaggio esclusivo dell'acciaio. Il calcestruzzo odierno parte da quello antico e via via si trasforma in un materiale composito con un accresciuto numero di componenti. Un ruolo decisivo ha giocato la scoperta degli effetti benefici prodotti da alcune molecole organiche sulle sue proprietà peculiari, unitamente a quelli determinati da aggiunte minerali, da polveri reattive, da fibre. Queste modalità innovative hanno cominciato a muovere i primi passi intorno agli anni 60 del secolo scorso, con l'inizio di una crescita vertiginosa della produzione mondiale di cemento, che ha dato vita ad una nuova branca della chimica e della fisica: la scienza del calcestruzzo.

È nato il calcestruzzo ad alta resistenza a compressione 840-50 MPa), la cui denominazione è andata via via mutando in quella di calcestruzzo ad alte prestazioni[8], in quanto non si limita a sviluppare soltanto alta resistenza, ma assicura elevata curabilità in ambienti severi, con cicli doppi e tripli di vita in servizio, rispetto al calcestruzzo di resistenza normale (15-25 MPa). È preparato con basso rapporto acqua/ cemento, grazie ai progressi nel settore degli additivi superfluidificanti, ciò che consente un'assai bassa porosità. Verso l'inizio degli anni '90, la comparsa degli ultimi additivi superfluidificanti ha rappresentato un progresso straordinario in

termini di riduzione dell'acqua d'impasto e di conservazione della lavorabilità. E' nata infatti una nuova famiglia di superfluidificanti a base di poliacrilati o policarbossilati, che ha sostituito quella a base di naftalensolfonato e di melamnina solforata, che hanno fatto la pioggia ed il buon tempo per circa trent'anni.

Sono nati i calcestruzzi innovativi[9]. Tra questi: i calcestruzzi autocompatti[10], caratterizzati da eccellente deformabilità, alta resistenza alla segregazione, alla essudazione, fluidità e buona coesività (sono silenziosi, perché si compattano sotto l'azione del proprio peso); i calcestruzzi a ritiro compensato o a ritiro nullo[11], che sfruttano l'effetto sinergico fra nuovi polimeri superfluidificanti ed agenti espansivi; i calcestruzzi preparati con polveri ultrafini, privi di aggregati grossi e pertanto più simili ad una malta, con una struttura priva di pori capillari ed una resistenza a compressione che si approssima al limite massimo previsto dalla teoria di Powers per un materiale a porosità nulla (250 MPa).

Il calcestruzzo del futuro sarà, con tutta probabilità, il 3-self-Concrete[12], che rappresenta il prossimo traguardo. Si tratta di un calcestruzzo tre volte SELF: autocompattante, autostagionante, autocompresso, che fa tutto da solo. Consentirà un miglioramento della qualità del processo produttivo delle strutture in cemento armato e la realizzazione di strutture più affidabili nei confronti di eventi sismici e più durabili nei confronti delle aggressioni ambientali. Il progetto è realizzabile, i prodotti già esistono e la tecnologia è matura. Si tratta solo di migliorare l'automazione ed il controllo del processo produttivo.

In conclusione: il calcestruzzo, come ideazione, ha origini remotissime. Diviene un materiale affidabile in epoca romana, inizia a subire una progressiva evoluzione verso la fine del XVIII secolo e si affaccia con risolutezza nella storia dell'edilizia con la scoperta del cemento Portland. Al giorno d'oggi si presenta come un materiale composito con un accresciuto numero di componenti. Grazie alla scoperta degli additivi chimici, può essere formulato in tipi diversificati, ciascuno con caratteristiche sue proprie in funzione degli impieghi.

[1] R. SERSALE, *La storia del cemento e del calcestruzzo*, Atti Accad. Pontaniana, Napoli, 1998, 46, pp. 251-258.

[2] R. SERSALE, *Il gesso un legante della preistoria?*, Atti Accad. Pontaniana, Napoli, 2001, 50, pp. 201-205.

[3] J. BENSTEDT, N. COLEMAN, *The surprising history of cement and concrete from stone age origins to 1900 a.d.*, Ind. Ital. Cemento, Roma, 2004, 801, pp. 672-700.

[4] M. VITRUVIO POLLIO, *De Architectura*, de Loeb Classical Lib. Univ. Press., F. Granger Ed., Cambridge, 1931-45.

[5] G. S. PLINIO, *Naturalis Historia*, de Loeb Classical Lib. Univ. Press.,E.H. Warmington Ed., Cambridge, 1952.

[6] R. SERSALE, *Genesi e costruzione del tufo giallo napoletano*, Rend. Accad.Sc.Fis. Mat., Napoli, 1958, 4, pp. 25.

[7] G. MALQUORI, R. SERSALE, *Analogie costituzionali fra il "trass" renano ed il tufo giallo napoletano*, Ind. Ital. Cemento, Roma, 1959, 29, p. 5.

[8] R. SERSALE, *Recenti svulippi della scienza e della tecnologia del calcestruzzo. Il calcestruzzo ad alte prestazioni*, Rend. Acc. Sc. Fis. Mat., Napoli, 2003, 70, pp. 53-64.

[9] S. COLLEPARDI, R. TROLI, A. BORSOI, *Applicazioni di calcestruzzi innovativi*.

Rosalba La Creta

La Tecnologia dell'Architettura: cronache e storia

"L'argomento dei materiali da costruzione è evidentemente fondamentale nell'architettura, e forse non si sbaglierebbe se si definisse l'architettura come l'arte di costruire convenientemente con materiali appropriati"

W. Morris

Alla voce 'architettura' del *Dizionario Enciclopedico Italiano* si legge: "Arte e tecnica di ideare, disegnare e costruire gli edifici e in genere le opere (come giardini, ecc.) che richiedono l'invenzione del disegno"[2]. E' una definizione necessariamente riduttiva nella sua sinteticità, ma in essa vanno tuttavia rilevati il binomio *arte e tecnica* e il trinomio *ideare-disegnare-costruire*. Concettualmente più significativa è di certo la formulazione che di architettura dà Giulio Carlo Argan nel *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*, quando sostiene che "l'architettura rientra, ed ha anzi il primo posto, tra le attività umane intese a modificare l'ambiente fisico in rapporto alle necessità dell'esistenza. Tra queste attività si distingue per l'impiego di 'un sistema di segni visivi dimensionali-geometrici', col quale esprime idee, valori"[3].

Dal carattere di utilità pratica dell'architettura deriva la stretta relazione tra la sua ideazione e la sua costruzione, due attività complementari e perciò stesso inseparabili ai fini del valore e del significato che essa è chiamata ad assumere. Se, infatti, l'architettura è il *mezzo* primario della modificazione ambientale tesa al raggiungimento di condizioni idonee al benessere e allo sviluppo della vita individuale e sociale, la sua utilità pratica, nell'esprimere concetti e valori, deve necessariamente attuarsi attraverso la realizzazione di forme e spazi fruibili che implicano l'atto tecnico della costruzione necessario per rendere concrete idee e immagini programmate e progettate al fine di stabilire condizioni desiderabili dell'abitare per un determinato contesto ambientale. Per giungere a tale concretezza partendo da un'immagine astratta, cioè dall'idea generatrice, questa va sostanziata di verifiche che, nel progetto, ne accertino non solo la rispondenza alle necessità che l'hanno determinata, ma anche la realizzabilità e quindi la coerenza tra scelte formali, scelte tecniche e risorse disponibili nel contesto territoriale; verifiche che possono anche suggerire nuove soluzioni che trasformano l'idea originaria. Occorre, in pratica, approfondire e padroneggiare il rapporto tra teoria e prassi, tra ideazione ed esecutività, tra conoscenze acquisite e vincoli da superare.

D'altra parte la concretezza dell'architettura nega ogni possibilità di separazione tra la sua forma e il modo di

darle quella concretezza, ogni dicotomia tra l'idea formale e la concezione del *come* realizzarla, perché una forma determinata senza la contemporanea definizione delle sue modalità costruttive, ossia prescindendo dalle specifiche soluzioni tecniche, rischia la sua stessa irrealizzabilità, quanto meno nei termini in cui era stata ideata. Esiste infatti un rapporto biunivoco di compatibilità tra forma e tecnica costruttiva, poiché la forma acquista la giusta consistenza solo attraverso una tecnica capace di darle materialità senza snaturarne l'essenza; e la tecnica può dare appropriata concretezza ad una forma solo se questa è pensata in funzione della sua realizzabilità. E nel rapporto di complementarità le tecniche costruttive possono assumere non solo il ruolo di verifica realizzativa, ma anche quello di incentivo al perseguimento di soluzioni innovative.

Poiché l'evoluzione dell'architettura è legata, da sempre, alla necessità di dare risposte ai mutamenti sociali, economici, culturali e politici, alla sua formazione concorrono molti saperi: storico-umanistici, scientifici, tecnici, legislativi, che, per la loro efficacia ai fini della qualità architettonica, richiedono l'integrazione equilibrata e critica delle relative specificità. Il 'mestiere' dell'architetto richiede, pertanto, sia la conoscenza e la padronanza degli strumenti e dei metodi idonei ad intervenire correttamente nelle trasformazioni ambientali, sia la competenza per gestire e integrare le diverse specificità concorrenti alla risoluzione qualitativa. La sua formazione dovrebbe assicurargli almeno la capacità di riconoscere i problemi da affrontare nelle loro priorità e consentirgli di individuare le scelte giuste da compiere. In un tale percorso formativo ha acquisito un suo ruolo la tecnologia dell'architettura.

Nell'ambito universitario italiano, la *Tecnologia dell'Architettura* ha una precisa data di nascita: il 31 ottobre 1969, quando il nuovo 'Ordinamento didattico' delle Facoltà di Architettura[4] istituì il corso biennale di quella disciplina destinato, in sostanza, a sostituire l'antico corso annuale di *Elementi Costruttivi*. L'istituzione della nuova disciplina avveniva mentre ancora ferveva il dibattito sull'auspicato rinnovamento delle Facoltà di Architettura, dibattito che, a partire dalle discussioni svolte tra il '63 e il '64 nelle Università italiane, si era incentrato sulla generale riforma dell'ordinamento universitario per sfociare ed ampliarsi successivamente nella contestazione studentesca.

Contestazione che aveva trovato avvio proprio nelle stesse Facoltà di Architettura dove, rivendicando la democratica libertà di partecipazione alle decisioni delle strutture accademiche, in particolare si confutava la validità formativa dell'offerta didattica che, basata essenzialmente sul dogmatismo e il tecnicismo e carente di coordinamento e programmazione degli insegnamenti, si poneva lontana dai reali problemi della società civile.

Il malcontento genericamente diffuso nelle Università Italiane si precisava, quindi, nelle Facoltà di Architettura

con la denuncia di criteri d'insegnamento inefficaci per la formazione di tecnici adeguati alle esigenze della società contemporanea. Inefficacia dovuta alla carenza di attualità delle tematiche trattate, delle informazioni fornite e degli strumenti didattici usati, con la conseguente ignoranza dei problemi del mondo della produzione e la mancata aderenza alla realtà del Paese, diversamente da quanto avveniva nelle Facoltà di Ingegneria dove gli interessi economici e produttivi dell'industria verso la formazione di una pluralità di particolari figure di tecnici, avevano incentivato varie forme di intervento a supporto della didattica, contribuendo ad orientarla verso settori e problematiche di immediata attualità.

Ad Architettura, in particolare, la crisi aveva preso avvio nei corsi di composizione architettonica dove maggiormente si evidenziava la dicotomia tra cultura e professione, tra teoria e concretezza dell'operare nel contesto sociale. Negli anni successivi, in un clima temporaneamente mutato, furono proprio in prevalenza i docenti dell'area compositiva a proseguire il dibattito, ma ancora in una logica che, assumendo lo sviluppo della ricerca teorica come matrice fondante dell'impostazione progettuale, si incentrava polemicamente sul dualismo tra funzionalismo e formalismo. Tuttavia le due tendenze trovavano un punto d'incontro nell'intendere la tecnologia costruttiva come mero strumento esecutivo, rispettivamente subordinato all'oggettivazione della soluzione funzionale o formale.

In quegli anni la didattica e l'organizzazione dei piani di studio risentivano ancora della duplice matrice originaria delle Facoltà di Architettura che, provenendo dall'Accademia di Belle Arti e dalla Scuola di Ingegneria, fondavano sulle due distinte componenti - quella *artistica* e quella *tecnico-scientifica*, in assenza della sintesi e dell'integrazione disciplinari necessarie a formare una figura di architetto consona alle relative specificità già delineate a livello internazionale.

Nei piani di studio erano riconosciute tre componenti fondamentali: la compositiva, la storico-critica e la tecnico-scientifica identificata, quest'ultima, nelle discipline matematiche e in quelle strettamente collegate alla scienza delle costruzioni. Quando si parlava di "tecnologia" il riferimento andava alla tecnica delle costruzioni.

In una situazione parcellizzata a livello disciplinare, restava affidata alla sensibilità del docente l'impostazione didattica e la scelta delle correlazioni disciplinari. Sfogliando la *Guida dello studente* della facoltà di Architettura di Napoli, anno accademico 1958-59, è interessante rilevare che nei programmi dei corsi compositivi del primo biennio, il prof. Saul Greco (corso di *Elementi di architettura e rilievo dei monumenti I*) indicava "lo studio approfondito degli elementi funzionali e costruttivi" come mezzo per avviare gli allievi alla comprensione dell'organismo architettonico; e il prof. Carlo Cocchia (corso di *Elementi di architettura e rilievo dei monumenti II*) faceva "particolare

riferimento alla struttura ed al legamento fra questa e la forma" come modo corretto di analizzare e rilevare le costruzioni edilizie. Ma a chi, come me, in quegli anni era presente nella Facoltà, vien fatto di ricordare che quei due docenti compositivi erano, all'epoca, tra i professori più avveduti del senso di concretezza dell'architettura rispetto alla maggioranza dei loro colleghi attenti essenzialmente agli aspetti teorici dell'accademia architettonica.

Il programma del corso di *Elementi costruttivi* del prof. Ferdinando Chiaromonte consisteva, invece, nell'elenco degli argomenti trattati che corrispondeva precisamente all'indice di uno dei due libri di testo consigliati[5], apprezzabile per la chiarezza espositiva e i cenni ai criteri di scelta economica delle tipologie costruttive.

Al corso di *Elementi costruttivi* era affidato, in effetti, il compito di trattare gli aspetti pratici del costruire; la relativa didattica, impostata secondo la logica manua-listica con riferimento alle diverse parti dell'edificio, dalle fondazioni alle coperture, era finalizzata -in maniera acritica- all'informazione sulle tecniche costruttive omologate dalla tradizione e verificate dalla loro applicazione. L'insegnamento tendeva, infatti, a fornire le nozioni sulle tecniche edilizie in maniera oggettiva, attenta alle prescrizioni delle regole esecutive, ma senza rimandi agli esiti formali delle scelte tecniche e ai loro possibili contributi alle soluzioni di specifiche previsioni del progetto architettonico. I riferimenti andavano invece alle varie tipologie delle soluzioni tecniche per ciascun problema costruttivo, prescindendo dalle loro motivazioni e dai loro effetti. Mancava, cioè, qualsiasi correlazione fra i criteri delle scelte realizzative e gli aspetti formali, funzionali e dell'uso appropriato delle risorse disponibili; mancava ogni riflessione sui modi di giovarsi delle nuove conoscenze dovute allo sviluppo tecnico e scientifico, ogni riferimento alle possibilità di utilizzare le nuove tecniche in funzione del conseguimento di spazi innovativi, meglio congruenti con le esigenze da soddisfare. In sostanza, si illustravano le tecniche, non si insegnava tecnologia.

"La tecnica non è altro che una procedura, generalmente riferita a processi di carattere materiale, che regola lo svolgimento delle operazioni e la realizzazione degli eventi. La tecnica, quindi, ha bisogno che operazioni ed eventi accadano; dopodiché ne acquisisce, se efficace, la procedura. [...] Attraverso la sola tecnica non c'è avanzamento, in quanto la tecnica definisce e codifica ciò che qualcuno sa già fare, producendo poi il manuale per qualcun altro che vuole operare e che non sa ancora fare"[6], precisava qualche anno dopo Franco Donato che definiva, invece, la tecnologia come avanzamento della tecnica attraverso un'idea innovativa che "consente di sostituire alla prescrizione del manuale una procedura nuova", modificando la tecnica già conosciuta per farla avanzare "attraverso un'operazione che incide sulla tecnica e la trasforma. [...] Quindi il rapporto tra tecnica e

tecnologia sembra proprio essere ... il rapporto tra passato e futuro"[7]. Ciò significa, in effetti, che se la tecnica dà sostanza all'idea, la tecnologia può valere ad incentivare idee innovative per soluzioni non solo tecniche ma anche funzionali e formali.

La sostituzione degli *Elementi Costruttivi* con la *Tecnologia dell'Architettura*, nel superamento della semplice modifica di denominazione, assumeva quindi il potenziale valore di una diversa impostazione disciplinare volta a precisare il ruolo della tecnologia in rapporto all'architettura. Si pose, di conseguenza, il problema di individuare i contenuti della nuova disciplina, intesa come possibilità di superamento del concetto di subordinazione della prassi costruttiva rispetto alla teoria compositiva, in un'ottica tesa non solo all'acquisizione di mere informazioni tecniche, ma alla formazione di un atteggiamento critico consono ad un approccio alla progettazione basato sull'impostazione metodologica della trasposizione del momento creativo in momento realizzativo e sulla consapevolezza delle correlazioni esistenti tra aspetti formali, funzionali e costruttivi, nonché delle potenzialità espressive insite nelle tecniche costruttive. Atteggiamento in grado di affrontare i problemi della costruzione nella loro piena complessità.

Al compito di concordare, a livello nazionale, comuni basi disciplinari si dedicarono, in periodici incontri di lavoro, Giorgio Boaga, Giuseppe Ciribini, Pierluigi Spadolini e Eduardo Vittoria, i quattro docenti che in quegli anni, rispettivamente nelle Facoltà di Roma, Torino, Firenze e Napoli, avevano la titolarità della cattedra di *Tecnologia dell'Architettura.* Quattro personalità che, nelle loro peculiari differenze di carattere, di esperienze, di interessi culturali e di impostazione scientifica e didattica, erano accomunati dall'idea che forme e spazi dell'architettura, destinati a soddisfare le esigenze mutevoli del vivere umano, non possono essere definiti separatamente dalla determinazione tecnica della loro costruibilità.

"La tecnologia dell'architettura - si legge nella quarta di copertina di una pubblicazione, edita nel luglio 1972, dell'Istituto di Tecnologia dell'Architettura dell'Università di Roma diretto da Giorgio Boaga - è un metodo che vuol conseguire una sutura fra le elaborazioni a livello architettonico e quelle a livello tecnico-costruttivo, dando alle prime un minimo di sistematicità e di rigore tecnico-scientifico e inquadrando le seconde in un discorso di insieme che, seppur realistico, sia però svincolato da un determinismo dogmatico. Tecnologia quindi come rifiuto del manualismo fine a se stesso, della precettistica di qualsiasi tipo, dell'informazione superficiale; tecnologia come fondamento critico, sistematico, metodologico della progettazione in senso globale, come contributo logico e razionale ai momenti alogici di essa"[8].

Nella stessa pubblicazione Giorgio Boaga, ritenendo utile sottolineare alcuni elementi che –a suo parere– caratterizzano il significato di tecnologia dell'architettura, scrive: "La tecnologia

è ormai intesa come metodo disciplinato e sistematico di accostarsi alla realtà dei fenomeni evolutivi dell'habitat, metodo diverso dai tradizionali che l'accostavano ad una speculazione tecnica del semplice operare.

L'architettura d'altro lato, non più semplice procedura interventiva individuale e/o associata, si va delineando come scienza dello spazio destinata a formare le basi dell'ambiente dell'uomo attraverso preordinati sistemi di riferimento delle parti al tutto. La 'tecnologia dell'architettura' quindi rappresenta, nel contesto delle attività umane, quel complesso metodologico strutturale che prefigura la realizzazione di un habitat ideale"[9].

Importante è stato il contributo apportato da Giuseppe Ciribini alla precisazione del rapporto tra pensiero tecnico-scientifico e pensiero filosofico. La sua riflessione teoretica, oltre che sviluppare e sistematizzare i contenuti di specifici campi operativi interni alla tecnologia dell'architettura, è valsa ad indicare ragioni e tematiche di una ricerca trans-disciplinare, resa possibile da un *modo* di informare e comunicare atto a stabilire nessi relazionali mediante logiche trasversali.

Decodificando etimologicamente, attraverso gli etimi greci, il termine 'tecnologia' in *logos* della *techne*, Ciribini afferma che "Si può, conseguentemente, concludere che la tecnologia è [...] sinteticamente, il 'sapere perché' (l'intenzione) e il 'sapere come' di cui la tecnica sarebbe il 'sapere che cosa' (il modo d'essere). La tecnologia è, perciò, la disciplina che tratta dei processi di trasformazione di cui si sostanzia nel tempo la produzione culturale di una determinata società umana"[10].

Facendo riferimento alla stesa decodificazione, Ciribini afferma ancora che "L'indicazione, così formulata, di un possibile contenuto del termine 'tecnologia' ci conferma che, sotto questo titolo, si raccoglie una varietà di tematiche, quante sono le differenti materie di studio alle quali ci si può riferire. E, nello stesso ambito della disciplina architettonica, contributi metodologici di pensiero appaiono poter essere molteplici: per cui, dovrebbe parlarsi non già di *tecnologia*, al singolare, bensì di tecnologie, al plurale. [...] Lo spettro delle discipline che afferiscono, spesso condizionandole, alle attività decisionali nell'ambito costruttivo dell'architettura è, infatti, estremamente ampio: dalle discipline logico-filosofiche, ad esempio, a quelle storiche, giuridiche, socio-politiche, economico-organizzative, ecc."[11].

L'approccio pragmatico dell'opera di Pierluigi Spadolini, che alla docenza affiancava un'intensa e qualificata attività di architetto e designer in Italia e all'estero, più che alla definizione di enunciati teorici o all'esercitazione di speculazioni critiche, lo portava a riferire il proprio spazio teoretico alla sistematizzazione degli esiti della ricerca sperimentale e delle innovazioni tecnologiche da lui applicate e verificate nell'operatività professionale, sostanziando, così, di riflessioni concrete la sua attività didattica. Per Spadolini la

tecnologia dell'architettura costituiva un mezzo idoneo a controllare le spinte aleatorie delle scelte formali, al fine di tendere verso un'architettura capace, gestendo appropriatamente le possibilità fornite dall'innovazione tecnologica, di rispondere ai requisiti di una migliore realtà sociale. "La ricerca tecnologica e le relative innovazioni -notava nella sua relazione alla Prima conferenza europea sulle strutture ospedaliere (Roma, 1 aprile 1989)- si sviluppano con estrema rapidità ed in particolare la telematica tende a modificare la vita dell'uomo, riducendo le prossimità spaziali ed aumentando la velocità di comunicazione. [...] A fronte di queste grandi innovazioni tecnologiche, le modifiche dei comportamenti della società acquistano importanza rilevante sia in generale, a scala sociale, che in particolare a quella dell'uomo nelle sue diverse azioni. [...] Un'architettura rigida, inadatta ad adeguarsi ad esigenze nuove e complesse può essere il maggior freno a qualsiasi tipo di evoluzione in ogni campo disciplinare. Andando ad analizzare gli spazi 'contenitori' ed i loro limiti, occorre porsi, nella progettazione, dei margini di validità capaci di consentire, secondo ipotesi ragionevolmente avanzate, l'adattamento delle strutture edilizie a nuove esigenze, in modo che le strutture costruite possano vivere il più a lungo possibile, mantenendo aggiornata la propria funzionalità"[12].

Anche il pensiero di Eduardo Vittoria, nella sua complessità, parte dal concetto di architettura come strumento che modifica l'ambiente preesistente al fine di realizzare una condizione innovativa e desiderabile dell'abitare. Dunque un'architettura mai definitiva, ma sempre posta in relazione alle mutevoli esigenze dei suoi destinatari, dei suoi fruitori, e perciò adattabile, flessibile e modificabile, e quindi leggera, com'è resa oggi possibile dallo sviluppo scientifico e tecnologico. "Nel rinnovato impegno tecnologico, che -chiariva Vittoria- coincide con la progettazione di una diversa condizione non dell'uomo ma del mondo, si situa quel processo di formazione dell'ambiente all'interno del quale gli uomini vivono e sono in rapporto tra di loro. Ambiente che è anche architettura, se per architettura intendiamo, seguendo la felice e ormai centenaria definizione di Morris, *l'insieme delle modifiche operate sulla superficie terrestre, in vista delle necessità umane, eccettuato il puro deserto*".[13]

La costante tensione verso l'indagine sperimentale come metodo di verifica e superamento degli assunti acquisiti, induceva Vittoria a dare della Tecnologia dell'Architettura "una specifica interpretazione orientata più che sulla acquisizione delle tecniche tradizionali di costruzione, sulla riformulazione del rapporto teoria-prassi della progettazione"[14]. E precisava: "La parola tecnologia, nel linguaggio corrente, ha un duplice significato: di 'studio teorico dei problemi generali della tecnica' e di 'studio dei procedimenti impiegati nella produzione industriale o in un determinato ramo di essa'. Se ne può aggiungere un terzo, più aderente a una tendenza del pensiero moderno, di 'inven-

zione del futuro', cioè di un modo di individuare, con un atto di immaginazione, una cosa o uno stato di cose che ancora non esistono e che sembrano per un qualche verso desiderabili"[15].

Nel corso degli anni, tanto nella ricerca che nella didattica, il campo della Tecnologia dell'Architettura si è ampliato ed articolato in una pluralità di specificazioni disciplinari secondo varie direttrici tese, però, unitariamente sia a dare contenuti ai nuovi insegnamenti istituiti dalle varie modificazioni degli ordinamenti didattici che si sono susseguiti a partire dagli anni '80 del secolo scorso; sia a porre attenzione ai molteplici aspetti legati al rapporto tra la tutela ambientale e lo sviluppo tecnologico nelle sue potenzialità e nei suoi limiti. Notevole rilevanza ha acquistato la disciplina della *Cultura tecnologica della progettazione* intesa come il complesso delle conoscenze relative alle pratiche tecniche e organizzative finalizzate alla modificazione dell'ambiente costruito che, presenti e in divenire in un determinato tempo e in un determinato contesto socio-culturale, vanno tenute in conto nell'atto progettuale ai fini della qualità del prodotto architettonico prefigurato nel progetto: "gli aspetti culturali, tecnici e non ultimi quelli etici -precisa Guido Nardi- sono il punto di partenza imprescindibile per un progetto che recuperi il suo carattere di attività condivisa collettivamente"[16].

E, sostiene Giovanni Guazzo, "gli studi di cultura tecnologica della progettazione, a differenza degli studi storici *tout court*, guardano al passato non per farne l'inventario, ma per vedere se in esso ci siano temi che, rivisti alla luce della contemporaneità, possano aprire a nuovi processi innovativi"[17]. E' da rilevare, inoltre, che se le tecniche e i processi di produzione sono sempre intervenuti come materiali sostanziali nella formazione del valore architettonico, tanto più diventa importante l'appropriatezza dell'opzione tecnologica in un momento in cui la ricerca e l'innovazione hanno moltiplicato le possibilità di scelta.

In una società ad industrializzazione avanzata, la formazione del progettista-architetto deve quindi potersi confrontare con la pluralità delle offerte fornite dallo sviluppo tecnologico e con la complessità delle loro interrelazioni, accogliendo gli stimoli creativi proposti dall'innovazione e imparando ad usare i nuovi strumenti disponibili.

Le tematiche legate all'ambiente costruito hanno trovato ampio sviluppo nella *Progettazione ambientale*. La cognizione di ambiente costruito, come scrive Giovanni Guazzo, "può essere ricavata mediandola da due diverse nozioni tra loro complementari: la nozione di 'ambiente' secondo l'accezione delle scienze naturali […] e la nozione di 'cultura' intesa secondo l'accezione delle scienze antropologiche"[18].

Il suo senso si specifica con Salvatore Dierna in "un sinonimo dell'idea stessa di trasformazione. Esso è continua e fluente compenetrazione dei sistemi naturali e, parallelamente, ininterrotta sovrappo-sizione di preesistenze civili e di nuove forme d'uso"[19]. L'in-

tervento di modificazione dell'ambiente "deve però essere concepito in termini diversi dal passato, […] non concependo più questo atto di volontà come un corrosivo agente di sovvertimento degli ordini antichi, ma piuttosto come veicolo per una normazione razionale dei comportamenti necessari"[20].

In funzione del controllo della qualità del costruito nella sua generalità, notevole attenzione ha riscosso la problematica relativa alla normativa tecnica intesa come sistema di regole che, a garanzia del soddisfacimento delle esigenze dell'utenza, definiscono le condizioni minimali delle qualità misurabili sia nella realizzazione delle nuove costruzioni che nel recupero del patrimonio edilizio esistente.

Più recente è il riguardo alle questioni della sostenibilità ambientale, ossia alla capacità di modificare l'ambiente caricandolo di nuove valenze, ma senza provocare danni sia in termini di qualità di vita e di rapporto uomo-natura, che di perdita di risorse in quantità non rinnovabili.

Un ulteriore, peculiare ambito di approfondimento è costituito dalla disciplina *Tecnologie del recupero edilizio* volta ad investigare la complessa problematica della tutela, conservazione, riuso e manutenzione del patrimonio edilizio esistente, particolarmente riguardo agli strumenti e ai metodi d'intervento appropriati per garantire la validità del rapporto esigenze-prestazioni nei processi evolutivi dell'uso degli edifici e degli spazi urbani.

Una particolare considerazione va fatta sul *Disegno Industriale* che, originariamente compreso nel settore tecnologico, è poi confluito, insieme con altre discipline, in un distinto settore scientifico-disciplinare e, nell'ambito della Facoltà, ha dato nome ad uno specifico Corso di Laurea. All'interno dell'area tecnologica, gli interessi disciplinari dei due settori della Tecnologia dell'Architettura e del Disegno Industriale hanno spesso trovato convergenza, integrandosi nell'offerta formativa dei corsi.

In sintesi, i contenuti scientifico-disciplinari del settore della Tecnologia dell'Architettura (ICAR/12), di cui al D.M. 23-12-1999, "riguardano le teorie, gli strumenti ed i metodi rivolti ad un'architettura sperimentale alle diverse scale, fondata sull'evoluzione degli usi insediativi, della concezione costruttiva e ambientale, nonché delle tecniche di trasformazione e manutenzione dell'ambiente costruito. Comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione; lo studio dei materiali naturali e artificiali; la progettazione ambientale, degli elementi e dei sistemi; le tecnologie di progetto, di costruzione, di trasformazione e di manutenzione; l'innovazione di processo e l'organizzazione della produzione edilizia; le dinamiche esigenziali, gli aspetti prestazionali ed i controlli di qualità".

[1] W. Morris, *Architettura e socialismo*, Bari, Laterza, 1963, p. 170.
[2] *Dizionario Enciclopedico Italiano*, Roma, Istituto dell'Enciclopedia Italiana fondato da G. Treccani, 1970.
[3] *Dizionario Enciclopedico di Architettura e Urbanistica*. Istituto Editoriale Romano, 1968, voce "architettura".
[4] Approvato con D.P.R. n. 995 in sostituzione del precedente O.D. di cui alla Tabella XXX del R.D. 30 sett. 1938 n. 1652.
[5] F. Chiaromonte, *Elementi di costruzione edilizia*, Firenze, Macrì.
[6] F. Donato, *Presentazione,* in *L'indirizzo tecnologico nella Facoltà di Architettura di Pescara*, Pescara, CeDIT, 1991, p. 10.
[7] *Ibidem.*
[8] *Tecnologia dell'Architettura*, Archivio di Documenti e Ricerche di Tecnologia dell'Architettura, n.1. Pubblicazioni dell'Istituto di Tecnologia dell'Architettura dell'Università di Roma diretto da Giorgio Boaga, Roma, Officina Edizioni, 1972, quarta di copertina.
[9] G. Boaga, *Tecnica, tecnologia e architettura: termini di una dialettica progettuale*, ivi, p.18.
[10] G. Ciribini, *Della cultura tecnologica della progettazione,* in *Il governo del progetto*, a cura di V. Gangemi e P. Ranzo, Bologna, Luigi Parma, 1987, p. 15.
[11] G. Ciribini, *La cultura progettuale,* in *Cultura e impegno progettuale*, a cura di V. Gangemi, Milano, Franco Angeli, 1992, pp. 53-54.
[12] P. Spadolini, *Evoluzione delle strutture ospedaliere*, riportata in P. Spadolini, *Architettura e civiltà industriale*, Firenze, Libreria Editrice Fiorentina, 1992, pp.45-46.
[13] E. Vittoria, *Tecnologia Progettazione Architettura*, "Casabella" n. 375, 1973.
[14] E. Vittoria, *Introduzione al programma coordinato dei corsi biennali di Tecnologia dell'Architettura*, Facoltà di Architettura di Napoli, aa. 1972-74.
[15] E. Vittoria, *Premessa comune al programma coordinato dei corsi biennali di Tecnologia dell'Architettura*, "Guida dello studente", Facoltà di Architettura, Università di Napoli, aa. 1976-77, pp. 169-170.
[16] G. Nardi, *La cultura del progetto in architettura oggi*, in L'architetto tra tecnologia e progetto, a cura di R. La Creta e C.Truppi, Milano, Angeli, 1994, p. 125.
[17] G. Guazzo, *Leggero/trasparente: appunti per una ricerca di cultura progettuale*, in *Trasparenti leggerezze*, a cura di M.Perriccioli, Ascoli Piceno, Rinascita, 1998, p. 22.
[18] G. Guazzo, C. Cocchioni, *Progetto e qualità ambientale*, Roma, Veutro, 1984, p. 20.
[19] S. Dierna, *Innovazione tecnologica e cultura dell'ambiente*, in *L'architetto tra tecnologia e progetto*, cit. p. 144.
[20] *Ivi*, p. 145.

Carlos Alberto Cacciavillani, Nina Maria Margiotta,
Claudio Mazzanti, Antonia Nardella

I mercati in ferro nel Regno d'Italia: ingegneri a confronto

L'Italia è giunta in ritardo alla formulazione di una propria manifestazione dell'architettura del ferro. Il motivo dominante risiede proprio nella sua particolare tradizione artistica ed architettonica così strettamente sedimentata, tanto da costituire per anni un modello di ineguagliata compiutezza espressiva.

A complicare ulteriormente il quadro è stato sicuramente anche il ritardo con cui l'Italia è arrivata alla propria Rivoluzione Industriale, avvenuta soltanto tra la fine dell'800 e i primi anni del '900. Questa situazione generale non ha giovato allo sviluppo di una nuova pratica espressiva profondamente legata ai ritmi e alle tecnologie del mondo industriale. Comunque l'Italia ha avuto una sua architettura del ferro la cui nascita ed evoluzione è stata strettamente condizionata dalle vicende del mercato europeo della ghisa, del ferro e dell'acciaio. Inizialmente nel nostro paese l'uso del ferro in architettura si è limitato alle sole opere di consolidamento e rafforzamento di edifici staticamente compromessi: questo attributo di presenza nascosta[1] e di elemento sussidiario ha pesato a lungo sulla cultura architettonica italiana, impedendo nuove intuizioni artistiche. Agli inizi del XIX secolo, infatti, la siderurgia in Italia si trovava in una condizione di notevole ritardo sia tecnologico che produttivo; la produzione era limitata alle aree situate nelle vicinanze delle miniere come in Valle D'Aosta, in Toscana, nella zona del bergamasco, in Umbria, nel Lazio e in Calabria, risultando ancora legata a processi di lavorazione artigianali relegati all'ambito familiare e fortemente condizionati dalle mutazioni climatiche e ambientali[2]. Ad ogni modo ad influire negativamente sullo sviluppo dell'architettura del ferro in Italia non è stata soltanto la frammentazione del territorio e l'arretratezza dei processi produttivi, ma soprattutto un dichiarato atteggiamento conservatore, avverso alle innovazioni scientifiche e tecnologiche, accentuato soprattutto dopo la parentesi napoleonica e l'avvento della Restaurazione. Questo non escludeva un lento affermarsi della ricerca tecnologica anche se l'ideologia proibizionista aveva contribuito ad allontanare la sperimentazione e la ricerca scientifica verso il Nord Europa, dove regnava un più evidente liberalismo[3]. Con il tramontare dell'ideologia barocca si fece strada sempre di più una nuova filosofia compositiva basata sulla razionalità e sulla funzionalità volta ad un profondo rispetto delle proprietà fisiche e organiche del materiale. L'architettura del ferro con la sua semplicità e grandiosità espressiva iniziò a intervenire nella città trasformandola. In Italia si posso-

no isolare delle costanti ontologiche di comportamento che saranno presenti sia nella fase iniziale dello sviluppo dell'architettura del ferro, sia durante tutta la sua evoluzione fino alla decadenza, esse sono: la dipendenza dall'estero, se si considera il notevole distacco tecnologico e strutturale delle nazioni più avanzate rispetto all'Italia; il carattere sovranazionale, in un clima in cui si cercava sempre più di valorizzare le tradizioni locali; la stessa architettura del ferro, da sempre creativa rispetto al contesto nazionale che aveva contribuito all'introduzione di nuovi parametri compositivi e tecnologici; l'univocità delle forme d'intervento, esplicita soprattutto attraverso la persistenza di schemi tipologici destinati all'uso collettivo quali ponti, stazioni, gallerie e mercati[4]. Questi ultimi segnarono l'inizio di un processo di ridistribuzione dei beni ambientali fino a poco tempo prima considerati prerogativa di una ristretta classe sociale. Negli anni compresi fra il 1860 e il 1935 in Italia si realizzarono moltissimi edifici adibiti a mercato coperto: ogni città per poter assolvere alle mutate esigenze della società moderna, cercò di dotarsi degli impianti necessari per un corretto svolgersi delle attività commerciali[5].

Nei maggiori centri come Torino, Milano e Firenze la creazione di queste strutture rientrava in una visione molto più ampia di riqualificazione urbana, che prevedeva anche la demolizione e la riprogettazione dei centri storici. L'esigenza di dare all'edificio adibito ad attività commerciali una caratterizzazione formale ben definita si avvertiva anche nei centri minori. L'avvento delle nuove tecniche edilizie basate sull'uso del ferro e vetro diede il via ad una serie di sperimentazioni di nuovi sistemi strutturali che potevano essere applicati liberamente solo in costruzioni che non avevano un legame con le tradizioni costruttive del passato: sarà la figura dell'ingegnere che riuscirà a proporre soluzioni adeguate per ogni singolo edificio destinato al mercato.

Tra gli edifici maggiormente rappresentativi dell'architettura in ferro del Regno d'Italia troviamo:

- a Torino il Mercato delle Erbe del 1860-61 e il Mercato in Piazza Bodoni del 1866;
- a Palermo i Mercati coperti di Giuseppe Damiani Almeyda, il primo del 1869 e il secondo del 1874;
- a Firenze il Mercato di Sant'Ambrogio del 1872 e il Mercato Centrale di San Lorenzo del 1873;
- a Soresina, in provincia di Cremona, il Mercato dei Bozzoli del 1886;
- a Lecce il Mercato coperto delle Erbe del 1898.

Nel XX secolo:

- a Nettuno, in provincia di Roma, il Mercato coperto del 1910;
- a Milano il Mercato di Porta Vittoria del 1911;
- a Torino la Tettoia dell'Orologio del 1916;
- a Cosenza il Mercato coperto dell'Arenella del 1934.

Il Mercato delle Erbe a Torino del 1860-61, progettato dall'ingegner F.

Piattini, fu commissionato dal Comune di Torino e copriva una superficie pari a 919mq. L'ingegnere presentò nel 1860 un progetto interamente a struttura metallica per un Mercato delle Erbe da collocarsi nell'area urbana compresa tra la via della Zecca, attuale via Verdi, e la via Montebello. Il progetto ottenne l'approvazione e quindi l'ingegnere ne realizzò un secondo che prevedeva una copertura a padiglione sostenuta da incavallature di 20m di luce senza appoggi intermedi e munita di una vetrata sostenuta da montanti appoggiati a dei puntoni ad un terzo della lunghezza partendo dal colmo; tutta la carpenteria metallica era realizzata con profili metallici a doppio T[6]. Il sistema di smaltimento delle acque piovane consisteva in canali di scolo separati dai pilastri di sostegno della struttura in modo da poter essere sostituiti in caso di danneggiamento, senza che si dovesse demolire una parte dell'edificio. Questo progetto fu esaminato dall'ingegnere Alessandro Mazzuchetti per valutarne la stabilità e per redigere la perizia di spesa. In base alla sua analisi e secondo le sue indicazioni, il progettista modificò la proposta ma la Commissione giudicatrice non si ritenne soddisfatta né delle modifiche apportate, né dell'eliminazione di ulteriori elementi decorativi e nonostante il Piattini avesse incaricato per l'esecuzione della struttura metallica la ditta Forêt di Parigi per ridurre ulteriormente i costi, il progetto non venne accettato ed il mercato non fu mai costruito.

Il Mercato in Piazza Bodoni, sempre a Torino, del 1866 fu progettato dagli ingegneri E. Pecco e C. Velasco su commissione del Comune torinese, esso occupava una superficie di 1.932mq e fu demolito nel 1924. La sistemazione di Piazza Bodoni fu il risultato di un progetto di espansione urbanistica del tessuto cittadino, effettuato per la città di Torino e molto ricorrente in tutte le maggiori città europee dell'Ottocento. Tra il 1864 e il 1866 fu costruita la tettoia da adibire allo smercio di latticini, pollame, frutta ed erbaggi, la cui struttura portante originariamente in ferro e legno fu debitamente mascherata all'esterno da una facciata in muratura secondo l'usanza del tempo. La pianta dell'edificio era quasi quadrata delle dimensioni di 42,30m per 45,60m con una parte centrale ottagonale coperta da una tettoia a cupola[7].

A Palermo i due Mercati coperti dell'ingegnere Giuseppe Damiani Almeyda furono commissionati al progettista dal Comune. Il primo, la cui superficie era pari a 1200m, fu costruito nel 1869 e distrutto da un incendio nel 1889; il secondo era di pari estensione e fu demolito durante il periodo della Prima Guerra Mondiale. Giuseppe Damiani Almeyda nel 1860 aveva progettato, come ingegnere Mandamentale, il piano-tipo dei Mercati per la città di Palermo: si trattava di un prototipo per una Piazza Mercato da ripetere in diverse condizioni contestuali[8]. Il primo dei due mercati che venne costruito sorse fuori Porta San Giorgio, nella Piazza dei XIII Martiri, oggi Piazza XIII Vittime e fu terminato nel 1869. Di impianto rettangolare, era situato alla

confluenza fra due strade e occupava solo in parte un ampio lotto su cui sorgeva il corpo di fabbrica, che era circoscritto da una serie regolare di pilastri in ferro, collocati a delimitare tutta l'area scoperta per le attività promiscue. La particolare soluzione derivava dalla conoscenza dell'ing. Giuseppe Damiani Almeyda dei grandiosi esempi di mercati generali europei tra i quali *Les Halles Centrales*. Il secondo mercato realizzato fu quello collocato nel cortile degli Aragonesi la cui struttura fu portata a termine successivamente, anche questo aveva un impianto rettangolare e si distingueva per la presenza di 14 scale a chiocciola situate intorno ai pilastri principali che conducevano ai sotterranei[9]. Questi edifici furono ignorati completamente dalla popolazione restia ad abbandonare tradizioni consolidate da secoli e aboliti dopo pochi anni.

Il Mercato di Sant'Ambrogio a Firenze del 1872 fu progettato dall'ingegnere Giuseppe Mengoni su commissione del Comune fiorentino. Il progetto risaliva al 1869 e prevedeva una superficie coperta di 1.335,25mq, ma la costruzione avvenne nel 1872. In un periodo di grande sistemazione urbanistica per la città di Firenze, si pensò alla costruzione di una piazza che potesse ricordare l'architetto del Rinascimento Lorenzo Ghiberti, così nel 1873 questa piazza fu tracciata fra gli orti nei pressi della casa in cui l'architetto aveva abitato. Per raggiungere tale scopo furono abbattute molte case nella zona di Sant'Ambrogio e il risultato raggiunto fu un nuovo quartiere denominato della Mattonaia. Nella nuova piazza l'ing. Mengoni progettò e costruì il grande mercato coperto. Inaugurato nel 1873, esso sostituì il mercatino di San Pietro e la vendita della frutta e verdura lungo le stradine a ridosso di esso. In un primo progetto questa struttura doveva affiancare il Mercato Centrale di San Lorenzo come costruzione secondaria ma, sebbene Mengoni nella progettazione dell'edificio seguì gli stessi indirizzi architettonici di quello di S. Lorenzo, la struttura finale risultò profondamente diversa[10]. L'edificio realizzato infatti è composto da un grande padiglione in ferro e ghisa.

Il Mercato Centrale di San Lorenzo a Firenze del 1873 fu progettato dallo stesso ingegnere Mengoni e commissionato dal Comune; il progetto era del 1869 ma fu realizzato nel 1873 con una superficie pari a 6.134mq.

Questo mercato unitamente ai due mercati succursali di Sant'Ambrogio e San Frediano, rientra in quel insieme di trasformazioni urbane previste dal piano regolatore di Giuseppe Poggi, in occasione del trasferimento della capitale da Torino a Firenze. Esso è il primo mercato moderno coperto costruito a Firenze, di ispirazione parigina, infatti ricalca la tendenza urbanistica ed architettonica che aveva ispirato la costruzione de *Les Halles Centrales*. Il 28 gennaio 1865 il Municipio deliberò l'esproprio dei fabbricati chiamati Camaldoli di San Lorenzo poiché al loro posto sarebbe sorto il nuovo Mercato Centrale. Questo occupa l'intero isolato delimitato dalle vie Panicale, San

Antonino, dell'Ariento e via Chiara ed è costituito da due organismi ben riconoscibili: la parte basamentale in muratura a bugne di pietra serena in cui si alternano grandi arcate chiuse da infissi vetrati e una vasta ma leggera tettoia in ferro e vetro formata da una parte centrale emergente rispetto alle due laterali più basse. Queste due strutture diverse per stile e tecnica edilizia sono legate insieme per formare un nuovo organismo: il basamento contenitore delle attività commerciali e la camera di luce sovrapposta espressione della nuova epoca moderna. La costruzione di mercati in ferro e vetro ha rappresentato un fatto nuovo per la cultura architettonica fiorentina.

Il Mercato dei Bozzoli a Soresina in provincia di Cremona del 1886 fu commissionato dal Comune di Soresina alla Ditta Miani Venturi & C. di Milano che curò il progetto e la realizzazione con una superficie pari a 445,33mq. In molte regioni italiane del XIX secolo era fiorente la produzione serica ottenuta dal baco da seta. Nella provincia di Cremona, il comune di Soresina spiccava per il suo notevole contributo; nel 1835 il Governo austriaco aveva autorizzato l'istituzione sperimentale di un mercato annuale dei bozzoli. Nella primavera del 1886 l'amministrazione comunale chiese alla prefettura di Cremona le autorizzazioni necessarie per costruire un mercato coperto sull'area già destinata dal 1851 al mercato del pesce e della verdura. La tettoia del mercato coperto fu montata in meno di un mese. La struttura tuttora esistente misura 35m di lunghezza per 9m di larghezza, è costituita da 10 colonne in ghisa alte 5 m distribuite alla distanza di 8,5m nelle luci di estremità e 9m in quelle intermedie. Il lucernario posto nella parte centrale misura 18m per 4m; le campate che reggono le centine per le lamiere ondulate sono nove, divise ciascuna in due parti imbullonate e trattenute da nove tiranti[11].

Il Mercato Coperto delle Erbe a Lecce del 1898, con una superficie di 360 mq, fu progettato dall'ing. Pasquale Ruggieri, costruito nel 1898 e demolito nel 1982. La tettoia metallica nacque per soddisfare la duplice necessità di offrire un riparo dal sole e dalle intemperie alla vendita degli erbaggi che avveniva all'aperto nella Piazza delle Erbe e nel contempo, di liberare da tale attività un importante collegamento viario, l'attuale via G. Marconi, lungo la quale passava la tramvia elettrica. Per motivi e considerazioni di ordine finanziario il nuovo mercato fu collocato nello spazio tra i bastioni del lato sud del Castello costruito tra il 1532 e il 1549 dal Viceré Don Pedro de Toledo; il sostegno offerto dalle mura, infatti, consentiva un'evidente risparmio strutturale ed economico. La tettoia fu prefabbricata nella Fonderia C. Lindemann di Bari, come riportato dalla scritta in rilievo in un plinto in ghisa di una colonna e costruita nel 1898. Nel 1982 è stata smontata con la previsione di ricostruirla in un luogo differente: essa si componeva di un lungo capannone rettilineo, lungo circa 60m, costituito da una copertura formata da tre livelli decrescenti dalle mura alla strada.

Il Mercato coperto di Nettuno, in provincia di Roma, commissionato agli ingegneri Talenti di Roma e Serri di Salò dall'amministrazione comunale, fu realizzato intorno al 1910 con una superficie coperta di 160mq; fu demolito durante la Seconda Guerra Mondiale. L'edificio era a pianta rettangolare di 27,50m per 5,80m coperto da una tettoia a due spioventi, con un piccolo timpano centrale che sottolineava l'ingresso principale. La pianta era divisa in due zone da un corridoio dal quale si poteva accedere ai due ingressi coperti della zona dedicata alla vendita degli erbaggi e frutta a sinistra, del pollame e pesce a destra, come indicato dai cartelli collocati ai lati del cancello d'ingresso e fusi insieme alla cancellata perimetrale. Tutta la tettoia era circondata da una decoratissima mantovana metallica. La struttura della copertura poggiava su 26 colonnine di ghisa e l'intera costruzione era sollevata dal livello stradale da un basamento in muratura rivestito di marmo. Tutti i lavori di muratura, copertura in eternit e banchi di marmo interni furono eseguiti dall'impresario Emilio Rosa, costruttore anche del nuovo Palazzo Comunale di Nettuno. Il marciapiede che costeggiava tutto il perimetro del mercato era in cemento battuto con ciglio di travertino, l'ingresso principale invece era pavimentato con selci in calce.

Il Mercato di Porta Vittoria a Milano del 1911 fu commissionato dall'Ufficio Tecnico Comunale della città e l'incarico fu affidato agli stessi ingegneri dell'Ufficio; la superficie coperta era di 70.000mq. Il mercato di Porta Vittoria rappresentò uno degli ultimi grandiosi esempi dell'architettura del ferro realizzati in Italia alle soglie della Prima Guerra Mondiale. Era conformato come un'insula ellittica nel quadrante est della città, ed occupava l'intero isolato delimitato da Corso XXII Marzo, viale Umbria, via Cadore e via Anfossi. Il complesso del mercato era costituito da un insieme di edifici in muratura e tettoie metalliche disposti su tre file di anelli concentrici: l'anello esterno era formato da fabbricati in muratura con tettoie metalliche per i negozianti, i due anelli interni invece erano composti da tettoie che davano riparo all'attività dei produttori e dei rivenditori; la loro struttura era completamente metallica. Il complesso del Mercato di Porta Vittoria è stato demolito nel 1964 ma a testimonianza della sua esistenza è stato mantenuto uno dei due edifici amministrativi denominato Palazzina Liberty.

La Tettoia dell'Orologio a Torino su progetto della Società Nazionale Officine di Savigliano fu commissionata dall'amministrazione comunale; la costruzione avvenne nel 1916 e la sua estensione era di 900mq. L'edificio del mercato coperto situato nell'attuale ottagonale Piazza della Repubblica fa parte di quel insieme di attività commerciali esercitate sia in costruzioni chiuse, sia sotto tettoie o banchi di vendita a cielo aperto, montati e smontati ogni giorno, denominato "Mercato di Porta Palazzo". Nel 1913, con una delibera della Giunta municipale del 28 maggio, fu approvata la riforma e il riordinamen-

to dei mercati municipali di piazza Emanuele Filiberto. La tettoia dell'Orologio rimane l'unica opera realizzata poiché la costruzione della tettoia gemella, nel quadrante nord-ovest, venne sospesa a causa dell'aumento dei prezzi dei materiali da costruzione dovuto allo scoppio della Prima Guerra Mondiale. Il Mercato dell'Orologio è composto da un edificio principale a tre luci, contornato da tre tettoie minori ad una sola luce. L'edificio a tre luci ha una larghezza massima, misurata tra gli assi dei sostegni esterni, di 24m e poggia sopra quattro file di pilastri distanti 8m in senso trasversale. Le tettoie ad una sola luce sono sostenute da due file di pilastri posti alla distanza tra i loro assi, nel senso trasversale, rispettivamente di 8m, 9m, 5m e nel senso longitudinale ad una distanza variabile da 4m a 6,5m.

Il Mercato Coperto dell'Arenella a Cosenza del 1934 fu commissionato dal Comune e copriva un'area pari a 375mq. La tettoia di Piazza dell'Arenella a Cosenza rappresenta uno degli episodi più tardi dell'architettura del ferro in Italia nell'ambito delle costruzioni adibite a mercato coperto. Nonostante la sua realizzazione risalga al 1934, essa presenta caratteristiche e tratti ottocenteschi tipici delle tettoie metalliche di fine secolo. Di pianta rettangolare, è costituita da una sequenza di otto sottili pilastri in ghisa che sorreggono una copertura a padiglione con lanterna centrale. La struttura della copertura è tutta realizzata con travi reticolari formate da profilati a L saldati insieme a T; per le giunzioni sono state utilizzate delle piastre bullonate. In questo caso l'utilizzo della trave reticolare ha permesso l'eliminazione della catena che veniva utilizzata nell'Ottocento, per assorbire le spinte laterali. Un secondo ordine di controventature sostiene le lastre di copertura che originariamente erano in eternit. La tettoia è circondata da una pensilina sostenuta da mensole che partono dal sistema di travature principale. L'impianto di smaltimento delle acque utilizza l'interno delle colonne cave alla maniera ottocentesca. Recentemente il mercato è stato oggetto di restauri che hanno riguardato la sostituzione delle lastre in eternit della copertura con fogli di rame.

In questi esempi, totalmente o parzialmente realizzati in ferro e ghisa, generalmente l'uso dell'organismo metallico riguarda esclusivamente la copertura per il suo carattere di leggerezza strutturale e per l'economia di realizzazione. Sono rari i casi di edifici adibiti a mercato interamente realizzati in ferro e vetro, probabilmente per questioni legate in modo particolare all'irraggiamento solare che avrebbe provocato una sorta di effetto serra nocivo per la conservazione delle derrate alimentari.

Molto diffuse sono soprattutto le tettoie aperte interamente e realizzate in struttura metallica, progettate dagli ingegneri, che rappresentano degli esempi interessanti di applicazione del nuovo materiale e di elevato valore espressivo: alcune di queste tuttora esistenti assolvono ancora oggi egregiamente il loro compito a distanza di più di un secolo.

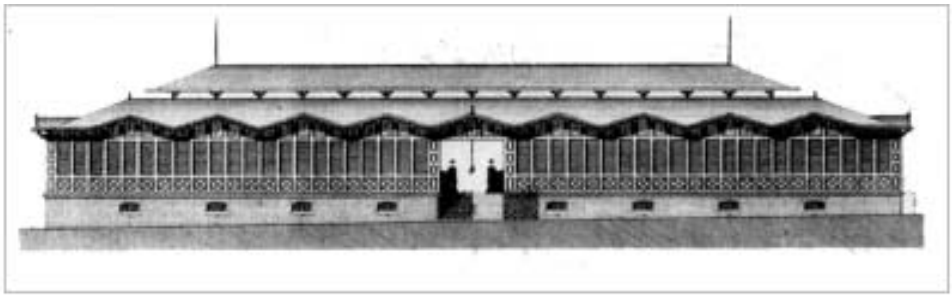


Fig. 1 - G. Damiani Almeyda. Mercato in Piazza dei XIII Martiti, Palermo 1869. Progetto del prospetto sul lato maggiore. Nuovi Annali di Costruzioni Arti-Industrie, I (1869)

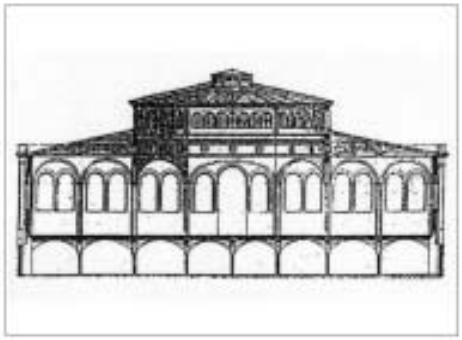


Fig. 2 - E. Pecco e C. Velasco. Mercato in Piazza Bodoni, Torino 1866. Sezione. Archivio Storico comunale di Torino.

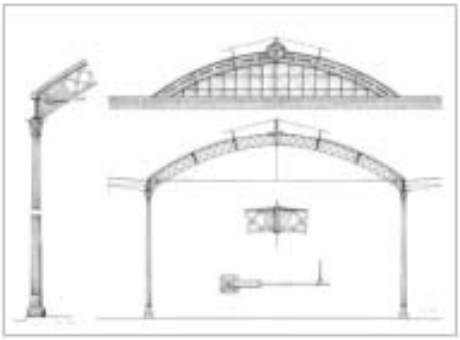


Fig. 3 - Ditta Miani Venturi. Mercato dei Bozzoli, Soresina (Cr) 1886. Sezione e particolari della tettoia.



Fig. 4 - P. Ruggieri. Mercato coperto delle Erbe, Lecce 1898. Epoca della tranvia Lecce-San Cataldo. Archivio, A. Sabato, Lecce.

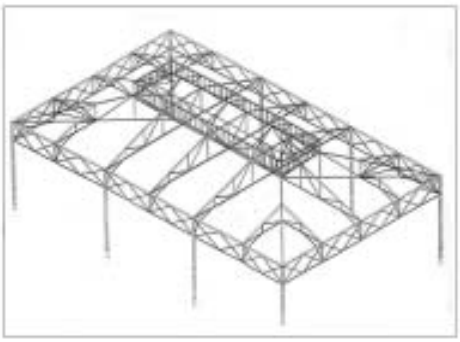


Fig. 5 - Mercato dell'Arenella, Cosenza 1934. Schema assonometrico del sistema strutturale.

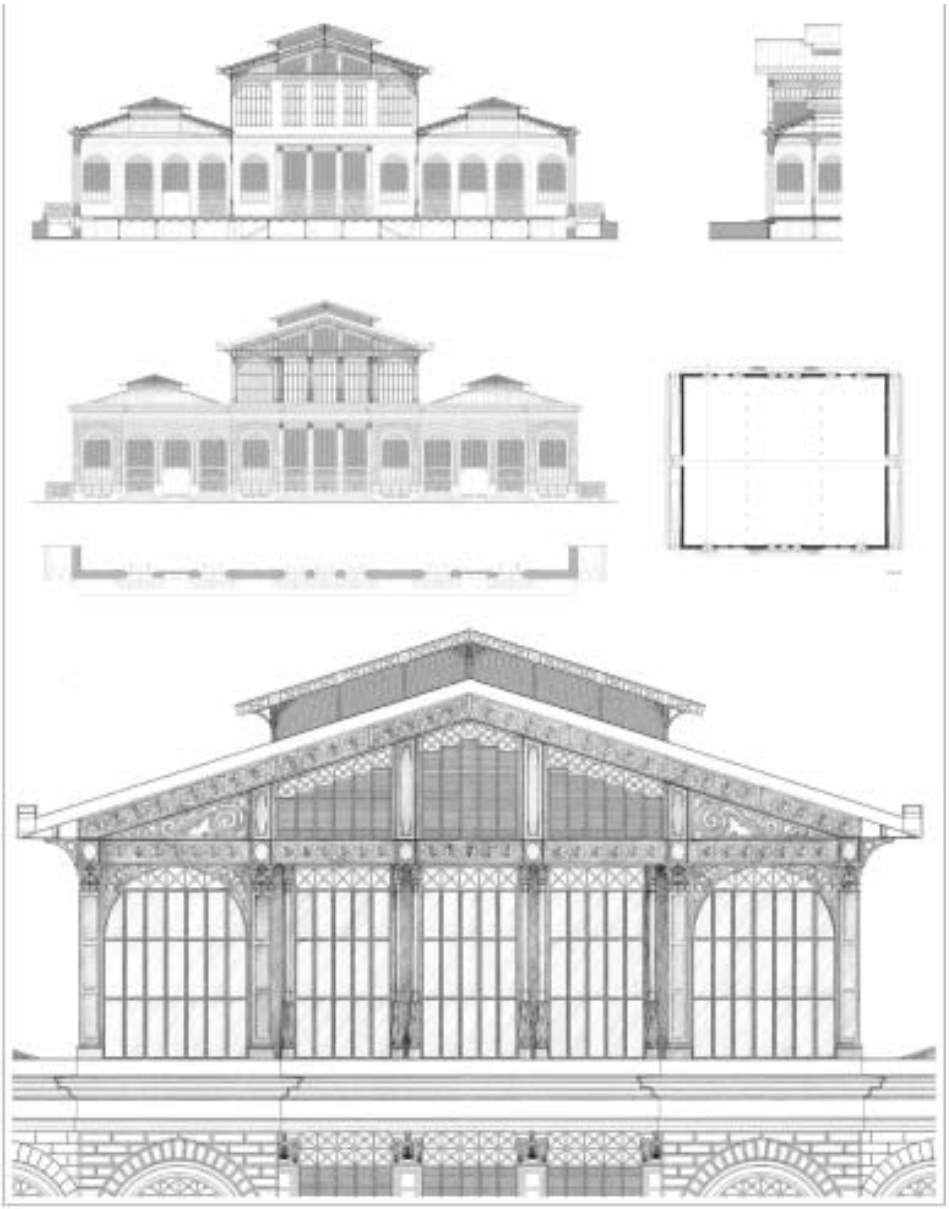


Fig. 6 - G. Mengoni. Mercato Centrale di San Lorenzo, Firenze 1873.
Dall'alto: sezione trasversale e particolare della sezione longitudinale.
Al centro: prospetto principale, pianta e particolare della pianta.
In basso: particolare del prospetto principale.

La figura dell'ingegnere, in questa analisi a confronto dei mercati in ferro nel Regno d'Italia, spicca per originalità e motivazioni. Le soluzioni proposte per i mercati che abbiamo studiato sono il risultato raggiunto attraverso la conoscenza, permeata di elevata cultura, di questi professionisti che realizzarono opere pubbliche di singolare valore in un periodo di grande fermento nella società italiana ed europea con la nascita delle scuole di ingegneria, di cui le figure esaminate sono l'espressione più rappresentativa.

[1] R. JODICE, *L'Architettura del ferro. L'Italia (1796-1914)*, Roma, Bulzoni Editore, 1985, p. 5.
[2] G. E. RUBINO, *Aspetti e problemi della siderurgia pubblica in Calabria dal sec. XVIII all'unità*, in "Restauro. Quaderni di restauro dei monumenti e di urbanistica dei centri antichi" n. 38-39, Napoli, 1978.
[3] L'anti-industrialismo era incarnato proprio in questa società italiana di fine '800, ma nonostante ciò l'architettura riuscì a dare il via alla sperimentazione tecnologica sull'uso del ferro e della ghisa.
[4] R. JODICE, *op. cit*., p. 15.
[5] L'edificio del mercato ha subito nei secoli una serie di mutamenti formali che lo hanno portato ad adattarsi continuamente alle esigenze delle diverse società susseguitesi nel tempo; solo alla fine dell'800 si formula una vera e propria teoria sulle caratteristiche e sulle condizioni che un mercato deve soddisfare.
[6] M. LUCAT, *Un importante mercato mai costruito. Il Mercato delle Erbe*, in AA. VV., *Mercati coperti a Torino*, Torino, Celid, 2000, p. 41.
[7] La concezione formale derivava direttamente dal tipo costruttivo francese delle *Halles Centrales*, con la caratteristica forma a *paraplui* già proposta dall'ing. Piattini nell'*avant project* del Mercato delle Erbe.
[8] A. FUNDARÒ, *Palermo 1860-1880: un'analisi urbana attraverso progetti ed architetture di Giuseppe Damiani Almeyda*, Palermo, Stampatori Tipolitografi Associati, 1974, p. 26.
[9] La copertura in ferro e vetro a doppia falda, elegante e leggera, poggiava su pilastri in successione regolare lungo tutta la superficie. I pilastri coincidevano con la posizione delle scale a chiocciola così da non interferire con la distribuzione delle attrezzature di vendita realizzate in muratura.
[10] G. TAMPONE, *I mercati di S. Lorenzo e S. Ambrogio a Firenze. Forma, concezione strutturale e criteri di consolidamento*, in *Giuseppe Mengoni: ingegnere-architetto, 1829-1877*, a cura di B. Bonantini, Imola, Edizioni Cooperativa Marabini, 1994, p. 86.
[11] STUDI STORICI SORESINESI, *1886 Soresina ha la tettoia per il mercato dei bozzoli*, in "Cronaca soresinese", XXX (1986), p. 55.

M. Beatrice Bettazzi

Bologna e l'innovazione tecnologica fra Otto e Novecento: note attorno al carteggio Attilio Muggia-François Hennebique

Gli studi sulla figura di Attilio Muggia (1860-1936), iniziati da Giuliano Gresleri, responsabile, come è noto, di una lunga e feconda campagna di ricerche sulla Bologna post-unitaria[1], sono stati alimentati dalla tesi di laurea di Paolo Lipparini[2] che ha anche il merito di aver rintracciato l'archivio professionale e di averne compiuto una prima sommaria catalogazione. Di recente, poi, il corpus documentale, depositato all'Ordine degli Architetti di Bologna, si è arricchito di un'ulteriore appendice, fortunosamente reperita sul mercato antiquario[3], consentendo così una lettura assai più completa ed approfondita dell'opera dell'ingegnere bolognese.

Se in questa sede non mi è possibile esaurire la complessità della figura, cardine per le vicende bolognesi ed italiane, ma altresì, come vedremo, investita di incarichi a livello internazionale, posso però accennare ad alcuni aspetti del suo operato che giudico interessanti ai fini di un più ampio dibattito sulla storia dell'ingegneria e sul ruolo dei suoi professionisti[4].

Muggia si forma alla locale Scuola di Applicazione per gli Ingegneri dove si laurea nel 1885, migliore allievo del suo corso. Talento precocemente votato alla didattica, diventa subito assistente del prof. Canevazzi, docente di Meccanica applicata alle costruzioni, fra i pionieri nell'uso e nella teorizzazione del cemento armato. Nel 1891 ottiene la libera docenza in Architettura tecnica, disciplina di cui diventerà ordinario nel 1912.

L'opera spesa a beneficio della Scuola degli Ingegneri gli varrà la nomina a Direttore, fra il 1923 e il 1927. Sono questi anni intensissimi di attività sia nell'ambito accademico così come nella sfera professionale. Al suo attivo, infatti, ha già premi e riconoscimenti a numerosi concorsi, tra cui il primo premio ex aequo nel concorso per la Sinagoga di Roma (1890), eseguita poi da O. Armanni e V. Costa, e, cinque anni più tardi, un importante riconoscimento per il suo progetto per il Museo delle Antichità Egizie al Cairo, di cui rimangono disegni di sublime perizia grafica. Inoltre si è distinto nella costruzione della moderna città, nodo viabilistico di commerci e affari, che ha, nell'asse di collegamento con la stazione, un biglietto da visita di grande impatto. Qui Muggia porta a compimento due edifici per civili abitazioni, porticati e con attività commerciali al piano terreno, Palazzo Maccaferri (1896) e Palazzo Bacigalupo (1898), ma già nel 1892, insieme a Tito Azzolini, aveva dato uno scenografico sfondo alla piazza antistante la Stazione Centrale con la Scalea che conduce al giardino pubblico della Montagnola, il cosiddetto "Pincio" bolognese. E' autore anche di numerose



Fig. 1 – Archivio Storico dell'Università di Bologna, Sezione Architettura – Fondo Muggia Progetto per la Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna, Particolare del Corpo Centrale (1920-25)

tombe al Cimitero Comunale della Certosa, nonchè di edifici privati e interventi pubblici culminati, negli anni fra il 24 e il '26, nella ristrutturazione di un palazzo storico cittadino per la sede del Banco di Napoli, e nelle numerose varianti per la nuova sede della Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna, realizzata poi nel 1935 con un progetto del Consorzio Edifici Universitari insieme a uno dei suoi più brillanti allievi, Giuseppe Vaccaro, coinvolto per la parte artistica[5].

Attilio Muggia dà forma alla propria architettura secondo i dettami dell'allora corrente stile eclettico, anche se, in numerosi suoi scritti dichiara la necessità di una depurazione totale dal decorativismo fine a se stesso, facendo professione di fede, almeno a parole, per un funzionalismo che nulla ha da invidiare ai radicali proclami modernisti.

La carriera di Attilio Muggia è però costellata da una ancora più intensa attività di costruttore di ponti -ricordiamo il Ponte in c.a. ad otto arcate sul Po a Piacenza (1900) e quello a 5 arcate ribassate sul Magra a Caprigliola (1904) - e strutture in cemento armato, come testimoniano le infinite voci di inventario del suo archivio professionale -solo per i ponti si contano 181 fascioli- , archivio che conserva di quasi tutti i progetti l'intero sviluppo ideativo ed esecutivo, dallo schizzo preliminare, ai computi, ai disegni tecnici, ai particolari costruttivi, alla corrispondenza.

Si diceva del rilievo non solo locale del suo operato: membro, fra i vari incarichi bolognesi, della Commissione Consultiva Edilizia Comunale e di quella Provinciale conservativa dei monumenti, ebbe un ruolo di primo piano all'interno della Federazione Nazionale Ingegneri Architetti di cui fu vice presidente, ma sopratutto rappresentò l'Italia in qualità di giurato del concorso per il Palazzo della Società delle Nazioni di Ginevra, a fianco di V. Horta, K. Moser, H. P. Berlage, J. Hoffmann solo per ricordare i più celebri.

Meno note ma altrettanto significative sono le sue ricerche sulle potenzialità petrolifere dell'Appennino emiliano che egli presentò a numerosi congressi internazionali procurandosi meriti e riconoscimenti[6]. Se quanto detto finora è in qualche misura già noto, vorrei ora fo-

calizzare l'attenzione su una questione che trae nuova linfa alla luce delle recenti acquisizioni documentarie.

Negli oltre trecento fascicoli che l'ASUB-SA (Archivio Storico dell'Università di Bologna, Sezione Architettura) ha acquisito emerge con chiarezza il denso rapporto che Attilio Muggia intrattiene con un interlocutore, ai tempi, prestigioso e in fase di grande lancio, François Hennebique (18421921). Come è noto[7], l'imprenditore francese, nel 1867, fonda l'impresa che costruisce inizialmente la propria fortuna sul restauro delle chiese gotiche del nord. La letteratura critica avanza l'ipotesi che l'attenta osservazione del sistema costruttivo archiacuto avrebbe fatto sorgere in lui l'idea che porterà, dopo quindici anni di studi ed esperimenti effettuati in gran segreto, al brevetto del 1892 per la prima trave moderna in conglomerato cementizio armato con staffe e ferri piegati[8], pubblicizzato poi col motto: "plus d'incendies désastreux".

A questo punto Hennebique ha un'ulteriore intuizione. Chiude l'impresa e apre uno studio tecnico punto di riferimento per gli agenti procacciatori di commesse da eseguirsi col suo brevetto e per le imprese concessionarie, responsabili attive della direzione dei cantieri. Un'intensa attività pubblicitaria e la creazione di una rivista, *Le Béton Arm*é[9]*,* che dal 1898 collega e informa gli affiliati e il pubblico dei professionisti, rendono il *systhème Hennebique,* pur con tutti i limiti, uno fra i più noti e praticati.

Come si diceva, le carte dell'ASUB-SA, attestano i contatti intercorsi fra Hennebique e Muggia attraverso una corrispondenza che si snoda per oltre due anni, fra il 1897 e il 1899. E' qui documentata la fase di avvio della collaborazione economica e imprenditoriale che porterà il professionista bolognese a divenire concessionario del Sistema Hennebique per Emilia Romagna, Toscana e Marche.

Muggia, allievo di Silvio Canevazzi, ne eredita l'interesse e la competenza per l'innovazione strutturale. Intuisce subito le potenzialità e le nuove frontiere che il cemento armato stava aprendo e si applica a fondo in studi e pubblicazioni che culminano in un intervento del 1899 presso la Società Toscana degli Ingegneri e nell'opuscolo *Sulle costruzioni in cemento armato,* che esce nel 1900. Egli non è solo un teorico, ma con spirito imprenditoriale, dirige, dal 1905 al 1928, la Società di Costruzioni Cementizie, con sede a Bologna e a Firenze, presso la quale, dal 1913, si farà le ossa, per diversi anni, il suo promettente allievo Pier Luigi Nervi.

Il carteggio si compone di 25 lettere da e per Muggia. Il suo interlocutore è variamente Hennebique stesso o un collaboratore da Bruxelles, poi la figlia e il di lei marito George Flament da Parigi. I rapporti epistolari prendono avvio il 12 febbraio 1897 con una lettera di Muggia a Hennebique che fa riferimento ad un loro precedente incontro a Roma. Si può ipotizzare che sia stato in occasione della costruzione di alcune passerelle per il Policlinico Umberto I, uno dei primi lavori del tecnico francese in Italia, avvenimento che risalirebbe proprio al 1897[10].

Il tono del bolognese è diretto: chiede calcoli e disegni per numerosi progetti in corso in quel momento in città e solo nella chiusa fa un veloce e sibillino riferimento a «ce que nous avons causé a Rome» che, da una lettera successiva, troviamo conferma trattarsi della regolarizzazione, anche economica, del loro rapporto. Infatti Muggia chiede di poter godere delle stesse condizioni fissate a Giovanni Antonio Porcheddu (1860-1937)[11]. Questi, titolare dell'omonima impresa torinese, per primo aveva importato in Italia il brevetto. La sua posizione nei confronti della casa-madre subisce fluttuazioni a seconda dei periodi: Porcheddu infatti figura talvolta come semplice concessionario oppure come tale ed anche agente generale per l' "Alta Italia"[12]. Al suo attivo oltre alla realizzazione del Lingotto a Torino, va annoverato nel 1911 il Ponte Risorgimento a Roma, per i cento metri di luce del grande arco, record mondiale imbattuto fino al 1921.

La questione della parità delle condizioni fra concessionari emerge in varie altre occasioni fino al punto di fare esclamare a Muggia: "Nous devons être tous vos fils bien-aimés, comme vous avez dit!"[13].

In effetti il legame che deve unire la grande famiglia non viene lasciato al caso ma fa parte di una accorta politica che oggi diremmo di "fidelizzazione" fra corpo dirigente, la famiglia Hennebique, e collaboratori, che qui si esplica nei toni di un rapporto quasi filiale. Una temperatura calda e coinvolgente, addirittura, connota la scrittura della figlia di Hennebique che bacchetta Muggia per non essere intervenuto al congresso annuale del 1899, occasione per "ritrovarsi in famiglia" e vivere momenti "cordiali e intimi"[14] (Fig. 2). Altrove, invece, come rileva Jacques Gubler, prevale invece la metafora militare[15].

Gubler rileva, inoltre, come anche l'emulazione fra collaboratori sia utilizzata da Hennebique nella sua accorta strategia imprenditoriale[16]. E anche di questo troviamo conferma allorchè, a fronte di una quota esigua versata da Muggia come diritti sull'utilizzazione del brevetto, la Hennebique gli scrive: "Nous esperions, comme vous, que l'année 1899 sera plus brillante et que votre région progressera dans la même proportion que celles de nos autres Agents et Concessionaires"[17] (Fig. 2).



Fig. 2 - Archivio Storico dell'Università di Bologna, Sezione Architettura – Fondo Muggia Lettera della figlia di Hennebique a Muggia, 18 febbraio 1899

D'altronde l'avvio dei rapporti di collaborazione non era semplice: Martorelli[18], intermediario di Muggia per la convenzione con la ditta Hennebique, chiede una percentuale giudicata troppo alta. Infatti, per progetti redatti da Martorelli stesso o da Hennebique va versato il 10 % dell'importo globale dei lavori, mentre se il progettista è Muggia, alla casa madre va l'8%. "Que est-ce que reste à moi?" si chiede il bolognese, "J'aurais travaillé pour la gloire"![19]

La questione resta non risolta, ma si delinea la prassi operativa della ditta franco-belga che negli studi di Bruxelles e Parigi raccoglie progetti provenienti dalla rete degli agenti nazionali e internazionali per i quali vengono fatti i calcoli e disegnati gli elementi strutturati secondo il *systhème* e poi rinviati per l'esecuzione[20]. Annualmente la "grande famiglia" si ritrova ad un Congresso a Parigi, occasione per divulgare i successi e le realizzazioni attraverso l'allestimento di mostre apposite e per le quali ciascun concessionario è chiamato a inviare il proprio contributo di documentazione.

Da un programma accluso nel carteggio veniamo anche a sapere che sono previste visite guidate ai principali cantieri parigini in cui viene utilizzato il brevetto. Durante il terzo "*Congrès du Béton de Ciment armé",* previsto nella capitale francese dal 22 al 25 gennaio del 1899, sono programmati sopralluoghi, fra gli altri, ai magazzini "Bon Marché" in corso di ampliamento, e ad edifici di servizio a supporto dell'Esposizione del 1900; ad un solaio del primo piano del Grand Palais e ad un altro, invece, del Petit Palais; convegnisti sono infine invitati presso l'istituto di Fisica, Chimica e Storia naturale della Sorbona per assistere a prove di carico dei solai in costruzione.

La convenzione fra Muggia ed Hennebique si formalizzerà successivamente all'estensione del carteggio in questione.

Il lavoro di catalogazione e di studio del materiale documentale recentemente acquisito è ancora in corso ma già si evidenzia la grande quantità di opere, anche di progettisti diversi, che Muggia progetta nella struttura secondo il sistema Hennebique, il logo del quale campeggia sulla carta intestata dello "Studio di Ingegneria e Architettura / Ing. Attilio Muggia"[21] (Fig. 3).



Fig. 3 - Archivio Storico dell'Università di Bologna, Sezione Architettura – Fondo Muggia Minuta di A. Muggia a M. Hennebique 8 febbraio 1899

[1] *Norma e Arbitrio. Architetti e Ingegneri a Bologna, 1850-1950,* a cura di G. Gresleri e P.G. Massaretti, catalogo della Mostra, Venezia, Marsilio, 2001.

[2] P. Lipparini, *Attilio Muggia: tecnica, didattica e destino dell'architettura,* Università degli Studi di Bologna, Facoltà di Ingegneria, Relatore Giuliano Gresleri, anno accademico 1994-95, ma si veda anche Id., *Ingegneria-Architettura, la conciliazione improbabile di Attilio Muggia,* in *Norma e Arbitrio,* cit., pp. 163176.

[3] Ora confluita all'interno della Sezione Architettura dell'Archivio Storico dell'Università di Bologna (ASUB-SA) che già conservava un nucleo di carte muggiane, cfr. *Archivi Aggregati. La sezione di architettura e i fondi degli architetti moderni,* a cura di M. Beatrice Bettazzi, Bologna, 2003.

[4] Su questo si veda G. Gresleri, Lo "stile del conglomerato cementizio armato". *Attilio Muggia e la scuola di Bologna,* Torino, Edizioni GAM, 2003, pp. 180-215.

[5] Si vedano gli atti del recente convegno *Giuseppe Vaccaro e la Facoltà di Ingegneria,* tenutosi a Bologna il 16 novembre 2005, ora in corso di pubblicazione.

[6] Più precisamente fu eletto membro permanente del Comitato internazionale in preparazione del Congresso di Bucarest del 1907.

[7] Per uno sguardo generale sulla figura di Hennebique e sull'attecchimento del suo sitema costruttivo nel contesto italiano: P. Collins, *La visione di una nuova architettura. Saggio si Auguste Perret e i suoi precursori,* Milano, Il Saggiatore, 1965; R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique,* Milano, Edizioni di scienza e tecnica, 1990; *Cemento armato: ideologie e forme da Hennebique a Hilberseimer,* numero monografico di «Rassegna», 49, 1992; T. Iori, *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale,* Roma, Edilstampa, 2001; J. Gubler, *Motion, émotion. Thèmes d'histoire et d'architecture,* Gollion, Infolio, 2003, pp. 157-176.

[8] Cfr. R. Nelva, B. Signorelli, Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato, cit. p. 14.

[9] «Le Béton Armé. Organe des Concessionaires et Agents du Systhème Hennebique»: il primo numero è pubblicato il 1° giugno 1898.

[10] Cfr. T. Iori, cit.

[11] Cfr. R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato,* cit. che è la sintesi delle ricerche attorno all'archivio Porcheddu, in deposito presso il Politecnico di Torino.

[12] Cfr. R. Nelva, B. Signorelli, Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato, cit. p. 20. Nel 1896 risulta agente per l'Italia Pietro Martorelli, ma la situazione è, appunto, variabile, se Donghi, nel *Manuale dell'Architetto,* Vol. I, Parte I, alla nota a pagina 398, disegna il seguente quadro al 1923: "I concessionari per l'Italia del sistema Hennebique sono i signori: Ing. Giovanni Antonio Porcheddu (Torino) per l'Italia settentrionale; l'Ing. Attilio Muggia (Bologna) per l'Emilia; l'Ing. Italo Chiera (Roma) per il Lazio; gli Ingegneri Edoardo Zublin e Pietro Martorelli (Napoli) per le provincie meridionali".

[13] ASUB-SA, Fondo Muggia, Carteggio Hennebique, Lettera del 18 giugno 1897.

[14] ASUB-SA, Fondo Muggia, Carteggio Hennebique, Lettera del 18 febbraio 1899.

[15] "Il est vrai que seule la métaphore militaire permet de saisir d'un coup l'organisation de l'entreprise. Hennebique est le petit caporal devenu général. Ses agents nationaux et régionaux sont les colonels de l'état-major. Les concessionaires, entrepreneurs locaux travaillant sous la supervision des agents, sont les capitaines qui organisent le chantier des operations", cfr. J. Gubler, cit., pp. 162 e segg.

[16] Cfr. J. Gubler, *ibidem*.

[17] ASUB-SA, Fondo Muggia, Carteggio Hennebique, Lettera del 18 febbraio 1899.

[18] Cfr. nota 12.

[19] ASUB-SA, Fondo Muggia, Carteggio Hennebique, Lettera del 3 novembre 1897. Ancora leggiamo al termine della frase riportata un ulteriore riferimento alla figura del padre-padrone: "Vous, qui est le père bien-aimé des tous vos représentants ou concessionaires, vous devez reconnaître dans votre équanimité, que ce n'est pas juste et possible". Nell'ultima minuta di Muggia a Hennebique presente nel carteggio, in data 8 febbraio 1899, sono riportati in dettaglio i valori per calcolare le spettanze alla ditta francese. In corrispondenza della dicitura "brevetto" è specificata la cifra del 5%, cfr. la figura 3.

[20] Ancora in Gubler leggiamo: "On observe le scé-

nario suivant: l'architecte présente ses plans, quels qui'ils soient, en des tirages bleus. L'agent du brevet Hennebique est alors capable d'installer des planchers et des combles monolithiques n'importe où, travaillant au crayon rouge. […] Il ne s'agit pas de changer la pratique architecturale, mais au contraire de la confirmer. On peut ainsi vendre des conseils sans entrer en conflit avec des artistes ou des maîtres d'ouvrage", cfr cit., p. 166. Muggia scrive e riceve risposte direttamente da Hennebique, ma, come si è visto, sono documentati rapporti anche con Martorelli, agente per l'Italia. [21] Muggia chiede all'ufficio di Hennebique di inviargli il cliché da utilizzare per la carta intestata, "que même Mr Porcheddu adopte" (cfr ASUB-SA, Fondo Muggia, Carteggio Hennebique, Lettera del 18 giugno 1897). Nella lettera di Hennebique a Muggia del 14 agosto il cliché verrà richiesto indietro con urgenza per stampare carta intestata per il nuovo agente del Portogallo (cfr. ASUB-SA, Fondo Muggia, Carteggio Hennebique, Lettera del 14 agosto 1897).

Antonio Perretti, Aurelio Ghersi, Stefania Di Pietro

La continuità storica nell'invenzione tecnologica e teorica del cemento armato

Introduzione

La storia dello sviluppo del sapere mostra che, salvo rari casi, il progresso di tutti i settori ha avuto un andamento privo di grandi discontinuità temporali e concettuali.

La rilettura critica di tappe fondamentali delle conoscenze scientifiche consente di chiarire la continuità dell'evoluzione culturale e tecnologica motivando scoperte che altrimenti apparirebbero fortuite o totalmente originali. La ricerca della continuità dello sviluppo teorico e tecnologico del cemento armato costituisce l'oggetto del presente lavoro.

Attraverso lo studio delle sperimentazioni dei principali personaggi nel periodo fondamentale, la rivoluzione industriale, si è cercato di chiarire l'evoluzione della comprensione del funzionamento del calcestruzzo con armature diffuse e del suo evolversi verso il cemento armato moderno.

È opinione comune che l'invenzione del cemento armato sia da attribuire all'intuito (o alla fortuna) del giardiniere Joseph Monier, con i suoi vasi in malta cementizia armata, ma tale episodio rischia di minimizzare l'importanza degli studi sulla resistenza dei materiali eteroresistenti che intorno alla metà dell'800 si stava sviluppando nel vecchio continente. Si ritiene invece che la storia della siderurgia e quella del calcestruzzo abbiano avuto momenti di convergenza ai tempi della rivoluzione industriale, in particolare quando Peter William Barlow cercava di migliorare le prestazioni delle travi in ghisa, materiale ancora troppo scadente per impieghi strutturali importanti.

Barlow, con le sue esperienze sulla ghisa grigia, materiale con rapporto tra resistenza a trazione e compressione molto simile a quello di un calcestruzzo, studia più in generale il comportamento delle sezioni inflesse realizzate con materiale eteroresistente. Ciò avviene con modesto supporto teorico, approccio tipico di quel periodo quando, sulla spinta della rivoluzione industriale, in Inghilterra si privilegiava l'empirismo agli studi teorici. Di contro in Francia, nel medesimo settore, nonostante il notevole supporto teorico (Navier muore nel 1836), nel cemento armato vigeva solo l'empirismo da parte di personaggi non specialisti del settore.

Nella ricerca svolta ci si è soffermati sulla sezione di trave in ghisa armata con ferro dolce proposta da Barlow, esaminandola analiticamente sia in termini di comportamento ultimo che di duttilità. I risultati ottenuti potrebbero rappresentare l'anello mancante nello studio della continuità storica del comportamento dei materiali eteroresistenti, restituendo a Monier solo l'intuito e la

lungimiranza per il *business* della nuova tecnologia che portò al genere *Monierbau*.

Breve storia del calcestruzzo

Sia il ferro che i leganti idraulici erano impiegati in oriente fin dal V sec. a.C., poi in Egitto, Grecia (IV e III sec. a.C.), dai Cartaginesi e dai Romani che furono i primi a fare il calcestruzzo composto da calce e polvere di mattoni o cenere vulcanica e ad utilizzare la pozzolana, sabbia vulcanica estratta presso la città di Pozzuoli.

Da sempre l'uomo 'costruttore' ha cercato di migliorare le caratteristiche di resistenza dei materiali che aveva a disposizione associandone diversi. È molto antica la tecnica di adottare fibre organiche per rinforzare i materiali eteroresistenti, usata ad esempio per realizzare mattoni con paglia e con stoppia: […] *il Faraone dette quest'ordine agli ispettori del popolo e ai suoi sorveglianti: Voi non darete più, come prima, la paglia al popolo per fare i mattoni; vadano essi a raccogliersi della paglia! E imponete loro la stessa quantità di mattoni di prima, senza diminuzione alcuna* […] [Esodo 5,6-8]

A tal proposito risultano interessanti le analisi svolte da alcuni studiosi su blocchi lapidei appartenenti alle grandi piramidi d'Egitto (3000-1800a.C). Tali blocchi sembrano essere costituiti da pietra riagglomerata, ossia da un composto di pietra calcarea, carbonato di sodio (natron impiegato nella mummificazione), silicati idrati (mafkat) e fibre organiche come peli o capelli. Il composto così ottenuto consentiva di conferire ai blocchi una resistenza diffusa a trazione riducendone il comportamento fragile.

Di contro, prima i greci e poi i romani associarono l'uso del ferro a quello della pietra, sviluppando cuciture puntiformi degli elementi lapidei che conferivano agli stessi una resistenza a trazione concentrata.

Lo stesso Vitruvio (I sec. a.C.) fa un breve cenno all'uso di rinforzi metallici proponendo la realizzazione di armature in ferro arcuate e intonacate con malta di calce. D'altra parte va ricordato che proprio i romani nel Colosseo (80 d.C.) hanno impiegato più di 300 t di ferro dolce per realizzare le grappe che collegavano i blocchi di travertino. Allo stesso modo, la cupola del Pantheon (II sec. d.C.) di luce pari a 43 m, probabilmente ideata da Apollodoro di Damasco, venne costruita introducendo rinforzi in legno e metallo entro possenti getti di miscele di calce, sabbia e pietrisco.

Anche nella costruzione della chiesa di Santa Sofia a Costantinopoli (522-537 d.C.) nella zona delle grandi volte vennero impiegati tiranti in ferro. E, in periodo gotico, finestre e trafori venivano stabilizzati da barre in ferro, così come le volte sorrette da tiranti.

Secoli dopo, intorno al 1770 Rondelet ebbe l'idea di armare i blocchi lapidei con barre metalliche per la costruzione del Pantheon (Sainte Geneviève). Dalle figure 1 e 2 si nota che gli elementi in ferro non sono più delle semplici cuciture ma costituiscono delle

vere e proprie armature con una funzione statica molto chiara. È importante sottolineare che esse tendono a ricucire blocchi lapidei e non sono in nessun punto inglobate in getti di conglomerato.

Per quanto riguarda le caratteristiche del calcestruzzo, è importante osservare che con la fine dell'impero romano si erano perse molte regole del costruire. Fino alla metà del 1700 i maestri muratori, non sapendo ricreare un prodotto paragonabile al calcestruzzo romano, aggiungevano di tutto al conglomerato, dall'aceto al latte al vino.

Solo con la Rivoluzione industriale si sviluppò una certa sistematicità nella composizione chimica e fisica del calcestruzzo. Nel 1755 l'inglese J. Smeaton, utilizzò oltre ai componenti classici (calce, argilla, sabbia) anche scorie metalliche di fusione, producendo il primo legante con caratteristiche idrauliche (anche se non era ancora chiaro il fenomeno chimico che ne generava le proprietà). Questo materiale venne utilizzato per la costruzione del faro di Eddystone (figura 3).

Nel 1824 J. Auspdin produsse il primo legante idraulico artificiale, il ce-

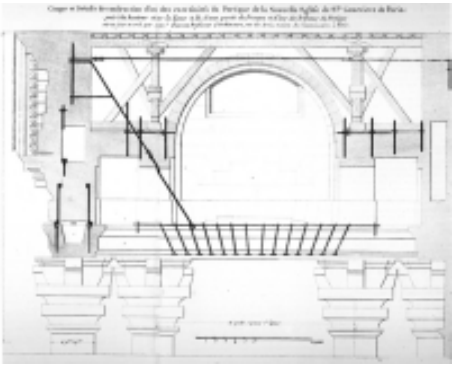


Fig. 1 – Armatura di una delle estremità del portico di Sainte-Geneviève, 1781; incisione di Dumont (da Soufflot et l'architecture des lumières, a cura di M. Mosser e D. Rabreau, Paris, 1986

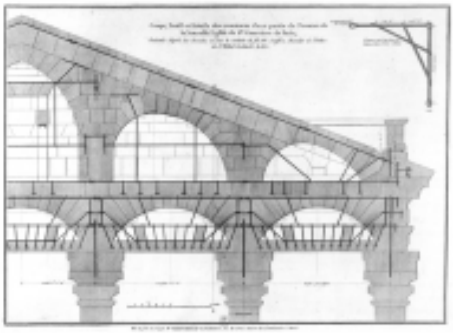


Fig. 2 – Armatura di una parte del frontone di Sainte-Geneviève, 1781; incisione di Dumont (da Soufflot et l'architecture des lumières, a cura di M. Mosser e D. Rabreau, Paris, 1986)

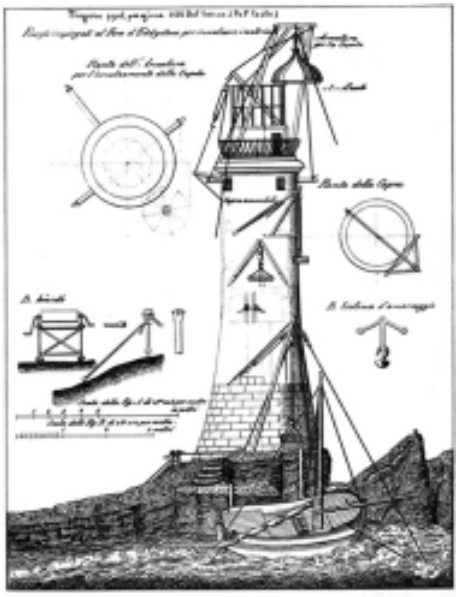


Fig. 3 – Faro di Eddystone in una interpretazione di M. G. Sganzin, Nuovo corso completo di pubbliche costruzioni, Venezia, 1849

mento Portland formato dalla calcinazione di pietra calcarea miscelata con argilla; la miscela veniva poi ricotta in fornace e poi ridotta in polvere. Con il perfezionamento del sistema di produzione del cemento con cottura ad alta temperatura, introdotto dall'inglese J. Johnson, nel 1844 nasce il cemento moderno, che da questo momento subirà solo perfezionamenti nei quantitativi dei componenti e nella granulometria.

Il calcestruzzo e i prodotti siderurgici nell'800

Nonostante la grande dinamicità della classe imprenditoriale ed il fermento culturale e scientifico della rivoluzione industriale, entrambi i settori, quello siderurgico e quello del cemento, subirono dei rallentamenti 'forzati' sia in Inghilterra che in Francia.

In Inghilterra la presenza del famoso James Watt, a causa della sua notorietà, rallentò per oltre venti anni gli studi sul perfezionamento della sezione delle travi in ghisa.

Le prime ricerche progettuali si erano occupate della forma della sezione metallica sfruttando la possibilità di attribuire forme e dimensioni consone agli impieghi resa possibile dalla formatura per fusione degli elementi in Nel 1801

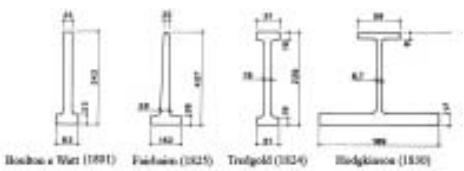


Fig. 4 – Evoluzione della trave in ghisa nella prima metà del XIX sec.

James Watt introdusse, per la costruzione di una filanda nei pressi di Manchester la trave a T rovescia (figura 4) che rimase un modello indiscusso per oltre venticinque anni. Solo a partire dal 1827 Hodgkinson iniziò a studiare, attraverso delle prove su travi a doppio T la miglior forma della sezione trasversale. Questa, di forma dissimmetrica, fu applicata fino agli anni '50 per la realizzazione di ponti ferroviari metallici.

Fatto analogo si verificò in Francia, dove a causa del conservatorismo del Corps des Ponts et de Chaussées e della presenza del più noto progettista di ponti classici in pietra, Jean Rodolphe Perronet, autorevole ingegnere del Corps e censore della costruzione metallica, le strutture metalliche subirono un lunghissimo ritardo nello studio e diffusione. La generale arretratezza dell'industria siderurgica cominciò ad essere superata solo dopo la morte di Perronet (1794), consentendo anche in Francia lo sviluppo delle prime costruzioni metalliche.

A causa di ciò, sia in Inghilterra che in Francia, l'empirismo ebbe libero sfogo. Sotto la spinta di guadagni legati ai brevetti, molti personaggi si cimentarono col cemento armato, creando prodotti estranei all'edilizia. I primi decenni dell'800 sono quindi quelli degli sperimentatori empirici. È per tale ragione che tanti scritti di storia attribuiscono la nascita del cemento armato al giardiniere Joseph Monier che intorno al 1850, per evitare che i suoi vasi di malta cementizia si fessurassero, inserì nel getto una rete metallica (figura 5).

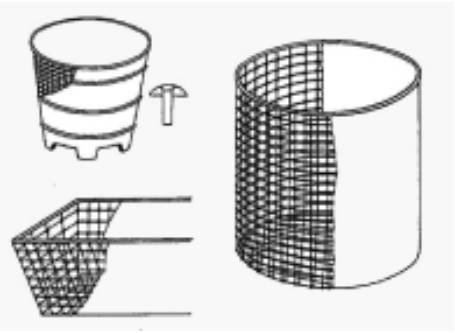


Fig. 5 – J. Monier: vasi e recipienti brevettati

In effetti, l'importante intuizione di Monier non può prescindere dallo sviluppo dell'ingegneria nel campo delle costruzioni metalliche, favorita in quegli anni da una fase di grande prosperità industriale.

Sembra, infatti, plausibile supporre che le origini della comprensione del cemento armato siano legate all'evoluzione nell'uso di elementi inflessi in ghisa e che le ricerche sviluppate dagli ingegneri inglesi su tali elementi inflessi possano essere state impiegate dai tecnici coevi che tentavano di interpretare il comportamento del calcestruzzo. Ciò anche tenendo conto che, benché la sperimentazione sia stata alla base dei nuovi sviluppi, è anche vero che molte conclusioni cominciavano in quegli anni ad avere un sostegno teorico. Si pensi all'importante apporto di Navier (1785-1836) alla nascente scienza delle costruzioni.

Nel 1847 l'inglese P. W. Barlow propose, per la realizzazione di piccoli ponti ferroviari, la prima trave in ghisa rinforzata da un'armatura in ferro nell'ala tesa (figura 6). L'armatura di ferro dolce compensava la fragilità della ghisa ed alterava la modalità di collasso. Osservando il profilo, notiamo che la posizione, dimensione e modalità di applicazione dei nastri di acciaio dolce nell'ala tesa, le proporzioni tra ala compressa e tozza e più stabile sono tutt'altro che casuali.

Negli stessi anni, e più precisamente intorno al 1845, l'inglese Stephenson introdusse il concetto di precompressione; egli infatti realizzò travi in ghisa di 30 m di luce, costruite per conci, nelle quali barre di ferro ad asse rettilineo o ad andamento trapezio, presollecitate, annullavano le tensioni di trazione nell'ala inferiore. Nonostante queste brillanti innovazioni, il progresso tecnologico stava per sancire ulteriori rivoluzioni.

Grazie all'introduzione del cemento

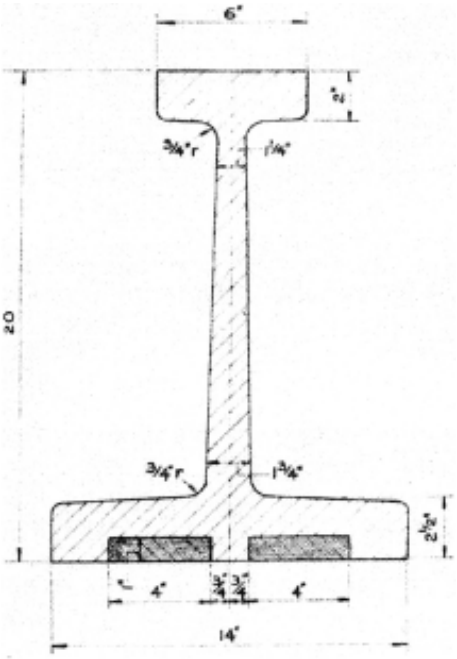


Fig. 6 – P.W. Barlow: trave di ghisa armata con nastri d'acciaio(1847)

Portland l'utilizzo del calcestruzzo, inizialmente legato alla tradizione costruttiva, divenne via via sempre più consono alle sue prestazioni statiche.

Prima di essere utilizzato nell'edilizia il cemento armato fu impiegato e "sperimentato" anche in diversi settori. Il francese Lambot, avvocato, nel 1848 costruì una barca con una rete metallica ricoperta di malta cementizio (figura 7); si dedicò anche alla costruzione di diversi oggetti tutti accomunati dalla presenza di un'armatura reticolare non proporzionata avente il fine di assorbire gli sforzi di trazione. Nel filone empirico si collocano anche i solai brevettati nel 1852 dall'artigiano inglese W.B.Wilkinson, nei quali le armature erano costituite da funi metalliche disposte in maniera intuitiva nelle zone tese. Nel 1854 F. Coignet brevetta invece gli elementi costruttivi per la realizzazione di solai utilizzati per la costruzione della prima abitazione in c.a. di tre piani. Determinante anche il contributo dell'avvocato americano Hyatt, che intorno al 1875 brevettò molti elementi strutturali armati con ferri a nastro e tondi ortogonali (figura 8).



Fig. 7 – J. L. Lambot, 1848: barca in calcestruzzo armato

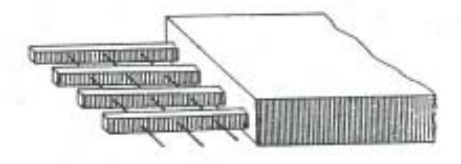


Fig. 8 – Hyatt: elementi strutturali armati

Hyatt era un sostenitore dell'elevata resistenza al fuoco del calcestruzzo armato, al punto da non esitare ad appiccare un grosso incendio alla casa da lui costruita; per la prima volta inoltre si riscontra un approccio scientifico nell'uso del cemento armato; egli introdusse infatti il rapporto fra i moduli elastici del ferro e del conglomerato cementizio e sostenne la quasi sostanziale coincidenza dei coefficienti di dilatazione termica dei due materiali che favoriva la loro collaborazione; suggerì anche di rendere scabra la superficie delle barre allo scopo di farle meglio aderire al calcestruzzo all'interno del quale vengono inglobate. Hyatt comprese per primo la necessità di dover utilizzare contemporaneamente a fini resistenziali il calcestruzzo compresso e l'armatura tesa. Nell'analisi delle varie fasi evolutive la sperimentazione di Hyatt costituisce l'ultimo evento importante che sancisce la nascita del cemento armato. Contemporaneamente, il miglioramento qualitativo della ghisa rendeva vano approfondire lo studio condotto da Barlow sulla trave in ghisa e acciaio, così come descritto nel paragrafo successivo. Inoltre si può dire che a questo punto il suo contributo alla comprensione delle travi di materiale eteroresistente si era ormai esaurito.

Peter W. Barlow e la trave in ghisa armata

Figlio e fratello di noti ingegneri inglesi, il padre matematico e ingegnere, il fratello noto progettista di ponti, P. W. Barlow (1809-1885) non fu meno geniale dei suoi consanguinei, anche se la sua fama non è legata alle strutture metalliche ma al settore geotecnico, in particolare quello dello scavo di tunnel.

Durante la rivoluzione industriale, nel vecchio continente le ferrovie raggiunsero il massimo sviluppo e con esso aumentò la necessità di strutture metalliche per i molti nuovi ponti. I profili metallici laminati, ed in particolare le rotaie, subirono una rapida evoluzione meccanica e geometrica.

Le prime travi ad anima piena erano realizzate in ghisa, con ali di diversa dimensione. Tuttavia la ghisa grigia con la quale erano fabbricate era troppo fragile per ottenere travi di grande luce. In essa, infatti, la cristallizzazione del carbonio produce lamelle che, quando il materiale è sottoposto a forze di trazione, favoriscono la concentrazione delle sollecitazioni; ciò è all'origine di microfessurazioni e quindi del collasso. La resistenza delle ghise grigie di produzione moderna può anche superare i 200 MPa (figura 9), ma si riduce notevolmente al crescere dello spessore del getto, dimezzandosi già per spessori di 30 mm. Della ghisa grigia ottocentesca non sono disponibili dati sperimentali, perché nell'800 non c'erano macchine che potessero tracciare diagrammi tensione-deformazione ed in particolare non esistevano presse a controllo di spostamento in grado di tracciare l'intero diagramma del legame costitutivo; non c'è dubbio però sul fatto che la resistenza fosse ancora minore.

Il comportamento è ben diverso da quello della ghisa sferoidale, che è un prodotto molto più recente (la produzione comincia solo dal 1943) e si ottiene aggiungendo alla lega una quantità molto bassa di magnesio (0.03%), che produce la cristallizzazione del carbonio in sfere anziché in lamelle.

Anche se la resistenza della ghisa grigia è nettamente superiore a quella del calcestruzzo, le caratteristiche meccaniche dei due materiali sono per molti versi analoghe, con un rapporto tra resistenza a compressione e a trazione pari a circa 7. L'innovazione introdotta da Barlow, consistente nell'inserire in maniera forzata nastri di ferro dolce in apposite scanalature dell'ala inferiore (figure 6 e 10), mira ad aumentare la resistenza della zona tesa ma soprattutto ad aumentare la duttilità della sezione e rappresenta quindi una evoluzione sia tecnologica che teorica. La sezione ottenuta si mostra geometricamente ben proporzionata, con un bulbo superiore che costituisce il 17% dell'area totale, un'anima pari al 34%, un'ala inferiore

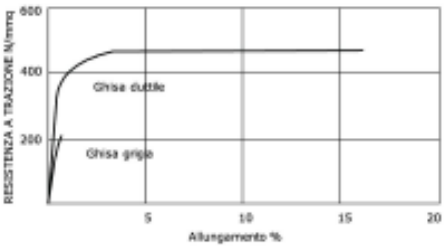


Fig. 9 – Resistenza a trazione della ghisa

di ghisa pari al 39%; infine i due nastri di ferro dolce costituiscono il 10% dell'area della sezione.

La trave di Barlow è stata certamente testata a rottura, per ottenere una superficie di acciaio ottimale rispetto a quella dell'ala inferiore fusa con ghisa. Per avere una conferma numerica del comportamento della sezione e dell'influenza delle caratteristiche dei materiali su di essa si è effettuata una sperimentazione numerica, utilizzando come modello la sezione descritta nella figura 10 e costruendo per essa il legame momento-curvatura. Tale legame è stato determinato assumendo l'ipotesi di conservazione delle sezioni piane fino alla rottura, da cui la linearità del diagramma delle deformazioni nella sezione, e di assenza di scorrimento tra i nastri di ferro e la ghisa. Si è assunto un valore del modulo di Young pari a 200 GPa per il ferro ed 80 GPa per la ghisa (anche se quest'ultimo valore è tratto da indicazioni valide per ghise moderne). Il legame costitutivo assunto è elastico-perfettamente plastico per il ferro (con tensione di snervamento f_y = 200 MPa), elastico lineare fino a rottura per la ghisa. Il calcolo è stato ripetuto più volte, utilizzando diversi valori per la tensione di rottura a trazione della ghisa, partendo da un minimo pari a 25 MPa ed incrementandolo fino a 100 MPa.

Se la trave fosse realizzata interamente in ghisa, ed assumendo per tale materiale una resistenza a trazione $f_{gh,tr}$ pari a 25 MPa, il suo comportamento sarebbe elastico lineare fino al momento flettente M = 210 kNm, corrispondente ad una rottura fragile dovuta al raggiungimento della tensione di rottura per trazione. L'inserimento dei nastri in ferro porta invece al diagramma mostrato in figura 11. La fessurazione della ghisa si innesca in questo caso ad un valore più alto del momento, pari a 265 kNm; ad esso corrisponde un breve tratto decrescente e poi una ripresa (nella realtà vi sarebbe un brusco salto di deformazione a momento costante e poi la ripresa), fino ad momento di circa 410

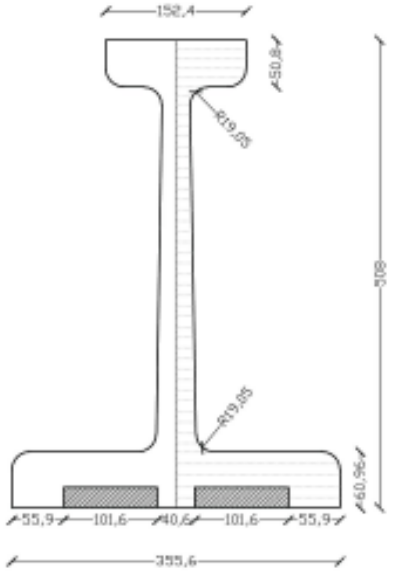


Fig. 10 – Modello geometrico utilizzato per l'analisi della trave di Barlow

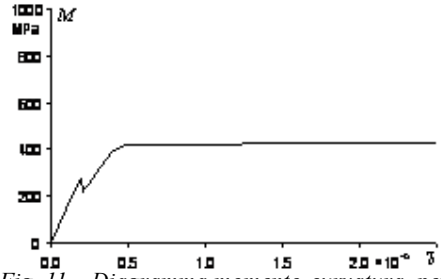


Fig. 11 – Diagramma momento-curvatura, per $f_{gh,tr}$ = 25 MPa

kNm, per il quale si ha lo snervamento del ferro. Importante è però, soprattutto, il fatto che la sezione presenta ampie deformazioni plastiche e quindi grande duttilità. Se si ipotizza una resistenza a trazione della ghisa $f_{gh,tr}$ = 40 MPa si ottiene il diagramma di figura 12. In questo caso la fessurazione avviene per un momento flettente non molto diverso da quello che porterebbe a snervamento i nastri in ferro e quindi si ha un guadagno solo in termini di duttilità.

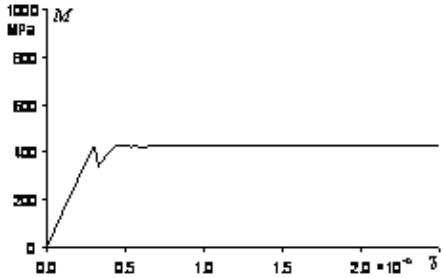


Fig. 12 – Diagramma momento-curvatura, per $f_{gh,tr}$ *= 40 MPa*

Valori maggiori della resistenza a trazione della ghisa (50 o 100 MPa) portano invece ad un crollo più o meno brusco della resistenza al momento della fessurazione della ghisa (figura 13), vanificando in sostanza l'effetto positivo dei nastri in ferro.

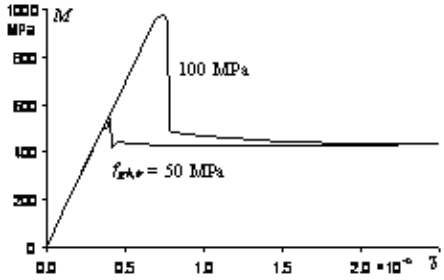


Fig. 13 – Diagramma momento-curvatura, per $f_{gh,tr}$ *= 50 e 100 MPa*

Questi risultati possono essere visti come conferma del fatto che la ghisa prodotta nella metà dell'800 era estremamente scadente e fragile e che per tale motivo la non elevata percentuale di armatura disposta da Barlow era in grado di migliorare nettamente le prestazioni ultime della trave.

Estrapolando i risultati, il diagramma mostra inoltre che utilizzando la ghisa sferoidale oggi prodotta la presenza di un'armatura in ferro dolce sarebbe assolutamente inutile in quanto il momento ultimo della trave fessurata sarebbe molto inferiore rispetto al momento di fessurazione della trave.

Queste considerazioni mostrano anche i motivi che portarono ad un rapido abbandono della soluzione proposta da Barlow.

Il primo motivo è il perfezionamento delle tecniche di fusione della ghisa che ne riduceva la sua intrinseca fragilità. Questo faceva si che la differenza tra momento ultimo della trave fessurata armata e quello della trave non armata fosse troppo modesta, da cui la non convenienza statica ed economica. Col miglioramento delle caratteristiche della ghisa l'utilizzo di armature con elementi in acciaio sarebbe stata utile solo se in percentuali rilevanti, non realizzabili perché le modalità di collegamento rendevano necessaria una quantità di ghisa intorno ai nastri di acciaio ben più grande dell'area di questi ultimi.

La seconda ragione dell'abbandono dello studio delle travi armate è da attribuire alla contemporanea produzione di cemento sempre più finemente

macinato, da cui il confezionamento di calcestruzzi sempre più resistenti ed economici.

A causa della rapida evoluzione della tecnica di produzione dei materiali e delle sperimentazioni, gli studi teorici sul cemento armato e sulla ghisa, che avevano avuto un momento di contatto e continuità, nell'arco di un periodo inferiore ad un ventennio, vedrà le due teorie e tecnologie dividersi nuovamente, verso specializzazioni autonome. Il cemento armato subirà rapidamente un inquadramento teorico e già Hennebique, per i suoi prodotti brevettati adotta formulazioni molto simili a quelle della teoria delle travi nel secondo stadio.

Nell'acciaio i principali progressi saranno fatti nel settore dei laminati a caldo; la ghisa per impieghi strutturali sarà abbandonata dopo l'esposizione universale del 1861 con la costruzione del Cristal Palace; con ciò si conclude l'epoca della ghisa per impieghi strutturali e con essa il tentativo di armarla come un qualsiasi materiale etero-resistente.

Bibliografia

G. Albenga, *Sguardo sintetico all'evoluzione del cemento armato dall'origine ai nostri giorni*, Roma, tip. F. Failli, 1945.

P. G.Badaloni, R. Jodice, G. Roisecco, *L'architettura del ferro - l'Inghilterra (1688-1914),* Roma, Bulzoni editore, 1972.

R. Jodice, G. Roisecco, V. Vannelli, *L'architettura del ferro - la Francia (1725-1914),* Roma, Bulzoni editore, 1973.

W. Humber, *Practical treatise on cast and wrought iron bridges and girders,* Londra, Spon 1857 p.32.

V. Nascè, *La progettazione strutturale e la costruzione metallica dalle origini al periodo 1850-1860*, in *Contributi alla storia della costru zione metallica,* Firenze, Alinea editore, 1982.

R.J.M. Sutherland, *The introduction of structural wrought iron,* Trans. Newcomen Soc., vol. XXXVI, 1963-1964 p.67 (riportato nel lavoro di Nascè innanzi citato).

P. Viscidi, *Armature metalliche per costruzioni in cemento armato,* Giornale del Genio Civile, 1912.

Paolo Ferrari

L'evoluzione dell'Ingegneria Stradale nel corso del XX secolo

La nascita dell'automobile

Nell'ultimo decennio dell'800 si cominciò a sperimentare, dapprima in alcuni Paesi europei, successivamente negli Stati Uniti, un veicolo automobile munito di motore a combustione interna. La diffusione del nuovo veicolo in Europa fu tuttavia molto lenta, essenzialmente perché esso fu considerato dai suoi costruttori non un mezzo di trasporto utile nel lavoro e nel tempo libero, ma come un prodotto tecnologicamente sofisticato, dedicato ad una clientela aristocratica e facoltosa la quale fosse in grado di apprezzarne le qualità. Essi quindi per molto tempo non si impegnarono nella standardizzazione e nella commercializzazione del prodotto, ma piuttosto si dedicarono ad organizzare corse automobilistiche le quali funzionassero da strumento di pubblicità per la qualità dei loro veicoli.

Negli Stati Uniti invece l'automobile si diffuse con estrema rapidità e presso un pubblico molto eterogeneo. Nel 1900 il parco circolante era di 8.000 autovetture, nel 1910 era salito a 458.377, nel 1920 a 8.131.522[1]. A questa così rapida diffusione contribuì la particolare situazione geografica, economica e politica del Paese. Ma il fattore decisamente più importante fu il diverso atteggiamento dei costruttori americani, in particolare di Henry Ford. Questi, ben lungi dal pensare di costruire un oggetto tecnologicamente sofisticato da commercializzare presso un pubblico di élite, si preoccupò di realizzare un mezzo di trasporto individuale che potesse essere acquistato ed utilizzato dal maggior numero di cittadini. Studiò quindi attentamente il mercato e mise a punto tecniche di produzione fortemente innovative, le quali consentirono di ridurre i prezzi di vendita fino al livello delle possibilità economiche dell'ampio mercato a cui il prodotto era destinato.

Le strade percorse dalle automobili nei primi decenni del XX secolo erano quelle che erano state costruite nelle epoche precedenti per i veicoli a trazione animale. In genere nelle città erano pavimentate con elementi lapidei di buona qualità, ma nelle zone extraurbane erano nella quasi totalità pavimentate con strati di pietrisco rullato da cui si sollevavano grandi nuvole di polvere se la velocità delle automobili era di poco superiore a quella dei carri a trazione animale. Quando le strade erano tortuose e con pendenze elevate esse erano percorse dalle automobili in condizioni di sicurezza estremamente scarse; e questo fatto costituì un ulteriore ostacolo alla diffusione dell'automobile nei Paesi in cui le zone montagnose costituiscono gran parte del territorio, come è per esempio l'Italia. D'altra parte il fatto che le automobili potessero

muoversi ad una velocità alquanto superiore a quella degli altri utenti della strada era ritenuto un elemento di notevole pericolosità. In Inghilterra fino al 1896 fu in vigore la *Red Flag Rule*, la quale consentiva l'uso dell'automobile alla velocità massima di 2 miglia all'ora nei centri abitati e di 4 miglia all'ora sulle strade extraurbane e solo se essa era preceduta da qualcuno che ne segnalasse l'arrivo con una bandiera rossa. Questa norma fu successivamente sostituita dal limite di velocità di 20 miglia per ora il quale, anche se anacronistico e inosservato, fu soppresso solo dal Road Traffic Act del 1930[2].

Le autostrade e l'evoluzione dei metodi di progetto della geometria stradale

Furono in molti, nei primi due decenni del secolo, a sostenere la necessità di costruire nuove strade, completamente diverse dalle precedenti, riservate ai soli veicoli a motore. Tale tesi fu enunciata fin dall'anno 1900 dal Primo Ministro inglese Mr Balfour[3], ma la Gran Bretagna dovette attendere diversi anni dopo la fine della seconda guerra mondiale per realizzare una strada di questo tipo.

Le prime strade riservate ai veicoli a motore furono invece costruite in Italia dall'ing. M. Puricelli di Milano, il quale agli inizi degli anni '20 elaborò e sottopose all'approvazione del governo un piano per la realizzazione di un sistema di autostrade. 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, ed alla fine di un arco temporale stabilito dalla concessione cedevano l'opera allo Stato. La prima ad essere costruita, nel 1924, fu l'autostrada Milano-Varese. 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, e la costruzione di una vera e propria rete autostradale riprese solo a metà degli anni '50, circa dieci anni dopo la fine della seconda guerra mondiale.

Le autostrade costruite in Italia negli anni '20 erano a carreggiata unica a due corsie, ed avevano una geometria molto simile a quella delle ferrovie, con lunghi rettifili e curve di grande raggio. In esse erano esclusi gli attraversamenti a raso con altre strade e la sede autostradale era completamente separata dal territorio circostante. I soli punti di contatto con la rete stradale ordinaria erano gli svincoli, ubicati a distanza media variabile sulle diverse autostrade da 6.3 a 12.5 km[4]. Questo isolamento dal territorio circostante, e l'impiego di pavimentazioni bitumate o in calcestruzzo di cemento, rese le autostrade molto più sicure delle strade ordinarie.

Negli anni '20 e '30 alcune autostrade furono costruite anche negli Stati Uniti. La prima fu la Bronx River

Parkway, lunga 25 km, fra il Bronx Park di New York e la contea di Westchester, progettata fin dal 1914 ma completata solo nel 1925[5]. Seguirono altri tronchi di strade parco riservate alle sole automobili, con esclusione quindi degli autocarri, nei pressi di New York. Alcune autostrade a pedaggio furono realizzate in California. Le autostrade americane, a differenza di quelle italiane, avevano le carreggiate separate da una striscia centrale non pavimentata, la cui larghezza raggiungeva in qualche caso i 15 metri. Anche in America tuttavia le costruzioni di autostrade rimasero, negli anni '20 e '30, episodi isolati. L'unico Paese che prima della seconda guerra mondiale concepì e realizzò una vera e propria rete autostradale fu la Germania. Le ragioni che spinsero il governo tedesco ad impegnarsi in un'opera di tali dimensioni furono diverse. Contribuì certamente la necessità di varare un programma di spese pubbliche che riuscisse a ridurre la disoccupazione che nei primi anni '30 aveva raggiunto in Germania livelli drammatici. Vi furono motivazioni di carattere militare che spinsero alla creazione di una rete stradale che consentisse rapidi spostamenti delle truppe motorizzate. Ma vi fu anche la necessità di collegare fra loro le piccole e grandi città del Paese.

La rete autostradale tedesca fu fortemente innovativa non solo per gli standard geometrici adottati, ma anche per le tecniche costruttive impiegate. Le carreggiate erano separate da uno spartitraffico, furono utilizzate in larga scala le pavimentazioni in calcestruzzo di cemento e nella costruzione dei rilevati fu sistematicamente impiegata la tecnica del costipamento dei terreni. Ma forse l'aspetto più rivoluzionario fu il disegno della rete autostradale la quale non attraversava mai le città da essa collegate, e ciò in contrasto con le concezioni a quell'epoca dominanti, secondo le quali sia le strade sia le ferrovie dovevano penetrare all'interno delle città. Le autostrade tedesche si tenevano invece a distanza dai centri urbani ed erano ad essi collegate da tronchi di raccordo. I motivi di questa soluzione vanno in parte ricercati nella impossibilità di penetrare, senza grandi demolizioni, con una infrastruttura di notevole larghezza come è l'autostrada, all'interno delle città tedesche che all'epoca erano prevalentemente costituite dai loro centri storici.

Tutta la progettazione delle autostrade fu fondata su basi rigorosamente scientifiche: nel 1937 furono pubblicate le famose "Norme provvisorie per la costruzione delle autostrade del Reich", nelle quali per la prima volta l'intero processo di progettazione e costruzione delle strade di grande comunicazione era impostato su un insieme di criteri razionali ed organici. Alla vigilia della seconda guerra mondiale, dopo circa sei anni di intenso lavoro, risultavano aperti al traffico in Germania 3.077 km di autostrade, mentre altri 2095 si trovavano in costruzione[6]. Le autostrade tedesche furono visitate in quegli anni da delegazioni di numerosi Paesi e costituirono certamente il punto di riferimento più importante quando, nel cor-

so degli anni ’50, in Europa e nel Nord America furono riprese su larga scala le costruzioni di autostrade.

Il grande successo e il grande sviluppo che le autostrade hanno avuto nella seconda metà del XX secolo in tutti i Paesi industrializzati è dovuto al fatto che esse hanno rappresentato, fin dal loro prima apparire, non un semplice miglioramento del tradizionale trasporto stradale, ma qualcosa di profondamente innovativo. Posseggono infatti alcuni attributi fondamentali sia del trasporto stradale sia di quello ferroviario. Hanno la guida libera, caratteristica principale del trasporto stradale, la quale consente all’utente di spostarsi praticamente da qualsiasi origine a qualsiasi destinazione scegliendo l’ora della partenza, la velocità di percorrenza e l’itinerario del viaggio. Ma posseggono d’altra parte un controllo abbastanza rigido della traiettoria dei veicoli, non molto lontano da quello dei sistemi a guida vincolata, come sono le ferrovie. Essendo le carreggiate separate da uno spartitraffico, una carreggiata è percorsa unicamente da veicoli che procedono nello stesso verso: essi possono solo spostarsi da una corsia ad un’altra della stessa carreggiata durante la marcia normale, e dalla corsia di immissione alla adiacente corsia di marcia, ovvero da quest’ultima alla corsia di decelerazione in corrispondenza degli svincoli.

L’autostrada possiede inoltre numerosi altri attributi propri del sistema ferroviario: i contatti col territorio circostante sono limitati ad alcuni punti determinati (gli svincoli autostradali sono l’equivalente delle stazioni ferroviarie), la geometria è rigorosamente controllata ed obbedisce a requisiti standardizzati, il piano viabile è estremamente regolare e consente quindi elevate velocità in condizioni di sicurezza.

I primi progettisti di autostrade avevano la precisa convinzione che i criteri di progettazione dei tracciati autostradali dovessero essere molto simili a quelli delle ferrovie. Questa convinzione derivava in parte dal fatto che, come si è visto, l’autostrada possiede molte delle caratteristiche proprie del sistema ferroviario, ma era principalmente conseguenza della posizione dominante che la cultura ferroviaria ha avuto nell’ambito dei trasporti terrestri fino a tutta la prima metà del XX secolo. La ferrovia è stata infatti per circa un secolo, fino ai primi decenni del ‘900, il settore più avanzato della tecnologia, quello nel quale si sono sperimentate e si sono affermate tecniche innovative e in gran parte rivoluzionarie, sia nel campo della ingegneria meccanica che in quello delle costruzioni civili.

Il criterio che è stato tenuto sempre presente nella progettazione dei tracciati ferroviari è quello di realizzare lunghi rettifili con il minor numero possibile di curve, tutte di grande raggio. Questo tipo di tracciato è senz’altro il migliore per una linea ferroviaria: dà luogo al moto più confortevole per i viaggiatori del treno ed al tipo di guida più semplice per il conducente, il quale possiede una tabella di marcia nella quale è indicata la velocità che è possibile mantenere su ciascun elemento di tracciato.

Questo criterio di progettazione fu introdotto anche nel campo della ingegneria stradale e fu impiegato per alcuni decenni. Basta a tal fine esaminare i tracciati delle prime autostrade, nei quali i progettisti hanno cercato di rispettare i requisiti propri dei tracciati ferroviari, realizzando dovunque lunghi rettifili e modeste pendenze, rinunciando, anche a prezzo di costosi movimenti di terra, di gallerie e di lunghi viadotti, a quell'adattamento del tracciato al terreno che era stato fino ad allora una delle caratteristiche peculiari della geometria stradale.

All'inizio degli anni '50 i progettisti stradali cominciarono a rendersi conto che il sistema di trasporto stradale, notevolmente diverso da quello ferroviario, richiede un tracciato altrettanto diverso. I risultati delle ricerche compiute sul comportamento dell'uomo alla guida della automobile posero in evidenza il fatto che egli riceve dalla geometria stradale le informazioni necessarie per il suo comportamento di guida. E che pertanto, al fine di ottenere corrette informazioni, un tracciato curvilineo è senz'altro da preferire, dal punto di vista del comfort e della sicurezza, ad un tracciato formato in prevalenza da lunghi rettifili. Quindi, dapprima in Germania, successivamente negli altri Paesi, la progettazione della geometria stradale cominciò ad acquisire una sua autonomia nei confronti di quella ferroviaria. Nacque così il tracciato stradale moderno formato da una successione di curve circolari e di curve a raggio variabile, in cui brevi rettifili possono essere inseriti prevalentemente come elementi complementari per risolvere alcuni problemi pratici di calcolo dell'asse.

L'evoluzione dei metodi di progetto e di costruzione delle pavimentazioni

All'inizio del secolo le strade erano generalmente pavimentate con una massicciata in *macadam*, formata da uno strato di pietrisco che aveva uno spessore di 10-15 cm e poggiava su una fondazione di pietre di grosse dimensioni. Dopo essere stato steso, il pietrisco veniva costipato mediante rulli e innaffiato abbondantemente con acqua.

La polvere che si formava durante la rullatura per effetto dello sfregamento fra gli elementi di pietrisco, impastandosi con l'acqua, produceva una ganga che cementava gli elementi di pietrisco dando luogo ad una lastra abbastanza compatta. Questo tipo di pavimentazione era stato concepito per i veicoli a trazione animale, e si rivelò ben presto non adatto alle automobili che, procedendo con velocità ben più elevate, sollevavano al loro passaggio grandi nuvole di polvere. Furono così introdotti i *trattamenti superficiali antipolvere*: sulla massicciata di pietrisco si stendeva prima un sottile strato di bitume o di catrame, successivamente un altrettanto sottile strato di graniglia, con pezzatura da 2 a 10 mm, il quale veniva fissato alla massicciata mediante rullatura. Questo tipo di pavimentazione è stato utilizzato fino a tempi piuttosto recenti, perché la costruzione, dapprima eseguita a mano, è stata poi adeguatamente meccanizzata. Sulle strade più importanti però

ad un certo momento il trattamento superficiale è stato sostituito, allo scopo di attribuire alla pavimentazione maggiore resistenza alle azioni tangenziali dei veicoli, uno strato di conglomerato bituminoso di spessore variabile da 4 a 7 cm. La capacità di sopportare pesi, la cosiddetta *capacità portante*, di queste pavimentazioni, era piuttosto scarsa, ma ciò non costituiva un problema per le strade percorse da automobili, che trasmettono alle pavimentazioni carichi verticali abbastanza modesti.

Questo tipo di pavimentazione fu impiegato sui tronchi autostradali costruiti in Italia a cavallo degli anni '60, nella previsione che le autostrade sarebbero state percorse prevalentemente da automobili. In effetti la rete autostradale italiana era stata concepita come strumento di modernizzazione del Paese, con un progetto strettamente legato a quello della diffusione dell'automobile, per venire incontro ad una inespressa domanda di mobilità delle persone, 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 dell'autostrada, ed il traffico merci andò aumentando progressivamente, raggiungendo percentuali del traffico totale tali da sconvolgere completamente l'originaria funzione attribuita alle autostrade. È questa d'altra parte una caratteristica propria delle 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.

L'imprevisto aumento del traffico merci rappresentò un notevole beneficio dal punto di vista economico per i gestori delle autostrade a pedaggio, perché determinò un cospicuo aumento degli introiti[7], ma fu traumatico dal punto di vista della manutenzione delle infrastrutture, in particolare delle pavimentazioni che furono soggette ad estesi fenomeni di degradazione e di rottura. Si rese quindi necessario ad un certo momento il completo rifacimento delle pavimentazioni, insieme a delicati interventi anche su altre strutture delle autostrade, il cui costo e la cui difficoltà furono aggravati dal fatto che i lavori venivano eseguiti senza la possibilità di interrompere il traffico veicolare. Poiché esperienze analoghe furono vissute anche da altri Paesi, si andò manifestando a livello internazionale l'esigenza di affrontare in modo scientifico la progettazione delle pavimentazioni stradali, tenendo conto delle particolari sollecitazioni a cui esse sono sottoposte e delle risposte che a tali sollecitazioni danno i diversi tipi di materiali di cui le pavimentazioni sono costituite. Una gran mole di ricerche teoriche e sperimentali è stata svolta nei decenni trascorsi su questi argomenti, dalle quali è risultato che la causa principale del degrado delle pavimentazioni è l'affaticamento dei materiali di cui sono costitu-

ite, in seguito alle ripetute sollecitazioni dovute al passaggio dei veicoli. Attualmente la progettazione delle pavimentazioni, che sono strutture complesse, diverse tra loro per tipologia e per funzioni, costituisce uno dei capitoli principali dell'ingegneria stradale.

L'assistenza agli utenti della strada

Un aspetto importate della evoluzione della ingegneria stradale durante il XX secolo è stato il modo con cui è stato affrontato il problema di offrire assistenza agli automobilisti durante il viaggio, con una serie di soluzioni tecniche che tendono a sollecitare l'utente della strada a vivere il viaggio in modo diverso rispetto al passato. Dalle piazzole di sosta, usate in tutti i tipi di strada nella prima metà del secolo, si è passati sulle autostrade e sulle strade principali alla creazione di aree di parcheggio in punti caratteristici del tracciato, ed alle aree di servizio in cui sono raccolti i servizi di rifornimento per i veicoli ed i luoghi di ristoro, e anche di suggestione consumistica, per gli utenti. Dalle informazioni fornite mediante la tradizionale segnaletica orizzontale e verticale si è passati ad un tipo di informazione facilmente percepibile da una gran massa di utenti che viaggiano sulle autostrade e sulle strade principali ad elevata velocità, ottenuta mediante l'uso di pannelli a messaggio variabile installati su portali che scavalcano l'intera carreggiata.

L'evoluzione dei metodi di gestione

Un altro importante elemento che ha caratterizzato la storia della ingegneria stradale nel corso del XX secolo è stata l'evoluzione dei metodi di gestione delle strade. Le attività in cui si articola la gestione di una rete stradale sono diverse, ma quella più importante e che impegna la maggior parte delle risorse è la manutenzione. Infatti qualsiasi strada, essendo sottoposta all'azione degli agenti atmosferici e a quella del traffico, tende ad usurarsi nel tempo anche se è stata ben costruita. Sono quindi necessari un'opera di manutenzione ordinaria quasi continua, e periodici interventi di manutenzione straordinaria. La manutenzione ha costi elevati, ed i fondi necessari debbono essere garantiti con continuità: il rinvio degli interventi di manutenzione per difetto di fondi determina il deperimento delle strutture stradali, e quindi l'esigenza di più onerosi interventi nel futuro. Se i fondi continuano ad essere insufficienti, si ha il progressivo decadimento delle strade, il quale ha pesanti ripercussioni sulla sicurezza della circolazione, e produce notevole danno sociale per la perdita di valore del patrimonio infrastrutturale. Tuttavia la puntuale disponibilità di fondi non è sufficiente a garantire una efficace manutenzione; è necessaria l'esistenza di un meccanismo di controllo il quale induca, in modo automatico, la organizzazione che ha la responsabilità della manutenzione ad utilizzare in modo efficiente, sia dal punto di vista tecnico che economico, i fondi di cui dispone.

Fino agli inizi degli anni '50 la gestione delle strade era in tutti i Paesi

compito della Pubblica Amministrazione, salvo qualche rara eccezione (per esempio i 530 km di autostrade esistenti in Italia erano gestiti da privati in regime di concessione). La manutenzione era affidata a lavoratori specializzati dipendenti dalle Amministrazioni, chiamati *cantonieri*, i quali erano alloggiati con le famiglie in apposite abitazioni, chiamate *case cantoniere*, dislocate lungo le strade ad intervalli regolari. A ciascun cantoniere era affidata la manutenzione di un tratto di strada, ed il sistema che ne risultava era estremamente efficiente. In effetti entrambe le condizioni necessarie per una efficiente manutenzione erano garantite. Date le caratteristiche delle strade dell'epoca, pavimentate prevalentemente in *macadam*, il costo della manutenzione era fondamentalmente quello della mano d'opera necessaria per eseguire i frequenti interventi di manutenzione non appena si rendevano necessari, per cui il flusso di cassa continuo per finanziare tali lavori era garantito dal pagamento dello stipendio ai cantonieri. D'altra parte, poiché ciascun cantoniere aveva la responsabilità di un particolare tratto di strada, un efficace strumento di controllo della efficienza con cui venivano impiegate le risorse finanziarie destinate alla manutenzione era dato dal fatto che risultava possibile individuare immediatamente il responsabile della scadente manutenzione di qualche tratto di strada.

Il notevole aumento del traffico, in particolare quello dei pesanti veicoli industriali, verificatosi a partire dalla seconda metà degli anni '60, impose l'impiego, come si è visto, sia sulle nuove strade che su quelle esistenti, di pavimentazioni completamente diverse da quelle del passato, la cui progettazione, costruzione e manutenzione sono attività molto complesse. Così il vecchio sistema di manutenzione affidato alla capillare organizzazione dei cantonieri risultò superato, ed il compito di eseguire la manutenzione delle pavimentazioni passò progressivamente alle ditte specializzate che possiedono la capacità tecnica e le complesse attrezzature meccaniche che sono necessarie per gli interventi sulle moderne pavimentazioni. D'altra parte l'introduzione sulle strade di nuova costruzione, e in particolare sulle autostrade, di ponti, viadotti, gallerie che costituiscono strutture di notevole complessità, ha reso necessario l'uso di particolari tecniche di controllo e di manutenzione, che possono essere impiegate solo da organizzazioni specializzate.

Nella seconda metà del XX secolo, accanto alla gestione affidata alle Pubbliche Amministrazioni si è cominciato a diffondere il sistema della gestione in concessione. Nei numerosi casi in cui le Pubbliche Amministrazioni hanno mantenuto la responsabilità della gestione, queste per lungo tempo hanno riservato a se stesse il compito di programmare gli interventi di manutenzione, affidandone invece l'esecuzione alle ditte specializzate mediante contratti di appalto. Questi, secondo la tradizione della Pubblica Amministrazione, avevano di volta in volta per oggetto parti-

colari lavori di cui la ditta appaltatrice assumeva l'onere della esecuzione secondo le prescrizioni del capitolato, senza però l'obbligo di garantire il risultato finale.

Questo modo di procedere è risultato del tutto inefficiente, per cui è accaduto che strade ben progettate e costruite sono pervenute in breve tempo a livelli di qualità estremamente scadenti. Esso infatti non possiede nessuno dei due requisiti che si sono visti essere essenziali per una efficace manutenzione. Le risorse, sia umane che finanziarie, delle Pubbliche Amministrazioni sono generalmente insufficienti, e la disponibilità dei fondi è assolutamente discontinua. Nei periodi, purtroppo frequenti, in cui la Pubblica Amministrazione ha scarse risorse finanziarie, la manutenzione stradale è una delle prime voci di bilancio ad essere colpita. Non esiste d'altra parte alcun meccanismo automatico di controllo dell'uso efficiente delle risorse impiegate poiché, essendo da un lato i fondi insufficienti e dall'altro non essendo le ditte esecutrici dei lavori responsabili del risultato ottenuto, diviene difficile attribuire a qualcuno la responsabilità di una scadente manutenzione.

Del tutto diverso è il caso in cui le gestione è affidata in concessione ad apposite organizzazioni le quali riscuotono un pedaggio dagli utenti della strada: queste organizzazioni ricavano dal pedaggio le risorse finanziarie da dedicare alla manutenzione. Con il sistema della costruzione e gestione in concessione è stata realizzata nella seconda metà del XX secolo la maggior parte della rete autostradale italiana.

La gestione in concessione delle autostrade italiane ha permesso di raggiungere livelli di qualità molto elevati. In effetti la disponibilità dei fondi ricavati dalla riscossione del pedaggio ha consentito tra l'altro alle Società concessionarie di creare una struttura tecnica, dedicata alla gestione e in particolare alla manutenzione delle autostrade, ben organizzata, professionalmente preparata e motivata. Inoltre esiste un meccanismo di controllo automatico della efficienza degli interventi di manutenzione eseguiti sulle autostrade, il quale trova la sua origine in alcune disposizioni contenute nelle convenzioni stipulate con le Società concessionarie.

Nelle convenzioni stipulate prima del 1972 le tariffe di pedaggio erano regolate da un meccanismo noto come *rate of return* (*ROR*) *regulation*, il quale pone un limite al saggio di rendimento del capitale investito, individuando un saggio ritenuto "adeguato" a remunerare il concessionario. La presenza di questo tetto al rendimento del capitale induceva le Società concessionarie a dedicare alla manutenzione tutte le risorse finanziarie necessarie, ed anche a destinare la quota di maggiori risorse risultate disponibili dalla gestione alla realizzazione degli interventi di adeguamento che risultavano necessari o comunque utili[8]. La *ROR* è stata notevolmente criticata in tempi recenti perché essa non crea alcun incentivo alla riduzione dei costi da parte del concessionario, e quindi non offre sufficienti

garanzie di un efficiente impiego delle risorse ricavate dalla applicazione del pedaggio. Essa è stata pertanto sostituita, nelle convenzioni stipulate in tempi recenti, da un meccanismo denominato *price cap regulation*, corretto con incentivi, il quale agisce mediante la modifica delle tariffe di pedaggio. Partendo da una tariffa iniziale viene periodicamente misurata, mediante opportuni parametri, la qualità della infrastruttura e dei servizi offerti agli utenti della autostrada. Se la qualità è migliore di quella riscontrata nella misura precedente, il concessionario viene premiato mediante un aumento delle tariffe; in caso contrario viene penalizzato mediante una loro riduzione[9]. Pertanto la formula tariffaria, assegnando un premio o una penalizzazione in funzione dei risultati ottenuti, opera come meccanismo automatico di controllo della efficienza con cui le risorse ricavate dal pedaggio vengono spese.

La positiva esperienza ricavata dalla gestione in concessione delle autostrade ha indotto in tempi recenti alcune Pubbliche Amministrazioni a modificare radicalmente il tradizionale metodo di gestione, passando dall'affidamento di particolari lavori a ditte specializzate senza obbligo di garantire il risultato, all'affidamento ad un organizzazione esterna di tutte le attività di gestione mediante un contratto di *global service*. Con questo tipo di contratto la Amministrazione committente definisce i risultati dell'attività di gestione senza entrare nel merito delle modalità esecutive attuate per il loro raggiungimento; d'altra parte il contraente assume l'onere di garantire i risultati stabiliti, e riceve un compenso che dipende dalla qualità dei risultati effettivamente ottenuti. I contratti di *global service* hanno in genere lunga durata, e ciò costituisce una garanzia che la Pubblica Amministrazione dedichi alla gestione delle strade oggetto del contratto le risorse finanziarie necessarie. D'altra parte il fatto che il compenso del contraente dipenda, mediante un gioco di premi e di penali per molti versi simile a quello degli incentivi della *price cap regulation*, dai risultati ottenuti, agisce come meccanismo di controllo dell'efficiente impiego delle risorse.

È probabile che il metodo del *global service* si estenda nel futuro a gran parte della rete stradale gestita dalla Pubblica Amministrazione, ed anche alle autostrade in concessione: infatti il diffondersi di organizzazioni specializzate nella gestione stradale potrebbe indurre le Società concessionarie a rinunziare alla gestione diretta affidandola invece a organizzazioni esterne. Potrebbe quindi essere il *global service* la tappa finale del lungo processo di evoluzione dei metodi di gestione delle strade.

[1] G. VOLPATO, *L'industria automobilistica internazionale,* Cedam, Padova, 1983, p.11.
[2] *Ivi*, p. 27.
[3] J. DRAKE, H. L. YEADON, D. I. EVANS, *Motorways*, Faber and Faber, London, 1969, p. 34.
[4] B. BOLIS, *I punti di accesso alle autostrade*, Le Strade, 1955, p. 52.
[5] J. DRAKE, H. L. YEADON, D. I. EVANS, cit., p. 30.
[6] B. BOLIS, cit., p. 53.
[7] M. DEL VISCOVO, *L'Autostrada del Sole: un bilancio benefici-costi*, in *Autostrade: un'esperienza italiana*, I.P.S., Roma, 1983, p. 22.
[8] B. CORAZZA, *Principali aspetti e conte-nuti della nuova convenzione Autostrade-Anas, Autostrade*, 1998, p. 15.
[9] *Ivi*, pp. 13-15.

Gigliola Ausiello

L'industrializzazione dell'edilizia tra storia, sperimentazione e progetto

Che la prefabbricazione sia un metodo cantieristico molto antico è ben noto, e che i Romani, i più grandi costruttori della storia, se ne avvalessero per razionalizzare il momento della realizzazione predisponendo pezzi fuori opera può sembrare piuttosto prevedibile, considerando l'alto livello di ingegnerizzazione della costruzione. È vero che il criterio di prefabbricare è indice di razionalità e, pertanto, è insito nella natura umana, ma il fascino delle costruzioni del passato è talmente incontrollabile da farci leggere questo tipo di approccio in una dimensione atemporale di grande seduzione. E se ciò è vero non solo per le costruzioni romane ma anche per i templi greci, è senza dubbio ancor più straordinario che l'obelisco egiziano sia preformato in cava, preordinandone la lavorazione fuori opera. Come pure è sorprendente che alcune comunità primitive in Nuova Guinea realizzino ricoveri smontabili e spostabili in materiale vegetale, a valle di un'attività costruttiva che presuppone una pianificazione spazio-temporale, sia pur di tipo embrionale, ed una preliminare lavorazione fuori opera collettivamente organizzata.

Se la storia della prefabbricazione non ha un inizio, né nel tempo, né nello spazio, ma appartiene all'uomo e al suo



Fig. 1 – Fascio di quattro colonne romane ritrovato nel porto di Ostia

istinto di costruire razionalmente, lo stesso non può dirsi per l'industrializzazione che individua quel processo di trasformazione che investe il settore edilizio nel corso dell'Ottocento, quando l'industria fa il suo ingresso nel mondo della costruzione. E quando si dice industria non a torto si allude alla rivoluzione industriale che muta il corso del XVIII secolo ed è la macchina a salutare l'inizio dell'età moderna e a decretare la nascita della fabbrica.

Lasciandosi alle spalle la bottega artigiana, la fabbrica, che nella denominazione inglese *mill* ancora allude al mulino posto in prossimità dei corsi d'acqua e azionato dall'energia idraulica, accoglie la macchina, a cominciare dal telaio meccanico che rivoluziona la produzione tessile. La contemporanea industrializzazione del processo di

Darby per la lavorazione della ghisa e dell'acciaio offre, sin dall'inizio del Settecento, nuovi materiali destinati a rinnovare il campo del costruire, mentre, sul finire del secolo, l'invenzione della caldaia a vapore mette in luce una nuova fonte di energia motrice e conferisce alla macchina una dimensione scientifica connessa al funzionalismo.

La nascita dell'industria rivoluziona tutti i settori produttivi con cambiamenti radicali dei modi organizzativi della produzione, caratterizzati da una graduale sostituzione del lavoro manuale con quello meccanizzato. La razionalizzazione dei processi che ne consegue si esplicita nella produzione in serie, principio fondamentale che industrializza il procedimento produttivo, dalla cui estensione al campo del costruire dipende l'industrializzazione dell'edilizia. E mentre nel corso del Settecento l'industria già pone le sue basi in quanto struttura economico-organizzativa, l'industrialismo nel settore edilizio muove i primi significativi passi soltanto verso la metà dell'Ottocento. Sia pur con un certo ritardo, dunque, la trasformazione del processo edilizio si lega ad un contesto socio-economico in cambiamento, in cui, oltre ai nuovi segnali ideologici, scientifici e culturali, gli impulsi tecnologici e industriali spingono nella direzione dell'industria-lizzazione del procedimento, diretto all'offerta di elementi costruttivi e di fabbrica prodotti in serie, al fine di velociz-zare i tempi di realizzazione, riducendo le operazioni di cantiere. E se la colonna in ghisa, che va gradualmente sostituendo il pilastro in legno nelle filande fin dal 1780, si diffonde ampiamente in Inghilterra solo nel 1830, anche la produzione di materie prime con metodi industriali vanta lo stesso ritardo, come accade ad esempio per il cemento intorno al 1850. E negli stessi anni ha inizio la meccanizzazione del cantiere edile, che consegue all'introduzione della macchina a vapore, in un contesto preposto alla costruzione che ricorda ancora la realtà romana e quella medievale. Il primo escavatore a vapore, infatti, fa il suo ingresso in un cantiere degli Stati Uniti nel 1834, ma sono le grandi opere infrastrutturali, le cui realizzazioni si susseguono nel corso della seconda metà dell'Ottocento, a dare maggior impulso nella direzione della meccanizzazione del cantiere.

Nel passaggio tra Settecento e Ottocento si coglie, nel campo del costruire, una posizione conservativa nei confronti della produzione artigianale, che ha imperato per moltissimi secoli nel cantiere, da cui hanno origine una certa ostilità e una controllata diffidenza verso il cambiamento con cui l'industrializzazione tende a introdurre metodi e criteri trasposti dalla grande industria. La cultura architettonica, ancorata per secoli ad una posizione di netto individualismo, con la costruzione al centro dell'universo del costruito, in tutta la sua unicità, indissolubilmente legata allo spazio e al tempo, recepisce con ritardo il processo evolutivo sotto il profilo tecnologico, che inizialmente coinvolge l'industria e poi investe l'intera società e il mondo scientifico.

La diffusione in Inghilterra degli elementi portanti in ghisa dal 1830, e di quelli in acciaio, avviata nel 1855 con il procedimento Bessemer e sviluppatasi a partire dal 1880, decretano con la produzione seriale, la nascita della prefabbricazione in officina, non più a pie' d'opera come accadeva nel cantiere tradizionale. Sul piano costruttivo il passaggio dalla carpenteria lignea a quella in ferro, non solo reinterpreta la tipologia edilizia della fabbrica, ma segna anche l'avvento del telaio, in quanto principio costruttivo, allorché la nuova società industriale si rende conto delle possibilità di iterazione seriale del trilite nelle tre dimensioni dello spazio. Inoltre nelle fabbriche ottocentesche in ghisa e in acciaio il telaio decreta la piena e definitiva indipendenza tra struttura e chiusura nella costruzione. Questa specializzazione funzionale tra elementi portanti e portati attribuisce alle membrature verticali e orizzontali, pilastri e travi che formano la gabbia, esclusivamente la funzione di resistenza statica. Ma decisivo si rivela, sul finire dell'Ottocento, il contributo di un nuovo enunciato tecnologico, il calcestruzzo armato, fondato sulla sinergia tra due materiali con coefficienti di dilatazione termica quasi uguali che ne garantiscono l'aderenza. E tra il brevetto di Joseph Monier per la costruzione di vasi da fiori del 1855, la prima trave prefabbricata di François Coignet del 1891 e il brevetto dell'ossatura portante monolitica di François Hennebique del 1892, il calcestruzzo armato conferisce al telaio una dignità costruttiva di tutto rilievo.

Tra il 1850 e la fine del secolo, le costruzioni in ghisa e in ferro, ben presto superate da quelle esclusivamente in ferro, si associano alle grandi opere infrastrutturali, a cominciare dai numerosissimi ponti, e sviluppano una tecnologia specifica suscettibile di applicazione in tutti i campi dell'architettura, con realizzazioni divise tra stazioni ferroviarie, serre, stabilimenti portuali, musei, biblioteche, gallerie commerciali, mercati, borse valori ed edifici per le grandi esposizioni, da quella londinese del 1851 a quelle parigine che si susseguono tra il 1855 e la fine del secolo. Un cinquantennio intenso di realizzazioni, contraddistinte da un carattere di leggerezza e da una spazialità aperta e luminosa, si lascia annunciare da alcune insigni anticipazioni che hanno precorso i tempi. Basta pensare al primo ponte in ferro sul fiume Severn in Inghilterra, con due semiarchi in ghisa fusi nelle officine Darby a Coalbrookdale, del 1780. Oppure alla Biblioteca Sainte Geneviève di H. Labrouste a Parigi, del 1843, e alla grande Serra delle Palme di Londra, del 1844, entrambe in ghisa, ferro e vetro. Queste opere incarnano il criterio di prefabbricare fuori opera parte della costruzione, in linea con l'istintivo approccio di razionalizzazione dell'uomo, finché nel 1850, data strategica nella storia dell'industrializzazione edilizia, J. Paxton realizza a Londra il palazzo di Cristallo, primo emblematico esempio di prefabbricazione totale dell'edificio, al punto da costituire una significativa anticipazione dei criteri informatori dell'edilizia industrializzata di oggi.



Fig. 2 – Il ponte sul Garabit di Gustave Eiffel

E mentre i pionieri dell'architettura ingegneristica in Inghilterra e in Francia legano il loro nome ad opere destinate ad essere per sempre dei capolavori, il progetto conosce la sperimentazione connessa al progresso tecnologico, non solo per i nuovi materiali, ma per i principi costruttivi che ad essi si associano tra reinterpretazioni e nuove intuizioni. Una dimensione nuova, ma ancora di grande eccezionalità, relaziona la costruzione fortemente al tempo, in quanto materializzazione di un traguardo tecnologico senza precedenti.
Sotto il profilo costruttivo si delineano il principio del telaio nella fabbrica, dell'arco nel ponte e il procedimento a cesto nelle grandi coperture voltate, nei quali il singolo elemento costruttivo è caratterizzato da un considerevole aumento della luce, che la nuova tecnologia del ferro consente. Ma nel primo periodo dell'architettura in ferro un altro principio costruttivo, quello del cavo, materializza le opere più innovative, i ponti sospesi, le cui realizzazioni sono i primi capolavori dell'ingegneria ottocentesca, come il ponte di Clifton in Inghilterra, progettato da I. K. Brunel, realizzato nel 1836. Il profilo progettuale,



Fig. 3 – Il Palazzo di cristallo di Joseph Paxton

mutuato dalla sperimentazione tecnologica, si rinnova e va acquistando una nuova dimensione che si relaziona, non solo alle potenzialità dei materiali, ma, ai tempi e ai modi di realizzazione.

E mentre Paxton avvicina l'architettura alla società industriale, in America G.W. Snow mette a fuoco pragmaticamente un sistema costruttivo, il Balloon Frame, con struttura a scheletro di listelli unificati nelle dimensioni e giunzioni chiodate, il cui primo edificio è anche la prima chiesa cattolica di Chicago, realizzata nel 1833. Destinato a dominare la scena dell'edilizia residenziale per oltre un secolo, inaugura un principio costruttivo ancora oggi alla base della residenza extraurbana americana. Snow codifica un sistema, mentre in Europa, invece, bisogna aspettare la "Bauhaus perché la cultura architettonica europea accolga, e non senza contrasti, l'industria come parte integrante di sé, […] mentre la condizione

di «non cultura» dell'America della prima frontiera ha lasciato campo aperto allo sviluppo di un'architettura francamente industriale, senza le remore della lunga polemica tra il «fatto a mano» e il «fatto a macchina» che per quasi un secolo ha logorato l'architettura e le arti figurative europee in una altalena di avanguardismi e di involuzioni".[1]

Dai primi del Novecento diventano di uso corrente i procedimenti in acciaio e, se pur più giovani, quelli in calcestruzzo armato, che accolgono dall'inizio l'industrializzazione e, tra il sostegno della sperimentazione e l'applicazione in vari campi tipologici, tendono a privilegiare il tema della residenza, alla luce delle mutate esigenze della classe sociale. E mentre le sperimentazioni di K.Wachsmann e di Füller sul traliccio metallico, basato sul tetraedro, realizzano il primo studio programmatico e tecnologico, sulle tracce di A.G. Bell della fine dell'Ottocento, sono i protagonisti del movimento moderno a promuovere il primo significativo approccio verso i procedimenti industrializzati, tanto alla scala del progetto di architettura, che di urbanistica. Il contributo di Le Corbusier, in maniera ancor più esplicita rispetto agli altri razionalisti europei, persegue la strada dell'equilibrio tra architettura e innovazione tecnica. "Quella dell'industrializzazione e dei suoi procedimenti è per lui una realtà di fatto, sorta indipendentemente dal travagliato dibattito interno alla cultura architettonica che va da Morris a Gropius come pure dalle soluzioni puramente tecnicistiche americane"[2]. Questo impegno incontra nel tema dell'alloggio minimo una successione di iniziative, dalla "casa Citrohan", alla "Maison Domino", testimoni, nella definizione della cellula da realizzare in serie, del fascino della realtà industriale, recepito e condiviso con i più grandi maestri della modernità, da Gropius a Mies Van Der Rohe, a Neutra. La produzione seriale appare un programma necessario a sistematizzare il processo compositivo, in cui tecnologia, tipizzazione e standardizzazione sono strumenti essenziali. "L'architettura agisce sugli standard. Gli standard sono cose di logica, di analisi, di studio scrupoloso. […] L'architettura è immagine plastica, è speculazione intellettuale, matematica superiore. L'architettura è un'arte assai degna. Lo standard, imposto dalla legge di relazione, è una necessità economica e sociale. L'armonia è uno stato di concordanza con le norme del nostro universo. La bellezza domina; essa è di pura creazione umana; essa è il superfluo necessario a coloro che hanno un'anima elevata. Ma bisogna prima tendere allo stabilimento di standard per affrontare il problema della perfezione"[3]. E non è casuale che Le Corbusier integri questo concetto con le immagini del Partenone per dimostrare che misura, ordine e bellezza hanno valore sempre attuale.

La dimensione sperimentale raggiunge il massimo livello, al punto che il progetto è sperimentazione, non solo per la rispondenza agli enunciati tecnologici, o per la ricerca di soluzioni spaziali rispondenti ai nuovi bisogni di vita e di

lavoro, ma per l'interazione tra materiali diversi, perseguita nella logica dell'identificazione di modelli ripetibili. I contributi in tal senso sono tanti, da casa Wichita a casa Dymaxion di Füller, in acciaio, alluminio e plexiglas, e spesso vedono la collaborazione di energie diverse professionalmente e culturalmente, come nel caso del sistema General Panel, messo a punto da K.Wachsmann e W.Gropius nel 1941 per studiare l'elemento prefabbricato completo di infissi e impianti, avvalendosi del legno come materiale base molto diffuso in America. In effetti, è proprio l'industrializzazione delle aziende produttrici di elementi costruttivi a promuovere la riorganizzazione su basi industriali anche delle imprese costruttrici, con conseguente meccanizzazione prima del cantiere delle grandi opere infrastrutturali e, successivamente, di quello degli edifici.

Il secondo dopoguerra impone in tutto il mondo l'esigenza della ricostruzione che aggiunge una ulteriore eccezionale domanda di alloggi a quella già formulata negli anni tra le due guerre, allorché il modello industriale impone alla società una radicale trasformazione. La grave crisi dell'alloggio che affligge la maggior parte dei paesi europei, più o meno sviluppati, richiede e incoraggia ampie e massicce realizzazioni, per le quali l'industrializzazione introduce due imperativi di economia, di tempi e di costi. L'emergenza diviene azione motrice, alla stessa stregua dell'industria che aveva agito da catalizzatore a partire dalla fine del Settecento. Si diffonde, pertanto, specie nel settore dell'edilizia residenziale, l'impiego di elementi costruttivi prefabbricati in officina in calcestruzzo armato e, attraverso una meccanizzazione più spinta, la soluzione dei getti industrializzati in cantiere. Si individuano due *modus operandi* che pongono la Francia in posizione di rilievo rispetto all'intera Europa, per il sostegno della politica economica dell'apparato statale, promotore di finanziamenti e di investimenti, e per i numerosi brevetti che hanno trasformato l'esperienza di un paese attento alle innovazioni tecnologiche in modello da imitare e da studiare per attivare nuovi procedimenti.

Emblematico è il caso dell'affidamento alla società Camus, negli anni Cinquanta, di un intervento di edilizia pubblica che ha richiesto l'installazione di una fabbrica in posizione tale da garantire una produzione piuttosto lunga ed economica per quanto attiene al trasporto. Il sistema piano, a pannelli portanti verticali e orizzontali, viene impiegato in via sperimentale anche nel quartiere Gratosoglio sud a Milano, il cui impianto urbanistico è dello studio BBPR. In ogni caso, la prefabbricazione in officina in Francia raccoglie, in un certo senso, l'eredità consegnata da Perret, progettista e impresario, che, con un sistema di pannelli in calcestruzzo economicamente conveniente, negli anni Venti e Trenta, pone le basi della cosiddetta prefabbricazione pesante che avrebbe condizionato la ricostruzione postbellica.

E ancora in Francia, sempre negli anni Cinquanta, l'industrializzazione dei getti in cantiere, dopo le prime applica-

zioni in campo infrastrutturale, viene impiegata correntemente nella realizzazione di edifici, mediante casseforme spaziali mobili orizzontalmente, codificate nei due sistemi Tracoba e Sectra. Questo tipo di approccio pone la differenza tra il termine industrializzazione, che si relaziona a quei procedimenti che, con l'impiego in cantiere di vere e proprie macchine, con funzione di casseforme, traspongono l'officina nel luogo della realizzazione del manufatto, e la voce prefabbricazione, che assume l'accezione di strumento per la produzione seriale di interi sistemi o di componenti edilizi, da porre in opera mediante semplici operazioni di montaggio, e, pur appartenendo al processo industrializzato, non si esaurisce in esso. E con le casseforme a tunnel dei sistemi Tracoba e Sectra prendono avvio negli anni a seguire prima le casseforme gonfiabili tipo Bini, in materie plastiche, per la realizzazione dei gusci in calcestruzzo armato, poi le casseforme rampanti di strutture a sviluppo verticale.

Nel 1946 si compie anche l'Unità d'abitatione di Marsiglia, che sembra costituire l'epilogo della vicenda lecorbusiana in termini di adesione al modello industriale. Al di là della soluzione degli elementi di facciata prefabbricati in officina e poi agganciati all'ossatura portante, il Maestro concepisce gli alloggi come unità indipendenti dalla struttura portante, prefabbricate in officina e poi disposte all'interno della griglia di travi e pilastri, che si eleva al di sopra dei pilotis. I mezzi dell'epoca non permettono ancora una organizzazione in termini di prefabbricazione che consenta la realizzazione delle cellule in officina, per cui Le Corbusier utilizza una partizione con telaio in legno e cartongesso tra gli alloggi, solidarizzata al solaio in ferro ed al controsoffitto, anch'esso in cartongesso, in modo da creare cellule isolate acusticamente dalla struttura intelaiata in calcestruzzo armato, mediante scatole in piombo e uno strato di lana di vetro tra due partizioni contigue.[1] Lo spingere la progettazione fino al livello di totale prefabbricazione dell'abitazione, imitando ancora l'automobile, e quindi il concepire rigidamente la produzione in serie di case da montare, denota il tipico atteggiamento francese orientato verso una prefabbricazione a ciclo chiuso, rivolto cioè alla definizione di componenti utilizzabili solo in uno specifico organismo edilizio. A questo si contrappone un altro tipo di approccio, cosiddetto a ciclo aperto, condiviso dall'America e dall'Inghilterra, che privilegia la produzione prefabbricata di alcuni componenti, nell'ottica più che di una prefabbricazione parziale, di garantirne una flessibilità in campo applicativo

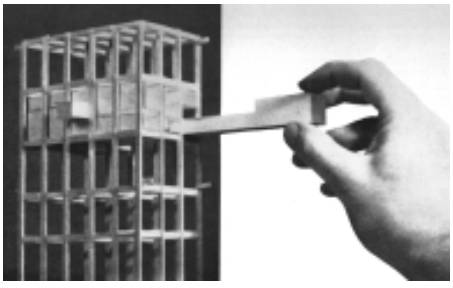


Fig. 4 –Gli alloggi dell'Unità di Marsiglia da inserire delle bottiglie in un portabottiglie

senza limiti di tipologie edilizie e di variabilità del mercato.

Nei procedimenti a ciclo chiuso, il progetto tende ad assumere una posizione di subordinazione rispetto ai sistemi costruttivi che riducono la libertà del progettista. Tale limite si ridimensiona sensibilmente nei procedimenti di edilizia industrializzata a ciclo aperto, di cui Gropius si era fatto sostenitore già negli anni Venti.

E se è vero che dopo i contributi francesi quelli più significativi sono da ascriversi all'esperienza britannica, bisogna sottolineare che proprio all'Inghilterra si deve il merito di aver sviluppato procedimenti costruttivi industrializzati da applicare in cantiere, fondati su uno studio particolarmente attento del ciclo di produzione, che corrisponde ad una programmazione delle operazioni da eseguirsi in contemporaneo. Il sistema Jackblock, ad esempio, individua un principio costruttivo applicato più volte, partendo da una prima felice sperimentazione condotta a Coventry nell'inverno 1962-1963 nella realizzazione di un edificio a torre con piccoli alloggi per persone anziane. Ciascun solaio, prefabbricato a pie' d'opera, viene solidarizzato al nucleo portante in calcestruzzo e con esso sollevato di un piano da quaranta martinetti posti alla base, individuando un'operazione che si ripete per il numero dei piani stabilito in un'officina attrezzata in cantiere ai piedi dell'edificio. "L'officina era costituita da una incastellatura metallica rivestita interamente da fogli di politene e l'edificio fuoriuscendo da questa ultima dava l'impressione di essere prodotto per estrusione".[2] Interessante è l'organizzazione del ciclo di produzione, ordinata sui primi cinque piani, eseguendo contemporaneamente struttura, opere di completamento e finiture.

Il sistema Jackblock richiama la tecnica nordamericana del lift-slab, che appartiene al più vasto capitolo dei procedimenti lifting, diffusasi intorno agli anni Cinquanta. Il principio ordinatore prevede la realizzazione a pie' d'opera di tutte le solette, una sull'altra, separate da un interposto foglio di materiale plastico, limitando le casseforme solo ai bordi, e il successivo sollevamento con una serie di martinetti idraulici alla sommità di pilastri, in cemento armato o in acciaio, o di nuclei portanti. Si tratta del primo procedimento di produzione in opera di edifici pluripiano o di grandi coperture, mutuato dalle esperienze dei serbatoi di Landskrona in Svezia e di Douvrin in Francia, le cui vasche sono realizzate a terra e poi sollevate lungo gli elementi portanti verticali.

La ricostruzione postbellica nei paesi dell'Est, invece, predilige soluzioni diverse, legate a grandi commesse e a grandi fabbriche, in risposta a un fabbisogno di dimensioni eccezionali. Infatti, in Unione Sovietica si sperimentano sistemi tridimensionali in calcestruzzo alleggerito, con cellule scatolari portanti di un vano, con pareti laterali complete di infissi e soletta di copertura, solidarizzate tra loro con getti in opera. Tra quelli più diffusi il sistema Con-box, impiegato anche in Danimarca, con unità standard portate da un telaio prefabbri-

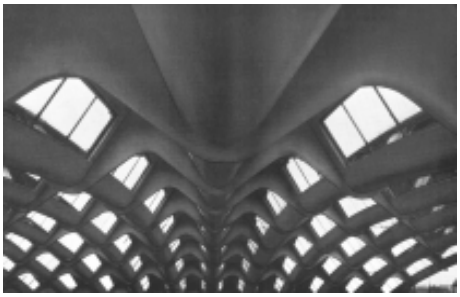


Fig. 5 – Il Salone Esposizioni di Torino



Fig. 7 – Il Lanificio Gatti di Roma



Fig. 6 – Elementi prefabbricati per la volta del Salone di Torino Esposizioni

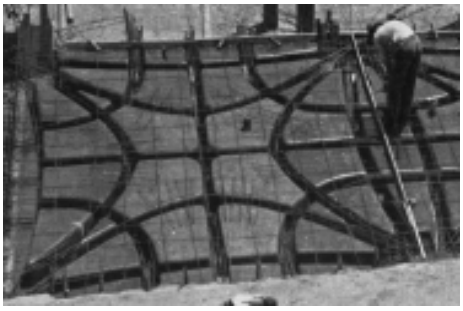


Fig. 8 – Cassero in ferro-cemento reimpiegabile per la copertura del Lanificio Gatti

cato, aggiunge, ai limiti imposti alla soluzione distributiva, problemi connessi al trasporto. Analogo è il sistema Truscon, con alloggi su due livelli, di matrice inglese. Polonia e Cecoslovacchia, invece, sperimentano ancora la prefabbricazione pesante con massicci interventi che tuttavia vantano, nell'applicazione di sistemi piano-lineari come l'MS, una certa flessibilità nell'aggregazione sul piano urbanistico. Diversamente l'esperienza italiana si relaziona continuamente al consolidato modello industrializzato francese, dalla prefabbricazione pesante nei suoi vari sistemi, all'industrializzazione dei getti, sia pur con un certo ritardo che spesso attende altre emergenze per passare alla fase operativa e, in alcuni casi, vanifi-cando anche l'economia dei costi, per le difficoltà di industrializzazione del cantiere.

Di maggiore significato appare, invece, l'impegno di alcuni progettisti, in un clima di conservatorismo fatto di scelte e di tradizione, con contributi che testimoniano l'attenzione al progresso tecnologico e la convinzione di non poterlo estromettere dalla realtà del costruire. La figura di Pier Luigi Nervi, ad esempio, offre pregevoli contributi alla prefabbricazione a pie' d'opera, nell'ottica di semplificare le lavorazioni, ridurre tempi e costi ed elevare qualità e prestazioni.

Nelle sue opere sperimentazione e progetto si fondono insieme alla ricerca di soluzioni specifiche, tutte impron-tate, però, al principio chiave di adottare casseri a perdere in calcestruzzo o reimpiegabili in ferro-cemento, a vantaggio di una realizzazione più facile e veloce che consente di ottenere risultati di grande plasticità.

Di sicuro effetto è la volta ondulata secondo la generatrice nel Salone Esposizioni di Torino del 1948, e il solaio con nervature isostatiche del Lanificio Gatti di Roma del 1951, realizzati con elementi di cassaforma studiati in funzione della soluzione formale e della realizzazione.

Rilevante è anche l'impegno di molti progettisti italiani nella realizzazione dei complessi di case popolari, in cui si coglie chiaramente l'impegno ad individuare standard esecutivi, in una visione più europea di continua e crescente attenzione a soluzioni innovative, sperimentazioni e laboratori, e il tentativo di lasciar entrare la prefabbricazione strutturale nel progetto della residenza che, pur tra varie sperimentazioni, spesso si limita alla sola scala progettuale. Un atavico atteggiamento conservatore nei confronti delle soluzioni tradizionali, sommato alle difficoltà di organizzazione delle strutture produttive, determina il ritardo, quantificabile in circa trenta anni, con cui il nostro paese si apre all'industrializzazione.

Emblematico è il ricorso all'impiego di un procedimento lifting, resosi necessario al momento della realizzazione, nel corso degli anni Novanta, in due edifici di oltre cento metri di altezza del Centro Direzionale di Napoli, in cui, in sede di progetto, era stato imposta una realizzazione con sistemi tradizionali.

[1] M. Grisotti, *L'industrializzazione dell'edilizia in rapporto alla prima e alla seconda rivoluzione industriale*, in AA.VV., *Industrializzazione dell'edilizia*, Bari, Dedalo libri, 1965, pp. 49 e 50.

[2] R. De Fusco, *Storia dell'architettura contemporanea*, Roma-Bari, Laterza, 1988, p.226.

[3] Le Corbusier, *Vers une architecture,* Paris, Fréal & C.,1958, p.35.

[4] R. M. Bisch, *Le Corbusier La Cité radieuse de Marseille,* Marsiglia, Imprimerie Saint-Victor, 1992.

[5] G.M. Oliveri, *Prefabbricazione o metaprogetto edilizio*, Milano, Etas Kompass, 1968, p. 79.

Marika Mangosio

La nascita e l'evoluzione dell'industria italiana della litoceramica e i suoi riflessi nella cultura del costruire

Nel 1931 Giovanni Muzio riceve dalla Fondazione Bernocchi l'incarico di progettare la nuova sede per la Triennale nel parco Sempione di Milano[1]. La peculiarità del tema progettuale e l'anelito ad una maggiore libertà compositiva spingono il progettista alla ricerca di un nuovo materiale da costruzione. Per il Palazzo dell'Arte Muzio sceglie il klinker, un mattone in materiale ceramico molto diffuso sia in Olanda che in Germania, ma ancora sconosciuto in Italia.

Il klinker appartiene insieme al grès alla categoria dei prodotti ceramici silicatici a tessitura vetrificata del tipo comune ed è prodotto a partire da una miscela a base di argille caoliniche vetrificabili, rocce feldspatiche come fondenti e graniglia refrattaria (chamotte e quarzo) in dose elevata. Esso possiede un'elevata percentuale di fase vetrosa, che si sviluppa mediante cottura una volta raggiunto il punto di greificazione[2]. Si verifica in tal modo il passaggio da una struttura porosa ad una struttura compatta, che dà origine ad un prodotto omogeneo, impermeabile, non gelivo, dotato di elevata resistenza meccanica e chimica.

Durante i suoi soggiorni nel Nord Europa, Muzio aveva avuto modo di conoscere ed apprezzare il klinker, osservando le opere di Behrens, di Dudok, degli esponenti della Scuola di Amburgo e di quella di Amsterdam.

L'episodio del Palazzo dell'Arte segna l'inizio di una singolare sperimentazione nell'ambito della produzione ceramica italiana. Muzio infatti rimane così colpito dal klinker al punto di tornare in Italia con alcuni mattoni sottratti in cantiere, deciso a tentare di riprodurre il materiale con argille locali. A tal fine si mette in contatto con numerosi produttori italiani: l'unica ditta nazionale che presenta risultati soddisfacenti sia da un punto di vista qualitativo che economico è la Ceramiche Piccinelli di Bergamo, cui viene affidata la fornitura del nuovo materiale, che prende il nome di "italklinker".

Nel Palazzo della Triennale Muzio utilizza il klinker come elemento costruttivo e portante, mutuandone l'uso dagli esempi tedeschi e olandesi. Egli riveste infatti l'edificio con un paramento di 15 cm in mattoni pieni autoportanti, che collaborano staticamente con la struttura in calcestruzzo armato e assolvono anche alla funzione di tamponamento. I singoli elementi costruttivi quali davanzali, cornici marcapiano, modanature di coronamento, sono definiti con pezzi speciali o con elementi ordinari posti di coltello.

L'uso del klinker massiccio crea però qualche difficoltà nella posa in opera, a causa dell'eccessivo peso dei mattoni e degli spigoli taglienti. Poiché il costo è

ancora elevato e quindi poco concorrenziale, dietro consiglio di Muzio la ditta del conte Piccinelli abbandona ben presto il mattone pieno strutturale, per produrre un tipo di klinker più leggero, detto litoceramica o pietra-ceramica. Essa è composta da argille caoliniche, da fondenti che possono essere costituiti da silicati rocciosi e da rocce eruttive (porfidi o basalti) finemente macinate come materiale antiplastico. La nuova produzione viene orientata verso listelli da rivestimento secondo un ampio ventaglio di formati e colorazioni, accogliendo le tendenze architettoniche coeve e l'evoluzione delle tecniche costruttive in campo edilizio.

Con la progressiva affermazione della struttura portante a telaio, tamponato con muratura in laterizio, nasce l'esigenza di proteggere l'ossatura in calcestruzzo armato o in acciaio e di nascondere la disomogeneità estetica del sistema travi - pilastri - tamponamento. Ciò determina la diffusione di rivestimenti di facciata sottili, a elementi più o meno grandi: nel giro di pochi anni la litoceramica si afferma tra le varie soluzioni di finitura esterna sia per le notevoli potenzialità espressive che per l'elevata durabilità:

Il nuovo prodotto, denominato "Litoceramica Italklinker", viene presentato per la prima volta tra le specialità edilizie alla Mostra Edilizia di Roma del 1932. Essa viene paragonata per le sue caratteristiche al rivestimento in pietra da taglio: è caratterizzata dalla minima permeabilità all'acqua, dall'alta resistenza agli agenti atmosferici e la vivacità delle tinte, ma presenta una vantaggiosa economicità rispetto al materiale lapideo. Tra i marchi depositati dalla Ceramiche Piccinelli figurano, oltre all'ital-klinker, anche la litoceramica porfiroide e porfilite, che differiscono dal primo per la maggiore finezza della grana d'impasto: esse risultano meno granose e più dure[3].

Negli stessi anni anche la Società Anonima Canavesana Ceramiche e Refrattari di Castellamonte (TO) inizia la produzione di nuovi elementi ceramici da rivestimento, presentando il "Klinker Concolor".

La diffusione dell'impiego della litoceramica in Italia non è legata però solo alle esigenze espressive della nuova generazione di architetti, ma è resa possibile dalla capacità della struttura industriale italiana dell'epoca di integrarla nella propria produzione.

Lo sviluppo dell'industia italiana della litoceramica è determinato da una serie di fattori concomitanti. Da un lato il crescente sviluppo dell'ingegneria chimica e della petrografia rendono possibile l'individuazione sul territorio nazionale delle materie prime più adatte e formulazioni sempre più raffinate dell'impasto in parallelo al crescente controllo della qualità del prodotto nelle diverse fasi del ciclo produttivo. Su questo sviluppo influisce anche il piano autarchico lanciato dal governo italiano nel 1936 in risposta all sanzioni economiche approvate contro l'Italia dalla Società delle Nazioni per la campagna d'Etiopia. Il piano prevede forti limitazioni relativamente alle importazioni dall'estero ed impone l'uso di materiali

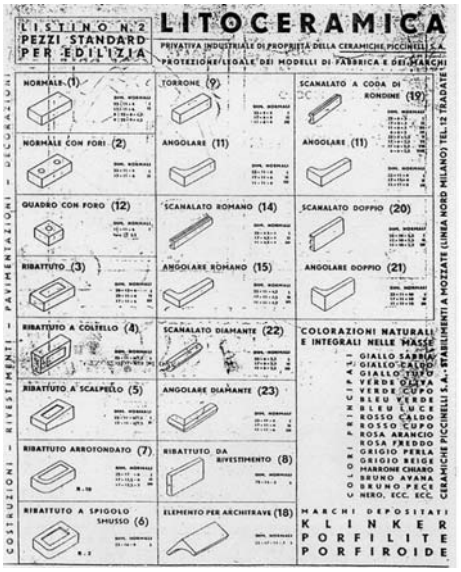


Fig. 1 - Inserzione pubblicitaria della Ceramiche Piccinelli. Da "Architettura", giugno 1934, quarta di copertina.



Fig. 2 - Benito Mussolini visita il cantiere del Palazzo dell'Arte nel 1932. Alla sua destra Giovanni Muzio

nazionali e di nuovi semilavorati rigorosamente di produzione italiana, intesi come succedanei o surrogati di altri materiali più pregiati. In seguito all'autarchia le industrie ceramiche devono quindi far ricorso alle sole materie prime nazionali, approfondendone ed ottimizzandone le potenzialità d'impiego.

Lo sviluppo dell'ingegneria meccanica determina fin dai tempi della Prima Guerra Mondiale la messa a punto di macchine utensili sempre più versatili: esse garantiscono anche all'industria ceramica un ampio ventaglio di formati di commercializzazione dei propri prodotti. La formatura della litoceramica in listelli e piastrelle viene effettuata allo stato plastico mediante estrusione o trafilatura[4]. Mediante trafilatura verticale si ottengono ad esempio le classiche spaccarelle o *spaltplatten*, vale a dire due elementi collegati tra loro lungo il retro da peduncoli, separabili in opera con un solo colpo secco. La diffusione della catena di montaggio per la fabbricazione in serie e la progressiva automazione del sistema produttivo consentono ordinazioni sempre più consistenti. Tra le principali forniture della Ceramiche Piccinelli si annoverano quelle per il rivestimento della Torre Littoria di Melis e Bernocco a Torino e per la Città Universitaria di Roma, mentre la Società Anonima Canavesana Ceramiche e Refrattari di Castellamonte fornisce il Klinker Concolor per il cantiere di ricostruzione del secondo tratto di via Roma a Torino.

Un ulteriore contributo alla produzione italiana di litoceramica è rappresentato poi dal costante perfezionamento dei forni. L'impasto deve essere sot-

toposto ad una cottura di parecchie ore ad una temperatura costante di 1200-1280 C°[5]. L'introduzione di pirometri ottici e coni Seger consentono rigorosi controlli della temperatura a tutto vantaggio dell'uniformità di cottura e della qualità del prodotto. La possibilità di variare il tipo di atmosfera dei forni (ossidante o riducente) influisce sull'assortimento delle possibili colorazioni; tonalità cromatiche differenti possono inoltre essere ottenute con l'aggiunta di opportuni pigmenti.

La produzione della litoceramica, così consolidatasi, permane nel sistema industriale italiano per circa quarant'anni: Muzio infatti non solo introduce il klinker nell'industria edilizia, ma ne consolida l'impiego nell'architettura italiana, fino agli anni Sessanta, influenzando una intera generazione di progettisti. Dell'architetto milanese ricordiamo a titolo d'esempio le case Bonaiti e Malugani di piazza della Repubblica a Milano o le case dei Giornalisti di via Sandri e di viale Monte Santo o ancora il centro culturale Angelicum. A Torino la litoceramica viene impiegata negli anni Trenta da Aloisio e Tedesco Rocca per le case di corso Rosselli e di via Colombo e nella villa Caudano di Levi Montalcini. Tra il 1938 ed il 1941.

Pagano riveste con piastrelle rettangolari in litoceramica color grigio chiaro rosato della Piccinelli gli edifici dell'Università Commerciale Bocconi, mentre il secondo dopoguerra milanese vede tra i principali sostenitori del rivestimento in litoceramica l'architetto Luigi Caccia Dominioni, ancora una volta in collaborazione con la ditta di Mozzate. La Ceramiche Piccinelli scompare intorno al 1967, mentre la S.A.C.C.E.R. viene chiusa nei primi anni Ottanta: la litoceramica esce così definitivamente di scena, soppiantata da nuove soluzioni tecniche di rivestimento.

[1] Sul Palazzo dell'Arte di Milano cfr. L. FIORI, *Il Palazzo dell'Arte a Milano. Il concetto costruttivo*, "Casabella", gennaio 1980, 454; L. FIORI, M. P. BELSKI, *Giovanni Muzio. Il Palazzo dell'Arte*, Milano, Edizioni Abitare Segesta, 1982; *La Triennale di Milano e il Palazzo dell'Arte*, a cura di D. Marchesoni, Milano, Electa, 1985.

[2] Temperatura minima alla quale avviene la fusione superficiale dei granuli dell'impasto.

[3] Si tratta di materiali a struttura porfirica, che presentano grani di dimensioni maggiori immersi in una matrice a granulometria più minuta.

[4] R. SERSALE, *I materiali ceramici ordinari e speciali*, Milano, Casa Editrice Ambrosiana, 1975, p. 27.

[5] La cottura a temperature così alte è possibile grazie all'assenza nelle argille di calcari, ossidi di ferro e di calcio che tendono ad abbassare il punto di fusione.

Carlo Montuori

L'Ingegneria Idraulica e i modelli: excursus storico

Sommario

Alla metà del XIX secolo gli studiosi e gli ingegneri di cose idrauliche cominciarono ad interessarsi alla possibilità di studiare il funzionamento di singole opere mediante la loro simulazione in modello.

Le prime trattazioni teoriche e le prime applicazioni riguardarono il moto di natanti e il deflusso in corsi d'acqua naturali. Altri problemi furono affrontati successivamente, come i moti complessi in opere civili a pareti fisse o nelle macchine idrauliche.

Da quella metà dell'ottocento l'attività di sperimentazione su modello, sopperendo alle difficoltà d'avvalersi delle conoscenze teoriche di Idraulica e di Idrodinamica, ha consentito di prevedere con sufficiente grado di attendibilità i caratteri del moto in sistemi complessi e ha facilitato, così, in modo determinante la realizzazione di opere di fondamentale importanza nello sviluppo della vita civile.

In questa comunicazione, dopo una sintetica rassegna dei criteri di rappresentazione in modello di opere idrauliche, si ricordano, di tale attività, le origini, le iniziali perplessità nelle sue prime applicazioni e, poi, il successivo, possente sviluppo, che portò, già nella prima metà dello scorso XX secolo, a rendere la sperimentazione preliminare una sistematica consuetudine e, successivamente, in molti casi, un obbligo prescritto dall'autorità pubblica.

Premessa. Le classi di modelli in Idraulica

È noto che la simulazione in modello di opere e sistemazioni idrauliche viene fatta con *modelli fisici* e con *modelli matematici*.

Le due denominazioni sono nate in tempi relativamente recenti.

I *modelli fisici*, più tradizionali, vengono comunemente distinti in *modelli simili, modelli distorti, modelli analogici*.

I *modelli matematici* hanno trovato motivo del loro possente sviluppo nella disponibilità, determinatasi negli ultimi decenni, dei moderni sistemi elettronici di calcolo automatico.

L'esposizione che segue è rivolta fondamentalmente ai *modelli fisici*.

I *modelli simili* rispettano la cosiddetta *similitudine meccanica*. In essi la corrispondenza viene istituita tra grandezze della stessa specie. Il rapporto, o scala di riduzione, è unico per tutte le grandezze che abbiano le stesse dimensioni. Il rapporto l tra le lunghezze nel modello e le corrispondenti lunghezze nell'originale è la *scala del modello*. Nei modelli idraulici la similitudine non è mai completa, nel senso che si è costretti

a trascurare alcune particolarità del moto. Così, salvo qualche rara eccezione, si trascurano gli effetti della comprimibilità dell'acqua e quelli della tensione superficiale. Ma, in pratica, si introducono altre limitazioni, diverse a seconda dei casi. Si parla, allora, di *similitudini parziali*. Le più usate sono la *Similitudine di Froude*, la *Similitudine di Reynolds*, la *Similitudine di Eulero*. I *modelli simili* vengono realizzati, salvo rarissime eccezioni, utilizzando l'acqua come fluido.

Nei *modelli distorti* viene istituita ancora una corrispondenza di proporzionalità tra grandezze della stessa specie, ma il rapporto può essere diverso per grandezze che abbiano le *stesse dimensioni*. La corrispondenza quasi mai viene istituita tra grandezze puntuali, ma piuttosto tra i caratteri globali delle correnti: altezze idriche, aree delle sezioni idriche, velocità medie di portata, etc. Anche nei *modelli distorti* si impiega, praticamente sempre, l'acqua come fluido.

Tra i modelli simili e tra quelli distorti vanno annoverati anche modelli per lo studio di moti idrici in presenza di materiale solido sciolto più o meno sottile: modelli *a fondo mobile*, che hanno appunto il fondo costituito da materiale sciolto; modelli di *sospensioni* o di *soluzioni acquose*; modelli di *colate detritiche*. In particolare, i *modelli a fondo mobile* sono largamente impiegati, e lo sono stati fin dai primordi, per lo studio del moto in corsi fluviali. Vengono molto impiegati anche per il moto in acque basse in vicinanza di litorali.

Nei *modelli analogici* le grandezze fisiche con cui si realizza il modello non sono, in genere, della stessa specie di quelle che gli corrispondono nell'originale. In essi il fenomeno fisico utilizzato è retto da equazioni che, salvo il significato dei simboli, sono uguali alle equazioni assunte a reggere il moto idrico.

Con i *modelli matematici* si procede alla scrittura delle equazioni che interpretino al meglio il fenomeno da studiare, e alla successiva definizione dei relativi algoritmi di soluzione numerica: il tutto, ovviamente, in relazione agli strumenti di calcolo automatico di cui si dispone.

Qui l'esposizione dello sviluppo storico dei modelli verrà fatta separatamente per ciascuna delle diverse categorie elencate.

2. *Modelli in similitudine*

Già nel 1687 Isaac Newton aveva enunciato una regola di similitudine tra sistemi materiali in movimento[1].

Assunta la similitudine geometrica e delle densità tra i due sistemi, e ammesso, tra l'altro, che l'inizio del moto avvenisse in similitudine, che non ci fosse interferenza tra le parti di uno stesso sistema se non nei momenti in cui queste si riflettono a vicenda, che le forze acceleratrici unitarie stessero tra loro nei due sistemi in proporzione inversa alle lunghezze e diretta ai quadrati delle velocità, Newton concluse che le parti corrispondenti avrebbero continuato a muoversi allo stesso modo in tempi proporzionali: tra l'altro, le forze resistenti

sarebbero variate, da un sistema all'altro, in proporzione diretta alle densità e ai quadrati delle velocità.

L'enunciato, pur di ampio respiro, non consentiva immediate applicazioni a causa delle condizioni vincolanti in esso contenute. Infatti, queste contrastano con l'esistenza di una forza di gravitazione comune a tutti i corpi presenti sulla Terra, e comportano l'assenza di forze d'attrito, che, invece, sono spesso d'effetto rilevante.

Di qui, la necessità di ricorrere alle similitudini parziali, che, a seconda dei casi, riescano a tener conto solo dell'una o dell'altra di tali limitazioni.

2.1 *Modelli nella similitudine di Froude*

La similitudine riguarda moti a superficie libera, nei quali si possa rinunziare a rappresentare gli effetti della viscosità: in essa occorre tener conto a pieno titolo della gravità terrestre in quanto nei moti con essa rappresentati una parte del contorno del campo di moto, la superficie libera appunto, è determinata proprio dalla gravità e non può essere fissata a priori. La prima trattazione organica è dovuta non a *Froude*, dal quale essa prende il nome, ma a *Ferdinand Reech*, professore alla *École d'application du Génie Maritime* di Lorient, in Francia, che espose il problema della rappresentazione in modello di moti idrici in un testo di carattere didattico pubblicato nel 1852. A quanto risulta, la trattazione veniva impartita agli allievi fin dal 1831: lo dicono Rouse e Ince nella loro *History of Hydraulics* .

La trattazione di Reech, condotta con gli strumenti del calcolo differenziale, costituì un complemento all'enunciato di Newton. Infatti, Reech dedusse le stesse regole di Newton, imponendo la condizione che, nelle equazioni che esprimono il secondo principio della Dinamica, i termini relativi alle forze esterne nei due sistemi stessero tra loro nello stesso rapporto delle forze d'inerzia. Ma poi si soffermò sulle conseguenze della presenza della gravità terrestre in entrambi i sistemi. Questa comporta l'uguaglianza delle forze acceleratrici unitarie.

Tra l'altro, giunse alle seguenti conclusioni, enunciate con specifico riferimento a modelli di natanti, di peculiare interesse per gli allievi cui era indirizzato il testo: 1) il modello di nave doveva muovere ad una velocità ridotta secondo la radice quadrata del rapporto tra le dimensioni lineari in modello e le corrispondenti nel natante vero; 2) per ottenere le forze nel natante vero, occorreva dividere le forze misurate in modello per l'inverso del cubo della scala delle dimensioni lineari. In questo secondo punto era stata già implicitamente introdotta l'ipotesi d'uguaglianza delle densità.

Indicate con i pedici 1 e 2 le grandezze relative rispettivamente all'opera in vera grandezza, in tal caso la nave, e il modello, tali regole si possono scrivere:

$$(1)\ \frac{V_2}{V_1} = \lambda^{1/2}\ ; \qquad (2)\ \frac{F_2}{F_1} = \lambda^3\ ;$$

dove sono indicate con V ed F le forze e le velocità corrispondenti, e con

$$\lambda = \ell_2/\ell_1$$

il rapporto tra le lunghezze.

Sono, appunto, le due principali regole della similitudine di Froude.

In questo modo Reech aveva tenuto conto della presenza della gravità terrestre in entrambi i sistemi. Ma non aveva tenuto conto della presenza dell'attrito; e ne era ben consapevole, come risulta dai suoi commenti. Così come era consapevole del fatto che la comoda consuetudine, fin da allora adottata, di lasciare che le superficie libere siano sottoposte in modello alla stessa pressione del moto originale, quella atmosferica, non porta, se non in casi particolari, a invalidare la similitudine stessa.

La regola indicata dal Reech, che l'aveva insegnata per anni nella Scuola d'Ingegneria Marittima di Lorient, dovette trovare ampia diffusione, se la si trova menzionata in un rapporto compilato per conto del Ministero Francese della Marina e da lì riportata in Gran Bretagna in un testo di J. Bourne pubblicato a Londra nello stesso anno 1852 della pubblicazione del trattato del Reech[2]. Il rapporto originario, compilato da un ufficiale della Marina Francese e da un ingegnere navale, dai nomi rispettivamente di Bourgois e Moll, riferiva di una notevole serie di esperimenti fatti in mare negli anni 1847-48 sul vascello "Pelican", per studiare le prestazioni delle eliche di propulsione su di esso montate. Vi si affermava tra l'altro che i risultati ottenuti nelle prove erano suscettibili d'applicazione su vascelli di forma simile, ma più grandi o più piccoli, se si prendeva la precauzione di far variare le velocità corrispondenti come la radice quadrata delle dimensioni lineari dei due vascelli[3].

Sedici anni dopo che Reech aveva pubblicato il trattato, gli stessi risultati furono ottenuti per via diversa da William Froude, ingegnere inglese, in preparazione e nel corso di una serie numerosa e sistematica di prove su modelli di navi, che lui condusse per anni in vasche appositamente attrezzate. Nella sua esposizione non v'è alcun cenno alla trattazione del Reech. Pervenne alle stesse conclusioni in via autonoma e ritenne di esservi pervenuto per primo. Ne dette conto nel 1868. Egli distinse le resistenze al moto in tre categorie: quelle connesse con la formazione di vortici, presenti anche nei corpi totalmente immersi; quelle dovute all'attrito sulla parete dello scafo; quelle connesse con la formazione di onde di superficie, tipiche dei natanti. Rilevò poi che, secondo conoscenze pregresse, le resistenze del primo e del terzo tipo, a pari forma, potevano essere ritenute variabili con la densità dell'acqua, con l'area della sezione trasversale del corpo in movimento e con il quadrato delle velocità; ma che non altrettanto poteva dirsi delle resistenze del secondo tipo, quelle d'attrito. Sulle resistenze, poi, del terzo tipo, riferendosi a leggi dell'Idrodinamica sulla velocità di propagazione delle onde di superficie, osservò che onde simili tra loro si propa-

gano con velocità proporzionali alle loro dimensioni, e ritenne, di conseguenza, che, nel confronto tra due navi in movimento, le onde prodotte potevano ritenersi simili quando le navi procedessero a velocità proporzionali alla radice quadrata delle loro dimensioni lineari. Concludeva che, in tal caso, le forze resistenti sarebbero variate come il cubo delle dimensioni lineari. La sintesi delle sue deduzioni sulla dipendenza del primo e del terzo tipo di resistenze è ben espressa dalla seguente formula presente nella *Hydrodynamics* del Lamb[4] e qui trascritta con qualche cambiamento dei simboli:

$$(3) \qquad R = \rho \ell^2 c^2 f\left(\frac{g\ell}{c^2}\right)$$

Nella (3) R è la resistenza totale con esclusione di quella d'attrito;

ρ la densità dell'acqua;

ℓ una dimensione lineare che, per un'assegnata forma, caratterizzi il natante;

c una generica velocità;

f una funzione del raggruppamento adimensionale $\left(g\ell/c^2\right)$ il cui inverso, in alternativa alla radice di questo, verrà poi chiamato *Numero di Froude*.

Rimaneva il problema delle resistenze tangenziali sullo scafo.

Ma Froude, all'atto pratico, riuscì a superare questa difficoltà. Egli, infatti, escogitò un procedimento che, con l'applicazione di alcune proprietà del così detto "strato limite", concetto definito e studiato solo diversi decenni più tardi, consentì a lui, e consente ancor oggi, di dedurre da piccoli modelli di navi le resistenze totali sulla nave in vera grandezza, ivi comprese quelle dell'attrito sulla carena. Si avvalse, infatti, della proprietà che gli sforzi tangenziali dall'acqua sulla carena si riducono più o meno sensibilmente dal bordo d'attacco verso valle. In verità, la proprietà era già menzionata nel già citato testo di Bourne. Ma Froude la sfruttò in modo originale per determinare per via sperimentale e con sufficiente approssimazione la risultante degli sforzi tangenziali, utilizzando pareti più brevi di quelle vere. Nel procedimento da lui escogitato l'applicazione combinata di questa proprietà, utilizzata nella sperimentazione sugli attriti su lastre piane insieme con quella delle regole della similitudine, consente, così, di giungere alla determinazione dello sforzo resistente totale, somma degli sforzi di pressione e di quelli tangenziali.

Quando Froude nel 1868 dette conto pubblicamente dei suoi studi, egli aveva già da anni effettuato numerose prove in vasca. Le condurrà in modo più sistematico dal 1872, quando riuscì a ottenere dall'Ammiragliato inglese l'approvazione per la realizzazione di una vasca lunga 75 metri. Tra l'altro, si impegnò a confrontare tra loro i risultati di prove fatte su modelli di scala diversa e anche a confrontare i risultati tratti da modello con quelli ottenuti da prove su navi in vera grandezza.

Da quanto detto, risulta chiaro che le regole della *Similitudine di Froude* furono istituite con l'intento di prevedere le resistenze al moto di una nave:

rientra, quindi, nel campo dell'Architettura Navale. A questa applicazione si riferirono sia Reech, sia Froude, anche se il primo mise in evidenza che la similitudine aveva validità d'ordine più generale. Solo successivamente la similitudine sarà impiegata per scopi diversi: in particolare, e molto frequentemente, nel campo dell'Ingegneria Civile, per lo studio di moti idrici in corrispondenza di strutture fisse.

Nell'Architettura Navale la similitudine, con il procedimento ausiliario introdotto dallo stesso Froude, è stata ampiamente usata e lo è tuttora. Già nel 1929 esistevano al mondo dodici vasche navali, tra cui quella di Roma che, terminata quello stesso anno, fu la più grande allora esistente. In Italia la prima vasca era stata realizzata a La Spezia nel 1889 e fu la prima fuori della Gran Bretagna. Oggi l'Università di Napoli Federico II dispone di una vasca, che, lunga circa 135 metri, è la più grande dopo quella di Roma.

Il primo riferimento ad applicazioni diverse, in particolare all'efflusso da luci, lo si ritrova in uno scritto di J. Thomson, del 1876, di poco successivo alla pubblicazione degli studi di Froude: è citato in un lungo articolo del 1917, scritto da Francesco Marzolo, professore a Padova, e dedicato ai fondamenti teorici e all'uso dei modelli in Idraulica[5].

Numerose sono le successive applicazioni della *Similitudine di Froude*. Con essa si sono realizzati una gran parte dei modelli nel campo dell'Ingegneria Civile. Riguardavano, e riguardano, opere nelle quali le brevi lunghezze in cui si svolge il moto e la regolarità di questo consentono di ammettere facilmente la poca rilevanza degli sforzi tangenziali e tollerare, così, il mancato conseguimento della loro similitudine. Ma i modelli hanno riguardato anche quei moti a superficie libera nei quali la intensità dei mescolamenti consente di ritenere preponderanti gli scambi delle quantità di moto rispetto agli sforzi viscosi o, ancora, moti di lungo percorso, nei quali il regime sia quello di pareti scabre in natura e in modello.

Le prime sperimentazioni furono notevolmente agevolate dalla creazione, nei primi decenni del novecento, di appositi Laboratori d'Idraulica, strutture di grandi dimensioni e ben dotate di attrezzature, che svolsero un ruolo notevole anche nella ricerca idraulica d'ordine generale. Tra i primi vengono citati spesso quelli realizzati nelle città di Dresda e Karlsruhe. Dei laboratori esistenti nel 1929 si trova ampia documentazione in un ponderoso testo, pubblicato in quell'anno a cura dell'*American Society of Mechanical Engineering* (ASME) e redatto su iniziativa di uno studioso americano, J.R.Freeman[6].

In Italia i primi Laboratori d'Idraulica attrezzati per prove su modello sorsero a Padova, a Pisa e a Milano, presso le sedi universitarie, rispettivamente nel 1910, nel 1924 e nel 1927. A Napoli la sperimentazione su modello ebbe inizio nel 1936 nell'Istituto di Costruzioni Idrauliche dell'Università.

Inizialmente la sperimentazione su modello dovette superare obiezioni, ri-

serve, diffidenze, perplessità. Se ne trovano tracce in più d'uno scritto, tra l'altro, in uno del 1927 di Theodor Rehbock. Poi le difficoltà poterono essere superate per la quasi totalità dei problemi. Oggi i modelli alla Froude sono ampiamente usati; spesso sono resi obbligatori dall'autorità pubblica.

2.2 *Modelli nella Similitudine di Reynolds*

La similitudine prende il nome da Osborne Reynolds (1842-1912), professore a Manchester. Questi nel 1883, nel predisporre i suoi famosi esperimenti sul moto uniforme in condotti lisci di sezione circolare, dedusse per via teorica la proprietà che le caratteristiche del moto dipendono solo dal valore del ben noto parametro adimensionale a lui poi intitolato:

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \quad , \tag{3}$$

in cui V è la velocità della corrente, D è il diametro del condotto e ν è la viscosità cinematica, rapporto tra la viscosità μ e la densità ρ.

Nelle sue deduzioni, Reynolds si avvalse di considerazioni proprie dell'analisi dimensionale. Nel paragrafo intitolato *Evidence of dimensional proprieties in the equation of motion* egli scriveva che le equazioni del moto mostrano con tutta chiarezza la dipendenza del carattere del moto da una relazione tra le proprietà dimensionali e le caratteristiche esterne. E proseguiva ipotizzando che tali caratteristiche siano la velocità media e il diametro del tubo, oltre alla densità e alla viscosità del fluido, da lui non menzionate esplicitamente, ma intro-dotte nelle semplici susseguenti elaborazioni.

I risultati delle prove confermarono pienamente la previsione, sia riguardo alla presenza dell'una o dell'altra condizione di regime di moto, la regolare e la turbolenta, sia riguardo alle leggi di resistenza.

In verità, ben trenta anni prima, nel 1850, George G. Stokes (1819-1903) aveva dedotto ed enunciato una regola del tutto equivalente. La coincidenza verrà rilevata un secolo dopo, nel 1951, da H.L. Langahar. Ma già a qualche anno dalla pubblicazione delle conclusioni di Reynolds essa era stata chiaramente messa in evidenza da due illustri studiosi: Lord Reyleigh e lo stesso Stokes. In allocuzioni rese rispettivamente nel 1884 e nel 1888 essi, nell'apprezzare il contributo di Reynolds, rilevarono che questi, con le sue deduzioni e i suoi esperimenti del 1884, aveva mostrato che la similitudine instaurata da Stokes trenta anni prima, nel 1850, era valida, non solo nel regime regolare ma, almeno per quanto riguarda i valori medi del moto, anche in presenza di agitazione turbolenta.

La trattazione di Stokes del 1850 era contenuta in uno studio sul moto del pendolo in fluido viscoso. Considerate le equazioni differenziali del moto, quelle oggi chiamate *di Naver-Stokes*, egli rilevò che, se per due sistemi fluidi in movimento le coppie di termini corrispondenti stanno tra loro nello stesso rapporto, i due moti sono simili, sempre che la proprietà valga anche nelle

condizioni al contorno che rendono determinato il moto: ovvia-mente, ciò comporta l'esclusione della presenza di superficie libere, non definibili a priori. Nell'elaborazione *Stokes* raggruppò insieme i termini delle variazioni di pressione e quelli delle forze di massa, riuscendo così a svincolarsi dalla gravità terrestre, ma limitando la similitudine delle pressioni agli incrementi rispetto a condizioni idrostatiche.

Al riguardo, è da notare che il concetto fondamentale che presiede ai due procedimenti seguiti in quegli anni di metà ottocento, da Reech per la similitudine poi chiamata di Froude e da Stokes per la similitudine poi chiamata di Reynolds, è lo stesso. Entrambi imposero l'eguaglianza dei rapporti tra i termini corrispondenti dell'equazione che esprime il secondo principio della Dinamica, da cui discendono le equazioni differenziali da essi considerate. Ma il primo considerò le equazioni dei liquidi perfetti pesanti, tenendo ben conto, così, della gravità e non della viscosità; il secondo considerò le equazioni dei fluidi viscosi incomprimibili ma, con l'inserire la condizione di assenza di superficie libera e la richiamata limitazione sulla similitudine delle pressioni, riuscì a svincolare il risultato dalla presenza della gravità terrestre. *Reynolds*, invece, si avvalse dei metodi dell'analisi dimensionale, che portarono a una maggiore valenza delle sue conclusioni.

In Idraulica la *Similitudine di Reynolds* è stata raramente utilizzata per lo studio di opere specifiche, soprattutto per la difficoltà di gestire i modelli con le alte velocità che derivano dalla regola. Tra i rari casi di impiego della *Similitudine di Reynolds* per lo studio preventivo di una particolare opera idraulica si ricorda la determinazione sperimentale delle resistenze che una galleria avrebbe opposto alla corrente idrica[7]. Era una galleria d'adduzione d'un impianto idroelettrico, destinata a funzionare in pressione, lunga circa 6 chilometri, scavata in roccia, priva di rivestimento. Venne impiegata come modello la galleria stessa, facendovi defluire aria a grande velocità e misurando le perdite di carico in un tratto di poco meno di 800 metri.

Ma la *Similitudine di Reynolds*, al di là delle applicazioni per prove su modello di specifiche opere idrauliche, è stata di fondamentale importanza nel progresso delle conoscenze sul moto fluido. Essa ha consentito di impostare su base razionale gli studi sperimentali sul moto uniforme e, più in genere, sui moti in apparecchiature standard a contorno chiuso, come, per esempio, gli apparecchi di misura delle portate, per le quali sono state individuate regole entrate da decenni nella normativa industriale. E poi, l'esperienza ha mostrato che spesso, per alti valori di un *Numero di Reynolds*, non è più necessaria alla similitudine la conservazione del suo valore. In altre parole, la *Similitudine di Reynolds* ha consentito di stabilire su base razionale i limiti al di là dei quali non è più necessario tener conto, nella riprodu-zione in modello, della viscosità a causa del prevalere degli scambi di

quantità di moto. Si è potuto, così, operare con una certa tranquillità anche con modelli di moti turbolenti a superficie libera, per i quali la lunghezza dei percorsi avrebbe potuto portare a dubitare della possibilità di una corretta rappresentazione in modello per la persistenza di un significativo effetto della viscosità.

2.3 *Modelli nella Similitudine di Eulero*

La similitudine riguarda moti a contorno chiuso, nei quali si possano ritenere trascurabili, almeno in prima approssimazione, gli effetti della viscosità.

Il suo principale campo d'applicazione è stato quello della macchine idrauliche rotanti[8] . Pur indicata un tempo con nomi diversi, è stata impiegata fin dall'inizio del XX secolo, sia in installazioni di ricerca generale, sia in laboratori di case costruttrici. Il suo uso è stato di grande ausilio nel miglioramento delle prestazioni delle macchine. Nella trasposizione dei risultati dal modello alla macchina in vera grandezza si sono poi impiegate regole di carattere empirico, per tener conto, se necessario, del diverso effetto della viscosità nel modello e nella macchina in vera grandezza, e anche degli effetti degli attriti negli organi rotanti delle macchine.

3. *Modelli distorti*

3.1 *Modelli distorti a fondo mobile*

I primi modelli distorti furono modelli fluviali a fondo mobile. Riproducevano lunghi tratti di corsi d'acqua: la scala delle altezze era maggiore della scala delle distanze in orizzontale, mentre il fondo era costituito da materiale granulare sciolto, di solito sabbia.

Il primo di cui si ha notizia fu realizzato in *Francia* nel 1875 a cura di *Louis Jérome Fargue* (1827-1910). In esso venne riprodotto il tratto terminale del fiume *Garonna*, nella zona di *Bordeaux*, nelle scale *1/100* per le linee orizzontali e *1/20* per le verticali, con una distorsione, quindi, di *5* a *1*. Il canale sperimentale contenente il modello era largo un metro e lungo ben sessanta metri. Al modello si richiedevano informazioni utili a decidere se, ai fini di una migliore funzionalità del corso d'acqua, convenisse procedere a lavori di sistemazione dell'alveo o effettuare interventi sistematici di dragaggio.

Maggiori notizie si possono trarre dalle relazioni su prove su modello condotte circa dieci anni più tardi in Inghilterra.

Nel 1885 Osborne Reynolds realizzò a Manchester uno dopo l'altro e a breve distanza di tempo due modelli fluviali. Con essi Reynolds dette un fondamentale contributo alla definizione di alcune regole per i modelli distorti. Ne dette comunicazione nel 1887 in un articolo pubblicato sul British Association Report e riproposto a un congresso di navigazione di Francoforte dell'anno successivo. I modelli, realizzati a Manchester, riproducevano un tratto di estuario di circa *25* chilometri del fiume Mersey (Liverpool). Erano molto più piccoli di quello di Fargue: il secondo dei due, più grande del primo, era lungo solo *2* metri circa. Nel primo le scale erano di 1/31800 per le linee oriz-

zontali, e di 1/960 per le verticali, con una distorsione, dunque, notevolissima, pari a 33 a 1. Anche nel secondo, realizzato poco dopo, la distorsione fu notevolissima: di circa 27 a 1. In entrambi furono riprodotti i cicli di marea, di cui si conoscevano le caratteristiche in natura, per studiare il complesso moto che esse determinavano nell'estuario. Si trattava, dunque, di un particolare problema di moto vario: un moto fondamentalmente periodico, anche se, in alcune prove, fu fatta defluire una piccola portata a simulare l'apporto idrico del fiume. Nei modelli ci si riprometteva di studiare gli effetti che si sarebbero ottenuti da un canale da scavare al centro dell'estuario, per migliorarne l'efficienza.

Ora, dal confronto tra i dati sul moto idrico rilevati in natura e quelli rilevati in modello nelle corrispondenti condizioni, Reynolds osservò che una buona riproduzione degli uni negli altri si conseguiva solo assegnando al periodo di marea *T* del modello un valore ben determinato: nella fattispecie, *40 secondi*. Ma poi osservò che ciò si sarebbe potuto prevedere dalla teoria del moto ondoso, per la quale le scale delle velocità variano come la radice delle scale delle linee verticali. Si può scrivere, dunque:

$$(4) \qquad \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{1/2} .$$

Ne dedusse la scala dei tempi $\hat{o}=t_2/t_1$, come rapporto tra la scala delle lunghezze $ë=l_2/l_1$ e la scala delle velocità:

$$(5) \quad \tau = \frac{t_2}{t_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{\lambda}{(h_2/h_1)^{1/2}} \; ;$$

avendo anche qui indicato con i pedici *2* e *1* rispettivamente le quantità in modello e nell'opera in vera grandezza.
Sono le regole ancor oggi adottate per la maggior parte dei modelli fluviali distorti. Come è facile vedere, esse comportano la conservazione di un *Numero di Froude* espresso da:

$$(6) \qquad Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad ,$$

in cui *V* è una velocità media del moto a superficie libera e *h* la corrispondente altezza idrica.

In base alle regole così definite, Reynolds calcolò anche per il secondo modello il periodo di marea da adottare; e anche questa volta il moto idrico nel tratto di foce del modello mostrò grande somiglianza con quello rilevato in natura sul fiume Mersey.

Ma, con sua sorpresa, constatò anche che il fondo sabbioso tendeva ad assumere, nelle grandi linee, una configurazione somigliante a quella del fondo del fiume in natura. Ne fu così colpito che al congresso di Francoforte del 1888 volle esporre, per un confronto, le planimetrie del modello e del vero estuario.

Al termine della sua comunicazione, consapevole dell'importanza dei risultati complessivamente ottenuti e del metodo d'indagine su modello, giunse ad affermare che, dopo quel che aveva visto, riteneva pazzia omettere di uti-

lizzare tale mezzo di studio prima di accingersi a qualsiasi intrapresa di costo rilevante.

Lo studio su modello dell'estuario del Mersey fu proseguito dall'ingegnere inglese Levison Francis Vernon Harcourt. Questi realizzò subito dopo, nei suoi uffici di Westminster a Londra, un modello fluviale del tronco terminale della Senna. Anche questo modello era molto piccolo e con fortissima distorsione. Il materiale granulare del fondo, sabbia mista a torba, fu scelto dopo aver provato con materiali diversi. Anche qui il periodo di marea in modello fu prefissato con i criteri indicati da Reynolds, e anche in questo caso i risultati vennero ritenuti soddisfacenti. Per quanto riguarda in particolare la morfologia del fondo, va rilevato che Vernon Harcourt, pur constatando in modello una buona rassomiglianza con quanto rilevato in natura, volle mettere in guardia dal dare a questo risultato una interpretazione estensiva: dal modello non si potevano trarre informazioni sui cambiamenti del fondo sabbioso nel corso della sua evoluzione e sui tempi impiegati.

Almeno altri due modelli fluviali a fondo mobile verranno realizzati pochi anni dopo: uno in Francia, l'altro in Italia. Il primo, costruito su iniziativa del governo francese tra il 1890 e il 1895, riproduceva ancora l'estuario della Senna da Rouen al mare. L'altro riproduceva il tratto terminale del fiume Tevere per 12 chilometri e fu curato dall'ingegnere P. Orlando: in quest'ultimo modello la distorsione era di 5 a 1.

Anche per i modelli fluviali l'uso si diffuse ampiamente nel corso del XX secolo. Molti modelli furono realizzati nei laboratori, ma molti altri, specie in Inghilterra e nella relativa zona d'influenza, sorsero in terreni aperti, tra l'altro in vicinanza del corso d'acqua oggetto di studio. Una interessante, e a suo tempo aggiornata, rassegna dei modelli fluviali a fondo mobile è contenuta in un testo di J. Allen dedicato ai modelli e pubblicato nel 1947.

Anche per i modelli fluviali la diffusione fu ostacolata e rallentata da perplessità. Così, lo stesso J. Allen ricorda che nel 1932 uno degli ex presidenti della *Institution of Civil Engineers* dichiarò di non aver mai compreso i vantaggi di un modello a marea, né di seguire l'opinione che i risultati di siffatti modelli distorti potessero realmente servire come guida nelle condizioni naturali. In verità, per i modelli fluviali a fondo mobile le perplessità potevano essere motivate da considerazioni specifiche, estranee, invece, ai modelli in similitudine. Ancora Allen, nel ricordare alcune prove fatte nel 1936 su un modello del Fiume Tigri, faceva notare che, anche in quella occasione, non fu espresso nessun criterio per la scelta delle scale del materiale granulare di fondo. Un'autorevole precisazione sullo stato delle cose al riguardo era venuta nel 1931 da Enrico De Marchi, professore a Milano. Questi affermò che in questi modelli le indicazioni sperimentali presentavano un carattere essenzialmente qualitativo. Ma sopraggiunse che la mancanza di una precisa simi-

litudine non riduceva l'importanza di questa categoria di prove.

Nel 1954 un fondamentale contributo alla teoria del moto in alvei mobili e alla relativa rappresentazione in modello fu dato da Hans A. Einstein. Ma, ancora nel 1981, Walter H.Graf, dopo avere esposto la trattazione da questi fatta nella parte riguardante la rappresentazione in modello e dopo avere rilevato i problemi che questa poneva nell'applicazione, volle ricordare che lo stesso H.A. Einstein riteneva assolutamente necessario verificare preventivamente la validità di tali modelli riproducendo in essi flussi rilevati in natura.

Una esauriente puntualizzazione sulle possibilità di rappresentazione in modello a fondo mobile di corsi fluviali è contenuta in una pubblicazione di Enrico Marchi e Antonello Rubatta del 1982.

Nei tempi recenti modelli fluviali distorti a fondo mobile sono stati ampiamente impiegati in tutto il mondo.

3.2 *Altri modelli distorti*

Una trattazione di carattere generale sui modelli distorti fu esposta nel 1917 nel già citato articolo di Francesco Marzolo sui modelli nell'Idraulica. Vi si considerava la possibilità di attribuire tre scale diverse alle tre dimensioni lineari di un sistema spaziale.

In questa sede conviene distinguere i modelli fluviali a fondo fisso dai modelli di moti in pressione, perché diversi sono i criteri di definizione delle scale di riduzione.

Nei modelli fluviali si suole tener distinte una scala delle distanze orizzontali e una scala delle altezze: le relative regole sono ancora quelle indicate da Reynolds a fine ottocento per i modelli a fondo mobile. Per essi il conseguimento della corretta rappresen-tazione delle resistenze alle pareti viene ottenuto al meglio operando sulla scabrezza. Nei modelli dei moti in pressione, nei quali sono stati rappresentati quasi esclusivamente fenomeni d'oscillazione di massa, la distinzione tra le scale delle dimensioni lineari è più complessa. In questi modelli le regole sulle scale di riduzione delle diverse grandezze furono dedotte imponendo l'unicità dei rapporti dei termini corrispondenti nelle equazioni fondamentali del fenomeno d'oscillazione di massa, scritte per modello e opera reale. In essi, per il conseguimento delle corrette resistenze, si opera, sia mediante regolazione della scabrezza, sia mediante l'inserimento di resistenze localizzate.

Si è già detto che i primi modelli fluviali distorti furono anche a fondo mobile. Quelli a pareti fisse sono stati ampiamente utilizzati successivamente. Su quelli realizzati a cavallo tra XIX e XX secolo e poi nei primissimi decenni del XX si trovano ampi riferimenti nel citato testo del Freeman.

Anche i modelli distorti per lo studio di problemi di moto vario in pressione non influenzati dalla comprimibilità sono stati ampiamente utilizzati per buona parte del XX secolo, soprattutto nel campo degli impianti idroelettrici, ma non solo. Da alcuni decenni questi modelli fisici sono stati sostituiti dai *modelli matematici*.

Modelli distorti, a superficie libera o in pressione, sono stati ampiamente realizzati anche in Italia nei principali laboratori, tra cui quello di Napoli.

4. *Modelli a fondo mobile*

Dei modelli rappresentanti lunghi tratti fluviali si è già detto nel paragrafo dei modelli distorti.

Ma modelli a fondo mobile sono stati proficuamente impiegati, e lo sono tuttora, anche per lo studio dei fondali marittimi in vicinanza dei litorali e nei porti

Peraltro molti modelli a fondo mobile, distorti o no, sono stati realizzati per lo studio di fenomeni locali di alterazione del fondo di corsi d'acqua in prossimità di opere in essi inserite o da inserire: molti lo sono stati fin dai primi decenni del XX secolo. Per essi si è fatto affidamento sul confronto tra i risultati ottenuti con soluzioni progettuali diverse. Uno dei problemi più frequentemente affrontati è stato quello delle escavazioni a valle di traverse in fiume o degli effetti distruttivi della restituzione in alveo di portate idriche d'alto contenuto energetico.

Infine, si è anche mostrata la possibilità di realizzare, in qualche caso, modelli di lunghi tratti fluviali senza ricorrere alla distorsione, sempre che il regime di moto sia turbolento di pareti scabre, non solo in natura, ma anche in modello e sempre che si riesca a contemperare l'esigenza di ridurre l'ingombro planimetrico con la necessità di conseguire in modello valori sufficientemente elevati di altezze e velocità.

5. *Modelli analogici*

Le prime analogie riguardanti l'Idraulica di cui si abbia notizia furono istituite nella seconda metà dell'Ottocento. In particolare, viene spesso ricordata quella esistente tra lo stato di tensione di un corpo sottoposto a torsione e il campo irrotazionale di velocità di un liquido perfetto in un recipiente chiuso della stessa forma. Successivamente, altre ne furono rilevate: tra queste, le analogie tra moti idrici e fenomeni elettrici. Una rassegna completa di tali analogie è contenuta in un lungo articolo di Giulio Supino, professore a Bologna, pubblicato nel 1956 dall'Accademia dei Lincei. Una delle analogie più impiegate per i modelli è quella rilevata da Stokes nel 1898 tra il moto regolare tra due lastre piane molto vicine tra loro e il moto di fluidi perfetti che partano dalla quiete: si tratta di moti retti da un potenziale di velocità. Essa si mostrò subito di facile impiego: infatti fu applicata in via sperimentale lo stesso anno 1898 da Hele Shaw. Ma solo tra gli anni trenta e quaranta del XX secolo si colse la possibilità di utilizzarla per lo studio di moti in mezzi permeabili, nei quali la cosiddetta velocità di filtrazione è anch'essa dotata, in moltissimi casi, di un potenziale di velocità.

Oggi, in luogo dei modelli alla *Hele Shaw*, vengono ampiamente impiegati modelli matematici.

6. *Considerazioni finali*

L'attività di studio su modello è stata resa possibile dal contribuito di eminenti studiosi che ne hanno istituito le

basi teoriche e definito i metodi operativi. Per più d'un secolo i modelli sono stati uno strumento di fondamentale utilità per la realizzazione di opere idrauliche.

Oggi questa attività attraversa, almeno nel campo dell'Ingegneria Civile, una fase di significativa evoluzione. Allo sviluppo e alla diffusione dei modelli matematici si sono affiancati: un cambiamento nella natura delle richieste di studio; un allargamento di interessi espresso dal mondo tecnico con particolare propensione verso temi connessi con la protezione del territorio e dell'ambiente; e poi una maggiore disponibilità di moderni strumenti elettronici di misura elettronici e di elaborazione di dati; ma anche, per i modelli fisici, una maggiore incidenza dei costi.

I modelli matematici costituiscono oggi un potente strumento per la risoluzione di problemi difficilmente affrontabili a mezzo di modelli fisici: ne sono tipici esempi i problemi di colpo d'ariete in presenza di resistenze al moto in sistemi complessi di reti idriche e quelli d'inondazione causati da esondazione di corsi d'acqua. In altri casi i modelli matematici hanno sostituito del tutto i modelli fisici, come nello studio dei moti in mezzi permeabili. Tuttavia, per alcuni problemi, come per i moti a superficie libera su fondo mobile, siano essi fluviali o marittimi, sembra permanere la preferenza per i modelli fisici.

Contestualmente si rileva una tendenza a realizzare modelli fisici di grandi dimensioni, ad assegnare ad essi più funzioni, ad integrare tra loro, per una stessa opera, l'uso dei modelli fisici e di quelli matematici. Ne sono esempi il grande modello della Laguna di Venezia realizzato negli anni sessanta del novecento presso il laboratorio padovano di *Voltabarozzo* e il modello della baia di *Cheseapeake* in America. Il primo, con la sua superficie di 10.000 metri quadrati, è stato affiancato da altri modelli fisici e da modelli matematici per lo studio dei flussi di marea e per lo studio dei conseguenti effetti sul trasporto e la permanenza di sostanze in sospensione; il secondo, con la sua superficie di 30.400 metri quadrati, è stato destinato fin dal 1983, almeno nelle intenzioni dei proponenti, anche a problemi sull'ambiente in genere, come lo studio della flora marina. Ma esempi recenti si ritrovano in altri Paesi.

Attualmente ci si interroga sul futuro, soprattutto sul futuro dei modelli fisici; tanto che nel 2003 un convegno tenuto a Lione è stato interamente dedicato a questo tema.

Ma l'evoluzione è ancora in atto e solo gli eventi potranno dare sicure risposte al riguardo. Forse, oggi la sola cosa che si può affermare è che, quale che sia l'evoluzione futura, i modelli, quelli fisici e quelli matematici nel loro complesso, continueranno ad essere uno strumento indispensabile per la realizzazione di nuove opere idrauliche, svolgendo la duplice funzione di consentire di prevedere l'efficacia di queste per i fini per cui sono state concepite e di verificare gli effetti del loro inserimento nell'ambiente in cui esse sono destinate ad essere ubicate[9].

[1] Newton Is., *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Londini, Anno MDCLXXXVII.
[2] Bourne J., *A Treatise on the Screw Propeller, with Various Suggestions of Improvement*, London, 1855, pp. 142-155.
[3] Bourne, loc. cit., pp.146,147.
[4] Lamb. H., *Hydrodynamics*, N.Y., 1945, p. 438
[5] Marzolo F., *Alcune considerazioni intorno ai modelli idraulici*, «Giornale del Genio Civile», LV, Roma, 1917, p. 192.
[6] Freeman J.R., *Hydraulic Laboratory Practice*, ASME, N.Y., 1929.
[7] Bourguignon P., *Prédétermination de la perte de charge d'une canalisation d'eau a partir da celle mesurée sur la même canalisation parcourue par de l'air – Contrôle de la validité de la méthode sur la galerie d'amenée R.G. de l'usine hydroélectrique de Pont-Escoffier*, «Thirth Meeting IAHSR», Grenoble, 1949.
[8] Medici M., *Direttive per le ricerche sperimentali su modelli di turbine e pompe idrauliche*, «L'En.El.», XVII, 1940, pp.185 e segg. - Adami A., *I modelli fisici nell'Idraulica*, CLEUP, Padova, 1994.
[9] Per una più ricca serie di richiami bibliografici sull'argomento si rinvia a: Montuori C., *Una storia dei modelli nell'Ingegneria Idraulica,* «Acc. Pontaniana, Quaderno n. 43», Napoli, 2005.

Lelio Della Pietra

La Meccanica Applicata alle Macchine, a Napoli

Introduzione

Il nuovo ordinamento degli studi universitari, in vigore dal 2001, ha portato un mutamento negli insegnamenti, che non si è ancora compiuto e che, soprattutto nel caso di quelli di più lunga tradizione, è molto più profondo di quanto dovuto alla riduzione delle ore disponibili e gli aspetti di una certa creatività, che certamente esistevano nella nostra Università, sono, credo, inevitabilmente tramontati. Tale consapevolezza, mi ha spinto ad indagare sull'evoluzione dell'insegnamento nel quale ho speso la mia attività per quasi quaranta anni e nel quale, se mi va bene, rimarrò altri pochi anni.

L'iniziale intento era quello di considerare lo sviluppo della Meccanica applicata alle Macchine (M.A.M.) sia a Napoli che nelle principali sedi italiane, con qualche confronto anche con quelle straniere. L'ambizioso obiettivo si è dovuto scontrare, oltre che con la vastità della documentazione, con l'inesperienza nel nuovo mestiere di "storico" (modo di affrontare lo studio e ricerca delle fonti, in primis) e con la difficoltà di accedere ad informazioni sul passato, anche recente, sia "*in casa*" che *a distanza,* per interposta persona. L'inevitabile ridimensionamento mi ha portato a limitarmi a quanto accaduto a Napoli, con un cenno a qualche altra sede.

Il nome

Nel 1828 Jean Victor Poncelet (1788-1867), professore di Meccanica a Metz dal 1825 al 1835, pubblica la 2a edizione del *Cours de mécanique appliquée aux machines, professé en 1825 et 1826 à l'école royale de l'Artillerie e du Génie.* Poncelet fu il primo a proporre l'uso della matematica nella progettazione delle macchine (1). Nel 1855 Carlo d'Andrea (2), dal 1840 professore di Meccanica Applicata alle Costruzioni nella Scuola di Ponti e Strade di Napoli (3), pubblica il testo, in due parti: *Elementi di meccanica applicata alle costruzioni ed alle macchine* (4).

Col R.D. del 17 ott. 1860, al primo dei due anni del ciclo di studi nella Scuola di applicazione per gli Ingegneri in Torino, viene introdotto l'insegnamento della Meccanica applicata alle Macchine (insieme all'Idraulica pratica) (5).

Tale insegnamento, fin dalla sua introduzione, circa centoquarant'anni fa, a Napoli è stato denominato *Meccanica applicata alle Macchine*; in alcune altre Facoltà, negli anni '60 e '70 del '900, esso aveva la denominazione di *Meccanica delle Macchine.* Alle due denominazioni si possono far corrispondere modi di vedere e, eventualmente, anche contenuti differenti: la prima fa pensare che si vuole mettere l'accento sul problema meccanico, sia dal punto

di vista della Meccanica Razionale che della Fisica, e le macchine sono prese in considerazione solo come degli esempi, ovvero come una delle possibilità di applicazione; la seconda appare invece voler considerare come oggetto principale dello studio le macchine in quanto tali, e quindi esaminare i problemi che si presentano nel loro funzionamento con gli strumenti che forniscono la Fisica e la Meccanica Razionale. Queste diversità erano ben presenti a Franz Reuleaux (1829-1905), il quale, forse per primo, sostenne che la macchina stessa deve essere l'oggetto e lo scopo della teoria delle macchine che, quindi, non deve considerare le macchine in modo incidentale, come semplici esempi o casi particolari dei principi di meccanica applicata (6)

Dal 1960 al 2003

Premessa

Mi iscrissi alla Facoltà di Ingegneria di Napoli nel 1958-59. Nell'anno 1960-61, nel quale entrava in vigore un nuovo ordinamento degli studi, seguii il corso di Meccanica Applicata alle Macchine tenuto dal Prof. Mario Taddei; esso prevedeva una parte teorica, i cui argomenti erano quelli contenuti nel testo del Prof. P. Ferretti (*Meccanica delle Macchine–Vol.I* -Liguori 1960), nonché una parte esercitativa, che comportava la elaborazione di calcoli per semplici progetti, essenzialmente di organi di macchine, con esecuzione dei relativi disegni. Nel febbraio del 1967 fui chiamato come assistente incaricato alla M.A.M. Oggi, uno dei corsi della laurea triennale ne conserva ancora il nome ma, in effetti, il vecchio insegnamento è terminato con il 2002/3. Rispetto al corso del 1960-61, c'è un prima ed un dopo; inizierò col dopo, più semplice da considerare, per l'esperienza diretta fattane.

Il corso

Nel 1960-61, con l'applicazione della legge 31 gen. 1960 n. 53, l'Ingegneria Industriale, che prima comprendeva le sezioni: *meccanica, elettrotec-nica e chimica*, viene suddivisa in tre Corsi di Laurea distinti, aventi gli stessi nomi delle primitive sezioni; si aggiungono inoltre le nuove lauree in Ingegneria Nucleare ed Ingegneria Elettronica (7).

Con il nuovo ordinamento, la M.A.M., che prima del '60 era obbligatoria per tutti, nell'Ingegneria Civile viene sostituita dall'insegnamento di *Meccanica applicata alle Macchine e Macchine*, introdotto anche per l'Ingegneria Elettronica.

A Napoli, dal vecchio corso, hanno origine: *Misure e Norme di Collaudo*, *Teoria e Tecnica delle Vibrazioni*, *Servo-meccanismi e Automazione*, nei quali vengono trasferiti alcuni dei contenuti della Meccanica applicata ante 1960, che diventa pertanto più semplice per gli studenti.

Prima di esaminarne l'evoluzione è da osservare che l'insegnamento si è presentato nel passato, e si presenta ancora oggi, come insieme di: *argomenti teorici di carattere generale; descrizione e studio di fenomeni che si possono*

presentare nelle macchine e problemi di funzionamento ad essi connessi; descrizione e caratteristiche di organi di macchine; descrizione e funzionamento di dispositivi e meccanismi utilizzabili nelle macchine. Il loro legame ideale è la macchina. Con la loro conoscenza un ingegnere (il vecchio laureato) dovrebbe essere in grado di: determinare le forze che si generano in conseguenza del movimento dei diversi organi; prevedere in fase di progettazione quali problemi di funzionamento potrebbero insorgere e come provvedervi; utilizzare organi o meccanismi dei tipi esistenti (o inventarne di nuovi) per risolvere particolari problemi di moto; diagnosticare, per macchine esistenti, le principali cause di anomalie. Ritorniamo però al 1960.

Il Prof. Mario Bruno Taddei (Roma 13.7. 1920 - Napoli 3.11.1981), assistente incaricato dal novembre del 1943, fu dall'1. 2. 1951 prof. straordinario di M.A.M., a Cagliari. A Napoli, dal 1953-54, svolse l'insegnamento della M.A.M. nelle Sezioni industriale e navale, prima come incaricato, poi come ordinario (dall'1.2.1956). Con l'andata fuori ruolo del Prof. Ferretti (1.11.1958), insegnò anche nella sez. civile, e dal 1960-61 al '66-67 ebbe l'incarico del nuovo corso di *Misure e Norme di Collaudo* (8). Dopo la morte del Prof. Ferretti (12.2.1960) assunse la direzione dell' Istituto Nazionale dei Motori del CNR (ora Istituto Motori), fino al 1968 (9) .

Il Prof. Taddei, fino al 1980, non aveva pubblicato un proprio testo di Meccanica Applicata alle Macchine, salvo le *Misure Meccaniche*(10) in collaborazione col Prof. Ferretti (1a ed. 1950), che costituivano la parte II (ampliata) della *Meccanica delle Macchine* del 1932, del solo Ferretti.

Dal 1960-61 il testo ufficiale del corso fu l'edizione Liguori 1960 (e ristampe) del libro del Ferretti Parte I (11). Considerando il libro nel suo insieme, breve rispetto ad altri testi (12), si può dire che i vari argomenti, sia che affrontino aspetti di cinematica che di dinamica, sono trattati avendo sempre come riferimento la macchina. Gli argomenti di cinematica, dispersi in più capitoli, occupano complessivamente meno di un quinto del libro; quelli di dinamica meno dei quattro quinti; il rimanente riguarda i cuscinetti a ralle mobili. I pochi richiami di cinematica teorica forniscono cenni sulla determinazione di profili coniugati piani; le applicazioni riguardano fondamentalmente la descrizione e la giustificazione del comportamento delle ruote di frizione, delle ruote dentate, dei rotismi, con alcune indicazioni per il loro progetto cinematico. Altro studio cinematico riguarda il manovellismo di spinta; esso non è però considerato a sé stante ma è all'interno della trattazione delle macchine alternative, con attenzione non solo alla cinematica, ma anche e più alla dinamica.

La dinamica di base è rappresentata da alcuni principi per la scrittura delle equazioni del moto; si accenna al rendimento organico; sono trattate alcune delle resistenze passive, tra le quali quella all'avvolgimento degli organi flessibili, attualmente raramente considera-

to. Tra i fenomeni dinamici che si possono presentare nelle macchine sono trattati: i fenomeni giroscopici, le velocità critiche flessionali, le oscillazioni torsionali, alcuni metodi di bilanciamento dei rotori rigidi. Le trasmissioni meccaniche, che già dai primi dell'800 erano presenti in testi di meccanica delle macchine, occupano, ruote comprese, un quarto del volume.

Lo studio del funzionamento a regime periodico di un gruppo e del volano, costituisce anch' esso una costante dei testi di M.A.M. Per la regolazione, dopo un cenno alla caratteristica meccanica, viene studiato il regolatore centrifugo, in funzionamento a regime. Ampio spazio è dato allo studio dinamico, oltre che a quello cinematico, del manovellismo di spinta nei motori mono- e pluricilindrici comprendente anche i problemi della riduzione dell'irregolarità del momento motore risultante e del bilanciamento delle forze d'inerzia. Dopo un capitolo piuttosto breve sui freni e sulla frenatura, viene trattato, in modo relativamente ampio, il problema della lubrificazione sia di superfici piane che cilindriche; per queste ultime, la parte di teoria della lubrificazione perfetta si ferma al modello di Sommerfeld. Infine è presente qualche semplice calcolo a resistenza di organi di macchine.

Fino al 1974-75 incluso, l'insegnamento rimase unico per l'Ingegneria industriale; dall'anno successivo, il corso del Prof. Taddei venne rivolto ai soli allievi meccanici, per i quali la Meccanica Applicata alle Macchine rimaneva corso fondamentale, non solo perché stabilito nel curriculum, ma perché sentito tale; diversamente da quanto percepito da docenti ed allievi degli altri Corsi di laurea, per i quali pure costituiva ufficialmente materia obbligatoria. È sulla base di questa osservazione che le considerazioni ed i confronti che seguono si intenderanno riferiti alla Meccanica applicata per i meccanici. Nel periodo che va dal mio ingresso all' Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine e fino al 1981-82 (il 3 novembre del 1981 moriva il Prof. Taddei, prematuramente), gli argomenti delle lezioni rimasero inalterati, così come il testo di riferimento. In tutto questo periodo cambiarono invero, un poco alla volta, le sole esercitazioni: nei primi anni '70 venivano eliminate le tavole sugli organi di macchine e si introducevano nuovi esercizi, grafici sulla cinematica, e numerici sulla dinamica. Ne è testimonianza una raccolta di esercizi (a cura dell'Istituto di M.A.M.) edita dalla CUEN nel 1980. Quindi, per i venti anni dal '60 all'81, la M.A.M. insegnata a Napoli non ha subito modifiche, se non nella parte esercitativa. A questo proposito è importante precisare che non ho preso in considerazione l'ampio testo di Meccanica Applicata alle Macchine, in tre volumi, del Prof. Taddei, uscito agli inizi del 1981, in quanto non destinato agli studenti di Napoli, salvo che per i soli argomenti tradizionalmente impartiti (13).

I primi cambiamenti nel programma si sono avuti dopo la morte del Prof. Taddei, con l'affidamento del corso, nel 1981, al Prof. A. Raffaele Guido, già

ordinario di Teoria e Tecnica delle Vibrazioni (14). Solo dopo diversi anni, con un corso abbastanza assestato, le modifiche via via apportate trovarono la loro espressione nel testo: A.R.Guido – L. Della Pietra*: Lezioni di Meccanica delle Macchine* (15).

Salvo i giroscopi e la lubrificazione (quest'ultima perché trattata nel corso di Tribologia e Lubrificazione, poi Tribologia), tutti gli argomenti contenuti nei due volumi sono sempre stati svolti nelle lezioni ed hanno fatto parte del programma di esame. Alle lezioni ed alle esercitazioni in aula ne furono poi affiancate altre, dimostrative, in laboratorio. Dal 1996-97, con l' andata fuori ruolo del Prof. Guido, il corso per gli allievi meccanici venne a me affidato. Salvo modifiche di dettaglio o precisazioni (riportate in dispense) la scelta degli argomenti e la loro trattazione sono rimaste invariate fino al 2002-3, ultimo anno di vita del vecchio insegnamento. In definitiva, ancora per un periodo di circa vent'anni, la Meccanica Applicata è stata insegnata con stessi argomenti e stessa impostazione.

In che cosa sono analoghi e in cosa si differenziano i corsi relativi a questi due periodi di tempo ventennali?

Avendovi preso parte in prima persona, potrei testimoniare su diverse cose. Preferisco però attenermi a quanto è riscontrabile oggettivamente e quindi confrontare i programmi come deducibili dai testi di riferimento, nonostante gli impliciti limiti di questo modo di procedere, anche in considerazione del fatto che per il confronto con le realtà delle altre Università italiane non è possibile basarsi che sui testi. Cominciamo dal titolo del libro; il nome di: *Meccanica delle*, invece di *Meccanica Applicata alle* Macchine, fu scelta involontaria; poi però, nell'edizione riveduta e corretta il titolo non fu cambiato perché rispondeva meglio al contenuto.

A questo riguardo, si osserva subito che ciò che accomuna l'insegnamento dei primi e dei secondi venti anni, è la scarsa trattazione di argomenti di cinematica teorica e di meccanismi. Ma questa lacuna non è solo della "scuola napoletana" del '900; nel suo articolo "*Franz Reuleaux: Contribution to 19th C. Kinematics and Theory of Machines*", F.C. Moon scrive: "*Machine mechanisms are largely hidden in modern technology and virtually absent from general mechanical engineering educa-tion, especially in North America"* (14,b).

Confrontando i titoli dei capitoli o dei paragrafi dei due testi, i programmi appaiono simili (volendo citare qualche differenza evidente, si nota che nel testo Guido-Della Pietra, ad esempio, manca del tutto la trattazione dei freni, come mancano calcoli a resistenza di organi di macchine). Questo, dal punto di vista della scelta degli argomenti, è fondamentalmente vero. Le differenze sono però da ricercarsi non tanto nei titoli ma, o nella diversa estensione degli argomenti all' interno del programma, o nella loro trattazione più moderna o più semplice, oppure in relazione a nuovi metodi matematici utilizzati, oppure infine in relazione a interpretazioni

"nuove" di uno stesso fenomeno. Ad esempio, nel testo Guido-Della Pietra, per quanto riguarda la dinamica di base sono riportati esempi che si riferiscono ad alcuni interessanti problemi, quale il fenomeno del distacco nel cinematismo di comando valvola dei motori a c.i. (con le indispensabili semplificazioni connesse alle conoscenze degli allievi). Viene utilizzata l'algebra matriciale (già adoperata da molto tempo in altri insegnamenti della Facoltà) nello studio della dinamica dei sistemi rigidi o in quello delle vibrazioni meccaniche di sistemi discreti a più gradi di libertà, per i quali si introducono i concetti di *matrice delle* "*masse*" e di quella dei *coefficienti di rigidità*; viene dato ampio spazio alla trattazione delle vibrazioni libere e forzate di sistemi ad uno e due gradi di libertà, trattazione praticamente inesistente nel vecchio corso; o ancora, si studiano le velocità critiche flessionali interpretandole come vero e proprio fenomeno di risonanza (secondo il modello di Jeffcott del 1919). Si espongono metodi di bilanciamento dei rotori rigidi mediante moderne bilanciatrici, descritte nel loro funzionamento. Si studiano le velocità critiche torsionali, limitandosi al caso più semplice di un sistema a due gradi di libertà, di molto più facile comprensione. Per l'isolamento delle vibrazioni, si indica l'aspetto tecnico della risoluzione del problema, anche se limitatamente ad un sistema ad un solo grado di libertà. Rimane l'ampio spazio dedicato allo studio cinematico e dinamico dei motori alternativi (nel libro Guido-Della Pietra vi sono circa 120 pagine del 2° volume). Una trattazione così estesa, in relazione agli altri argomenti, non si riscontra in nessuno dei testi universitari italiani. Essa è peculiare della "scuola napoletana" e continua l'impostazione data dal Prof. Ferretti alla Meccanica Applicata alle Macchine. Questa scelta spiega anche gli stretti legami (fino alla fine degli anni '60) fra l'Istituto di Meccanica Applicata alle Macchine e l'*Istituto Nazionale dei Motori*, la cui istituzione nel 1937 fu dovuta al Prof. Ferretti, che ne fu direttore dall'inizio fino al 1960; l'Istituto, inaugurato il 10/4/1940, aveva il compito statutario di compiere studi e ricerche di carattere scientifico e tecnologico nel campo dei motori terrestri, navali ed aeronautici.

La Meccanica Applicata alle Macchine dal 1960 al 2003 in altre sedi

Nel periodo considerato, nel settore disciplinare della Meccanica Applicata alle Macchine, non c'è stata mai, a livello nazionale, una ricerca seria di discussione e confronto sui programmi svolti nelle diverse sedi, ma solo qualche sporadico tentativo senza pratiche conseguenze. Ogni sede ha interpretato autonomamente l'insegnamento, in relazione sia alla scelta degli argomenti da trattare che allo spazio da riservare a ciascuno; per questo motivo si riscontrano anche grandi differenze fra i programmi svolti. Un esame puntuale potrà effettuarsi soltanto disponendo dei documenti ufficiali delle varie sedi di Ingegneria; quello di cui riferirò si basa solo su alcuni libri di testo, limitatamen-

te alle sedi di Milano e Torino.

MILANO

Nella Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Milano, fino al 1962 la Meccanica Applicata alle Macchine fu insegnata dal Prof. Ottorino Sesini (9.1.1892 - 10.11. 1983). Successivamente, nel 1964, a ricoprire la cattedra, venne chiamato il Prof. Emilio Massa (Milano 17.8.1926 -18.11. 1998). Alcuni anni dopo, il corso per gli allievi meccanici fu sdoppiato ed il Prof. Massa fu affiancato da altri docenti (16).

Negli anni '60 il testo di riferimento della M.A.M. è da presumere sia stato quello del Sesini, tenendo conto che ancora nel 1964 veniva pubblicata una nuova edizione. Nel catalogo elettronico della Biblioteca Generale del Politecnico non risultano libri di Meccanica applicata alle Macchine a nome del Prof. Massa (o degli altri docenti che si sono succeduti nell' insegnamento), salvo dei suoi appunti ed alcune integrazioni a stampa dei Proff. Massa e Pizzigoni. Questo fatto induce a pensare che il libro del Prof. Sesini, fino al 2000, abbia costituito ancora il testo base della M.A.M. (per i meccanici) (17). Secondo queste considerazioni, almeno fino alla fine degli anni '70 o agli inizi degli anni '80, può avere significato riferirsi al testo del Prof. Sesini (*Meccanica applicata alle Macchine* 1953 ÷ 64; Editrice Ambrosiana, Milano), per il confronto dei programmi di Napoli e di Milano. Detto testo è in quattro volumi: Parte I - *Cinematica*; Parte II - *Nozioni fondamentali sulla dinamica delle macchine*; Parte III- *Le coppie elementari nelle macchine;* Parte IV e V -*Eccentrici, Ruote, Organi flessibili; Elementi di teoria delle vibrazioni; Velocità critiche flessionali.*

Confrontando i testi del Sesini e del Ferretti, si osserva, come differenze evidenti, che nel primo alla cinematica è dedicato un intero volume, ma manca lo studio del motore alternativo; nel secondo è quasi del tutto assente la cinematica teorica. Entrando più nello specifico, quasi metà del libro del Sesini sulla cinematica è dedicato allo studio di carattere generale delle coppie rigide piane, l'altra parte a quello dei sistemi articolati piani più diffusi, quali il quadrilatero, il manovellismo di spinta e a glifo rotante. Per altri argomenti, in alcuni casi, nel testo del Sesini c'è una trattazione più aggiornata rispetto a quella del Ferretti (18); sono inoltre presenti i fondamenti delle vibrazioni meccaniche che mancano, nel Ferretti; per contro è assente lo studio delle velocità critiche torsionali.

Per gli ultimi venti anni del secolo XX, non avendo disponibili gli appunti del Prof. Massa non è possibile dire quando e quanto egli abbia modificato il corso rispetto a quello svolto dal Prof. Sesini; verosimilmente le modifiche sono state attuate gradualmente nel tempo. Alcune informazioni sono ricavabili dagli: *Appunti integrativi del Corso di Meccanica Applicata alle Macchine*, parte I, redatti a cura dei Proff. E. Massa e B. Pizzigoni (Ed. Spiegel, Milano, 1996, p.56). Dal programma dettagliato dell'intero corso, riportato nel libro detto, risulta ad esempio evidente la ri-

duzione notevole dello spazio dedicato alla cinematica, che, tra l' altro, non si presenta più come un insieme a parte, ma è inserita nello studio di specifici meccanismi, dei quali si considerano anche aspetti di dinamica. Per quanto riguarda gli argomenti esposti in detti appunti, la parte più estesa riguarda le vibrazioni dei sistemi a più gradi di libertà, trattate utilizzando l'algebra matriciale.

TORINO

A Torino, il Prof. Carlo Ferrari (1903-1996) fu titolare della M.A.M dal 1948 fino al 1973. Del prof. Ferrari, il primo testo di M.A.M (19) è: *Meccanica applicata alle macchine : lezioni tenute al Politecnico di Torino, anno accademico 1957-58 / Levrotto e Bella, [1956-8]*. Un successivo testo, quello più noto: *C. Ferrari – A. Romiti*: *Meccanica Applicata alle Macchine -UTET*, fu pubblicato nel 1966. Nella prefazione viene esplicitamente detto che il testo ha scopi essenzialmente didattici ed è rivolto agli allievi del terzo anno della Facoltà di Ingegneria. Il testo è diviso nelle due parti di Cinematica (250 p. ca) e di Dinamica (550 p. ca). Già la titolazione dei capitoli (19b) è indice di una visione della M.A.M. come insieme di applicazioni della Fisica e della Meccanica Razionale. Questo modo di vedere è evidente soprattutto nella dinamica; ad esempio: il dimensionamento di un volano, le vibrazioni di sistemi ad un g.d.l., l'isolamento delle vibrazioni, la velocità critica flessionale, non sono considerati in quanto problemi che si presentano nelle macchine, ma come applicazioni dell'equazione dell'energia, del principio di d'Alembert, delle equazioni di Lagrange. Questo aspetto è anche sottolineato dal carattere di stampa, più piccolo rispetto a quello del testo principale.

La Meccanica Applicata alle Macchine, a Napoli, dal 1863 al 1960

Il 1863 rappresenta l'anno in cui viene abolita la Scuola speciale per gl'Ingegneri di Acque e Strade (20), col R. Decreto del 30 luglio, e creata la nuova Scuola di Applicazione per gli Ingegneri in Napoli, alla quale viene applicato in via provvisoria il Regolamento già approvato in Torino con R.D. del 17 ottobre 1860. Viene così introdotto, al primo dei due anni del ciclo di studi, l'insegnamento della Meccanica Applicata alle Macchine. Col successivo R.D. del 30 giugno 1867 viene esteso alla Scuola di Napoli il nuovo Regolamento approvato per Torino nel 1863, nel quale, all'art.9, si legge: *Le lezioni di meccanica applicata alle macchine concerneranno la teorica di quelle , i motori in cui non si fa uso di un fluido elastico, la misura e la condotta delle acque. Le esercitazioni del secondo periodo consisteranno in lavori idrometrici, dinamometrici ed in osservazioni di macchine e di condotte d'acqua* (5). Nel Regolamento interno della R. Scuola di Napoli del 26 febbraio 1877 l' insegnamento appare col nome di: *Meccanica applicata alle Macchine ed all' Idraulica pratica e disegno di macchine,* ed è posto al 2° anno del ciclo di studi, diventato triennale.

Dal 1863 al 1881 tenne l'insegnamento della Meccanica Applicata alle Macchine Fortunato Padula (21) (Napoli 23 dic. 1815 – 29 giu.1881), già docente di Idrometria pratica (dal 1853) e di Meccanica Applicata (1860) presso la vecchia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, poi abolita, e Direttore della Scuola dal 1860.

Nel 1862-63 Padula risulta professore ordinario di Meccanica Razionale nella Facoltà di Scienze fisiche, matematiche e naturali, nonché incaricato di Meccanica Applicata nella stessa Facoltà (22). Fortunato Padula, rappresentò una personalità di rilievo nel panorama degli studiosi napoletani del suo tempo: socio dell'Accademia Nazionale delle Scienze nel 1867; componente, negli anni '70, del Consiglio di Perfezionamento del R. Museo Industriale di Torino; senatore del Regno d'Italia nel 1870, insieme a Luigi Cremona e Prospero Richelmy, in data 10 Giugno 1875, redasse una relazione (su richiesta del segretario generale Enrico Betti e del ministro dell' Istruzione pubblica Ruggero Bonghi), nell'ambito di un progetto di riordino generale degli studi di ingegneria**.** Secondo quanto riferisce Ernesto Ferraro nella prefazione del "*Sunto delle lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine*", il Padula aveva pubblicato il testo: *Corso di Meccanica Applicata alle Macchine dettato alla Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri di Napoli 1872-73*. Non ho trovato traccia di questo testo.

L'anno 1881/82 vede l'ing. Francesco Milone incaricato della M.A.M. L'incarico gli viene ufficialmente assegnato nel gennaio del 1882 e lo terrà soltanto per un anno; l'anno successivo riceverà l'incarico di Macchine termiche, idrauliche e agricole. Nella "*Relazione sulla R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Napoli*" scritta da Ambrogio Mendia nel 1884, il Milone risulta Prof. straordinario di questa materia (5).

Dal 1882 al 1890 la M.A.M. viene insegnata dall'ing. Ernesto Ferraro (23), che già nel primo anno pubblica il "*Sunto delle lezioni di Meccanica Applicata alle Macchine*"(24) (24b), che viene ripubblicato in edizione aggiornata (per il successivo anno scolastico 1883-84), suddiviso in tre parti, ciascuna in un volume (25).

Come dichiara nella prefazione alle lezioni dell'anno 1882-83, Ernesto Ferraro vuole dare un indirizzo "*alquanto nuovo*" al corso. E' molto probabile che egli si riferisse, per il confronto, a quello svolto da Fortunato Padula, delle cui lezioni, come ricordato, non ho trovato traccia. In quegli anni, il nuovo, nell'impostazione dell'insegnamento della meccanica delle macchine, era soprattutto quello proposto da Franz Reuleaux, per il quale "*la macchina stessa è l'oggetto e lo scopo della teoria delle macchine*, la quale teoria quindi non deve considerare *le macchine in modo incidentale, come dei semplici esempi o dei casi particolari dei principi della meccanica applicata*. (26)

Nella prefazione alla seconda stesura delle sue lezioni, Ferraro scrive: " *Ho preso a base del corso la divisione del*

Reuleaux avvalorata dalla parola autorevole italiana del Colombo, come quella che avendo seguito gli ultimi passi della scienza delle Macchine risponde meglio al rigorismo moderno che non si trovava perfettamente pago di talune definizioni e deduzioni discordi alquanto dalle posteriori, recenti invenzioni meccaniche. Non ho creduto però seguire l'autore anche nella parte dei simboli e scrittura…"

Il Ferraro, effettivamente si richiama a Reuleaux, riportando anche alcune figure tratte dal suo libro *Theoretische Kinematic*: *Grundzuge einer Theorie des Machinenwesens*, edito in Italia in contemporanea all'edizione tedesca del 1875, nella traduzione di Giuseppe Colombo, avente il titolo: TEORIA GENERALE DELLE MACCHINE (27). Nello stesso tempo, però, Ferraro mantiene ancora in vita qualcosa del passato, richiamando la classificazione (di scuola francese) dei meccanismi in base alle trasformazioni dei movimenti che essi realizzano, classificazione che era già stata criticata da Reuleaux. Venendo ai contenuti del corso, la lettura dell' indice (25) permette di averne un quadro abbastanza chiaro. Vi sono nozioni di tecnologie e di costruzione di macchine, che i libri "moderni" non contengono più, ma la parte preponderante degli argomenti corrisponde a quella che si ritrova ancora, in misura più o meno ampia, nei corsi di Meccanica Applicata alle Macchine impartiti nelle Facoltà di Ingegneria. Ampio spazio viene dato ai sistemi articolati (più di 110 pagine su un totale di 760) con la trattazione del quadrilatero e dei suoi derivati, del manovellismo di spinta a semplice manovella e a manovelle multiple, ed altro. In particolare sono studiate: le ruote dentate con vari tipi di profili coniugati, anche se non in modo approfondito; le trasmissioni con organi flessibili e le macchine per il sollevamento dei carichi, che insieme occupano più di 150 pagine; il piano inclinato, il cuneo e la coppia vitemadrevite; il volano; il regolatore centrifugo; le resistenze di attrito; gli apparecchi di misura delle principali grandezze meccaniche di interesse per le macchine con un posto di rilievo per il freno dinamometrico (28).

Di fenomeni dinamici, comprensibilmente, c'è poco; in particolare manca la dinamica dei rotori (ad esempio non c'è cenno delle velocità critiche flessionali, fenomeno a quell'epoca noto e oggetto di uno studio teorico già nel 1869) e mancano le vibrazioni meccaniche. Manca ovviamente riferimento alla teoria della lubrificazione: solo nel 1886 Osborne Reynolds pubblica l'ampio articolo "*On the Theory of Lubrication and its Applications to Mr. Beauchamp Tower's Experiments*". E' interessante osservare che il lavoro nell'unità di tempo ancora non viene designato con il termine oggi comune di "potenza", ma talvolta con il termine forza, talaltra con il termine lavoro; non c'è certamente confusione fra le due grandezze fisiche da parte dell'autore, ma la distinzione fra esse è di fatto demandata all'unità di potenza; ad esempio si dice: la "*forza di un cavallo*

che è quella di 75kg innalzati ad un metro di altezza in un secondo". Fra le trasmissioni con organi flessibili è interessante lo studio delle *trasmissioni telodinamiche*, cioè quelle trasmissioni che servivano a trasferire la potenza meccanica a grande distanza, a mezzo di organi flessibili. Le considerazioni ivi svolte mostrano come il Ferraro fosse non solo attento alla scienza e alla tecnica del suo tempo, ma anche in grado di immaginarne lo sviluppo (29).

Dal 1891 al 1911 la Meccanica Applicata alle Macchine viene insegnata da Ernesto Cavalli. Dalla commemorazione che nel giugno 1911 ne fa il Prof. Saverio Ragno, in passato suo assistente, apprendiamo che Ernesto Cavalli (Livorno 21/7/1852-Napoli 7/5/1911) aveva studiato al Politecnico di Zurigo, si era laureato ingegnere civile nel R. Istituto Tecnico Superiore di Milano. Dopo avere insegnato nel R. Istituto Tecnico di Livorno e contemporaneamente all'Università di Pisa, era stato, dal 1886, professore straordinario a Roma; a Napoli viene come professore ordinario di Meccanica Applicata alle Macchine, che insegna dal 1891 al 1911 (30).

Nel 1898 il programma ufficiale della M.A.M.(31) è, sinteticamente, il seguente:

CINEMATICA: 1) Definizioni e principi generali 2) Teoria dei ruotismi 3) Trasmissione di movimento per cingoli 4) Sistemi articolati 5) Sistemi articolati complessi 6) Trasmissione di movimento per mezzo di fluidi

TEORIA GENERALE DELLE MACCHINE: 7) Applicazione dei principi di meccanica razionale alle macchine in moto 8) Resistenze passive 9) Trasmissione di forza per ruotismi, cingoli, per sistemi articolati 10) Valutazione sperimentale della potenzialità delle macchine motrici 11) Organi moderatori e regolatori

ELEMENTI DELLE MACCHINE: 12) Organi di collegamento 13) Alberi e loro perni 14) Organi fissi dei meccanismi 15) Ruote dentate 16) Trasmissione con organi flessibili 17) Manovellismi 18) Organi di tenuta e di condotta dei fluidi 19) Molle 20) Dettagli per macchine di sollevamento.

Da questa sintesi si nota che gli argomenti sono quasi totalmente coincidenti con quelli contenuti nel testo delle lezioni di Ernesto Ferraro, rispetto alle quali, mancano gli argomenti di tecnologia della parte I. Solo parte del programma del Cavalli è in "*Lezioni di meccanica applicata alle macchine dettate dall'ing. E. Cavalli –1890"* (p.91) [Scuola di Applicazione per gli ingegneri di Roma]; è perciò probabile che il Cavalli si servisse per le sue lezioni anche del libro del Ferraro.

Nel 1901, presso la Scuola di Napoli (con RR.DD. 14 e 24 ott. n. 480 e 481), viene istituita la nuova sezione Industriale. Nel periodo 1903/4-1910/11, per questa sezione dell'ingegneria, all'insegnamento della Meccanica Applicata alle Macchine (32), che è posto al secondo anno del triennio di applicazione, troviamo aggiunto, al primo anno, quello di: *Cinematica, teoria dei meccanismi e disegno di macchine*, tenuto sempre dal Prof. Cavalli; il corso non è

più citato nel piano degli studi del 1911/12, quindi dopo la morte del Cavalli. Forse tale insegnamento era strettamente legato alla sua persona, e lo si era introdotto per diversificare la M.A.M. nelle sez. civile ed industriale. La lettura dei programmi dei due insegnamenti (31), mostra che l'insieme degli argomenti risulta quasi coincidente con quello della sola Meccanica Applicata del 1898. Stessi programmi si hanno per l'A.A. 1906-7 (31).

Nel 1910-11 il nome dell' insegnamento è *Meccanica Applicata alle Macchine e Disegno di Macchine*; al programma del 1906-7 viene aggiunta la voce: *Efficienza delle macchine termiche*. Nel periodo della sua attività a Napoli, Ernesto Cavalli pubblica, tra l'altro, i seguenti libri: *Avviamento allo studio della meccanica : Elementi di cinematica teorica* - Napoli - 1902; *Elementi di Meccanica Applicata alle Macchine* - Napoli 1908 (236 pp. + 7 tavole con 88 figure). Nella prefazione del secondo, l'autore scrive: "*Col tener dietro al progresso della Meccanica Applicata alle Macchine, da anni ho avuto il desiderio di fare questo libro, nel quale trovasi ora raccolto ed ordinato il meglio che ne è stato pensato. Io confido che esso risponda agli attuali bisogni della istruzione politecnica ....*" Nel libro, che presenta una esposizione piuttosto sintetica, circa 40 pagine, non poche, in relazione alla sua estensione, sono dedicate alla "*efficienza delle macchine a vapore e a scoppio*" (cap. XII e XIII), non facenti parte del programma ufficiale del corso di M.A.M., salvo che per il 1910-11, come si è detto. Come curiosità interessante, presente in questo libro, vorrei citare il paragrafo 8 del primo capitolo, intitolato: *Fatica dell' uomo e dei bruti,* perché mostra che ancora nei primi anni del '900, in un libro di meccanica delle macchine si sentiva l'esigenza di fornire all'ingegnere una serie di valori numerici, perché potesse servirsi "razionalmente" dello sforzo esercitato dall' uomo o dagli animali; sforzo, si avvertiva, che dipendeva dalla velocità alla quale veniva esercitato e di cui si poteva tenere conto con una formula empirica.

Dall'A.A. 1911/12 (R.D.dell' 1/11/1911) l'insegnamento della M.A.M viene affidato per incarico all'ing. Luigi De Biase, assistente di Meccanica Applicata alle Macchine già dal 1903/04 (33) (34), che lo terrà poi fino al 1914-15 .

Nel 1912/13, intanto, arriva a Napoli, in qualità di straordinario di M.A.M. (D.M. del 27/ 7/1912), il Prof. Anastasio Anastasi, che subito dopo viene comandato a Roma (35), motivo per il quale l'incarico viene affidato di nuovo al De Biase (36), il quale, nel 1914 pubblica, presso V. Bestito, il testo litografato: *Corso di meccanica applicata alle macchine.* Il libro, di 836 pagine, presenta le due parti di Cinematica (Parte prima) e Dinamica (Parte seconda), che occupano quasi esattamente lo stesso numero di pagine (37). Ipotizzando che gli argomenti contenuti nel testo siano anche quelli svolti nelle lezioni (e la pubblicazione del libro pochissimi anni dopo aver ricevuto il primo incarico fa ritenere valida questa ipotesi) possiamo

affermare che i due programmi, quello di De Biase, svolto nell'unico insegnamento di *Meccanica Applicata alle Macchine*, e quello di Cavalli, complessivamente svolto nei due insegnamenti di *Cinematica, teoria dei meccanismi e disegno di macchine* e di *Meccanica Applicata alle Macchine,* sono abbastanza simili fra loro. Il confronto fra i contenuti dei due libri, mostra poi che il De Biase, per quanto riguarda la dinamica, ha preso molto dal Cavalli, sia come organizzazione della materia, che come esposizione, con un tentativo però di maggior precisione e con un certo aggiornamento. Sempre in relazione alla dinamica, riscontriamo le seguenti differenze:

- innanzitutto non c'è più confusione di termini fra forza, lavoro e potenza, che ancora c'era nel testo del Cavalli;
- manca lo studio sui cicli delle macchine termiche (che è trattato nel corso di Macchine);
- per la coppia d'attrito nei perni di spinta, è introdotta l'ipotesi del Reye;
- nella trasmissione con organi flessibili, è presente un'ampia parte descrittiva sulla costituzione dei diversi organi flessibili (funi, catene, corde);
- nell'attrito mediato e lubrificazione, sono riportate le critiche alla teoria del Petroff e sono dati cenni della teoria di Reynolds e di quella di Sommerfeld, oltre ad un'ampia trattazione sugli oli lubrificanti;
- c'è un cenno al criterio della riduzione delle forze e delle masse, utilizzato solo nello studio particolare del problema della frenatura e non in modo generale;
- l'ergometria è sostituita dal capitolo più generale sulle misure meccaniche (ripreso ed ampliato dal Ferretti), nell'ambito delle quali viene trattata la misura della potenza e della coppia di un motore;
- la trattazione sul volano (il titolo del capitolo è più appropriato di quello del Cavalli) è di tipo più generale e, anche se è presente qualche errore, è molto vicina a quella che si svolge ancora oggi ;
- nella regolazione non è trattato il solo equilibrio del regolatore, ma se ne spiega l'intervento, a partire dall'equazione dell' equilibrio dinamico del gruppo, introducendo, tra l'altro, anche la caratteristica del regolatore e la sua utilizzazione.

Il confronto del libro del De Biase con il coevo testo del Prof. Modesto Panetti del R. Politecnico di Torino (*Corso di meccanica applicata alle macchine: cinematica e dinamica*– 1913), evidenzia una concordanza di argomenti per la cinematica, anche se con diversa ampiezza di trattazione; per la dinamica, si osserva, in particolare, che in Panetti mancano le trattazioni dell'attrito e della lubrificazione, mentre è presente un ampio capitolo sulla dinamica e sul bilanciamento delle motrici a stantuffo, che manca in De Biase.

Per il 1915/16 (38), l'incarico di MAM viene assegnato (insieme a quello di Elementi e disegno di Macchine) a Giandomenico Mayer (39), dal 1913 professore straordinario e poi ordinario di Meccanica Agraria presso la Scuola Superiore di Agricoltura di Portici (40)

1919/20 Anastasio Anastasi (ancora indicato come Prof. straordinario).

1920/21 Giandomenico Mayer riceve di nuovo l'incarico di MAM. Nell'elenco del personale della Scuola non c'è più il Prof. Anastasi.

Mayer pubblica il libro *Meccanica Applicata alle Macchine* (parte I: Cinematica Applicata, di p.144, nel 1919, e parte II: Dinamica Applicata, di p.152, nel 1921). La suddivisione nelle due parti Cinematica e Dinamica è quella adottata da De Biase, ma gli argomenti, nel testo del Mayer sono in numero ridotto, oltre che rispetto al libro del De Biase, anche rispetto a quello del Cavalli.

1921/22–1957/58 Pericle Ferretti (1.4. 1888 - 12.2.1960). E' il docente che ha insegnato a Napoli più a lungo la M.A.M: 37 anni. Ha iniziato come incaricato nel 1921/22, poi ordinario dal 16/10/ 1928 al 31/10/1958. A seguito di sdoppiamento, dal 1953/54 svolse lezioni per la sola sez. Civile (al Prof. Mario. Taddei veniva attribuito l'incarico per la sez. Industriale e Navale). Fu incaricato di Motori per Aeromobili dal 1943-44 al 1955-56.

Al forte intervento del Prof. Ferretti, si deve la creazione dell'*Istituto Nazionale dei Motori* del CNR, con sede a Napoli; dell'Istituto egli fu direttore dall' inizio del suo funzionamento, nel 1940, fino all' anno 1960. Il Prof. Ferretti, nel corso del suo lungo periodo di insegnamento ha pubblicato diverse edizioni del testo delle lezioni, per il quale scelse, fin dal 1925-26, il titolo di: *Meccanica delle Macchine* (41).

Questo titolo, che rimarrà in tutte le altre edizioni, era diverso da quello adottato da docenti di altre sedi, quale ad esempio il Prof. Panetti di Torino, prima ricordato (42). Dall' edizione del 1932 (43) in poi, la materia appare suddivisa in: Parte prima*, Cinema-tica e dinamica delle macchine;* Parte seconda, *Misure Meccaniche*. La stessa suddivisione si trova nel programma ufficiale del 1933-34. Si spinge così più avanti l'innovazione di De Biase, che, oltre alle "tradizionali" misure di lavoro, aveva introdotto le misure di altre grandezze fisiche di interesse nelle macchine, ed aveva iniziato a parlare di teoria degli errori. Già l'edizione del '25-26 (44), in sei capitoli, rispetto al testo di De Biase, presenta forti cambiamenti, i più significativi dei quali sono: la notevole riduzione della cinematica e l'introduzione dei fenomeni dinamici del moto rotatorio (fenomeni giroscopici, velocità critiche flessionali (45) e torsionali). Le successive edizioni della Parte prima presenteranno fondamentalmente analoga suddivisione e contenuti, con non grandi variazioni nel tempo; rispetto alle edizioni del '26 e del '32, quella del '60 (ultima prima della morte dell' Autore), non contiene più i riferimenti introduttivi alla Scienza delle Costruzioni. Per la Parte seconda di Misure Meccaniche, l'edizione Pironti del 1954 (in collaborazione col Prof. Taddei) si presenterà molto ampliata rispetto a quella a stampa del 1946-47. Con riferimento al periodo precedente la riforma del 1960, il Prof. Mario Taddei, ricordato prima, insegnò la M.A.M. nella sez. Industria-

le e Navale, dal 1953/54 al '59/60. Il programma da lui svolto, almeno per il 1958, può dedursi da una raccolta delle lezioni effettuata dagli studenti (46): oltre gli argomenti del libro del Ferretti parte I, sono presenti le *oscillazioni torsionali*, basate sull'omonimo libro del Taddei (47); gli argomenti di misure meccaniche, che costituiscono circa il 10% del complesso delle lezioni, sono per la gran parte dedicate alla teoria degli errori.

(1) *École Polytechnique - Bibliothèque Centrale* ; *Biographies Index* - siti internet

J.V.Poncelet : *Cours de Mécanique appliquée aux machines* Paris, Gauthier-Villars 1874 (riproduzione, a stampa, dell'edizione del 1836, con quache cambiamento di dettaglio)

INDICE:

Sezione prima – Considerazioni generali sulle macchine in movimento:

I)Nozioni e principi sui quali si fonda la scienza dei motori e delle macchine. II)Applicazione del principio delle forze vive al movimento delle macchine. III)Circostanze principali del movimento delle macchine. IV)Esercizio delle macchine industriali.

Sezione seconda - Dei principali mezzi per regolarizzare l'azione delle forze nelle macchine e di trasmettere le velocità in rapporti determinati.

I)I moderatori. II)I regolatori. III)Le manovelle. IV)Applicazioni particolari della teoria dei volani. V)Mezzi geometrici per trasmettere le velocità tra corpi, in un rapporto assegnato.

Sezione terza - Calcolo delle resistenze passive nei corpi in moto uniforme e soggetti ad azioni sensibilmente invarianti.

I)Considerazioni prelim. II)I diversi tipi di resistenza. III)Applicazione alle macchine semplici.

Sezione quarta Influenza delle variazioni di velocità sulle resistenze.

I)Le resistenze nei corpi a moto variabile periodico o permanente. II)Influenza dei cambiamenti bruschi di velocità. III)Applicazioni

(2)Almanacco Reale 1840 – Arch. di Stato Napoli

(3) R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri di Ponti e Strade 1811-63; R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Napoli 1864-1904*;* R. Scuola Politecnica di Napoli 1905-23*;* R. Scuola d'Ingegneria 1924-33*;* R. Istituto Superiore d'Ingegneria 1933-35*;* Facoltà d'ingegneria 1935

(4) Il testo manca della 2a parte: *Meccanica applicata alle Macchine*, che manca anche in altri cataloghi consultati; probabilmente questa seconda parte, sebbene annunciata, non fu pubblicata

(5) Giuseppe Russo: *La Scuola d'Ingegneria in Napoli 1811-1967*

(6) T.Koetsier: *Mechanism and machine science: its history and identity* - International Symposium. on History of Machines and Mechanisms – Proceedings HMM2000

(7) A partire da quell'anno, le Facoltà di Ingegneria potevano conferire le seguenti lauree:

1) Laurea in ingegneria civile (sezioni: edile, idraulica, trasporti)
2) Laurea in ingegneria meccanica
3) Laurea in ingegneria elettrotecnica
4) Laurea in ingegneria chimica
5) Laurea in ingegneria navale e meccanica
6) Laurea in ingegneria aeronautica
7) Laurea in ingegneria mineraria
8) Laurea in ingegneria elettronica
9) Laurea in ingegneria nucleare

A Napoli ne vengono attivate sette, mancando la mineraria e la nucleare, non attivate nemmeno successivamente

(8) Fascicolo personale: Archivio Università di Napoli Federico II

(9) Istituto Motori - sito internet

(10) Questo libro, dal 1960 sarebbe stato il testo di riferimento per il nuovo insegnamento di "*Misure e norme di collaudo*", introdotto con la riforma del'60

(11) Salvo le ultime pagine, costituite da un

ampliamento di un paragrafo sui cuscinetti a ralle mobili esso era identico all'ed. Pironti del '52, edizione corretta del testo del 1946

(12) 440 pag, Ferretti 1960. Il testo del Prof. O. Sesini, usato a Milano negli anni '60 e '70, era di circa 700 p.; quello di Ferrari-Romiti, dell' Università di Torino di 800 p.; Pistolesi, Pisa, ed. 1964, 700 p.; Funaioli, Bologna, 1975-83, 600 p.

(13) Per ammissione dello stesso Autore in risposta ad una domanda sul programma del corso. Una conferma indiretta sta nel fatto che gli argomenti del libro del Ferretti è possibile ritrovarli, quasi inalterati nella forma oltre che nel contenuto, nel libro del Taddei

(14) Successivamente prese la denominazione di: Meccanica delle Vibrazioni

(14,b) Francis C. Moon, "Franz Reuleaux: Contributions to 19th Century Kinematics and Theory of Machines", Appl. Mech Rev vol 56, no.2, March 2003

(15) A.R.Guido – L. Della Pietra*: Lezioni di Meccanica delle Macchine* –CUEN (Vol I, 1989; Vol II, 1991), ristampato in edizione riveduta e corretta nel 1993. Il testo, con numerosi esercizi completamente svolti, comprende:

1) Definizione di macchina e principi fondamentali; 2) Funzionamento di un gruppo di macchine; 3) Dinamica dei rotori rigidi 4) Giroscopi; 5) Vibrazioni meccaniche; 6) Bilanciamento degli organi rotanti rigidi; 7) Velocità critiche flessionali 8) Velocità critiche torsionali; 9) Trasmissioni meccaniche: trasmissione con ruote di frizione; 10) Ruote dentate; 11) Cinghie piane; 12) Lubrificazione idrodinamica; 13) Macchine alternative

(16) Secondo quanto riferitomi, ma da verificare, al Prof. Massa si affiancarono: il Prof.R. Riva dal 1991-92 fino al 1993-94; in detto anno, al Prof. Riva subentrò il Prof. B. Pizzigoni. Dal 1998, con l'andata fuori ruolo del Prof. Massa, l'insegnamento fu svolto dal Prof. Pizzigoni insieme col Prof. Bachschmid, fino al 2002, ultimo anno di attivazione del vecchio ordinamento degli studi

(17) I docenti consultati hanno confermato che, nel periodo di insegnamento del prof. Massa, come riferimento era sempre rimasto il testo del Sesini (consigliato per l'approfondimento), ma si utilizzavano gli appunti del Prof. Massa, come parte integrativa (soprattutto per le vibrazioni sistemi meccanici a due gradi di libertà, le velocità critiche ed i fenomeni di instabilità); negli ultimi anni, anche il testo di Meccanica Applicata alle Macchine dei Proff. Ghigliazza e Galletti

(18) Ad es. la velocità critica flessionale è esplicitamente indicata come fenomeno di risonanza.

(19) Vedi catalogo gen. delle pubblicazioni della Facoltà di Ingegneria del Politecnico di Torino

(19b) PARTE PRIMA Cinematica applicata: Cap.I Moto piano; Cap.II Moto sferico PARTE SECONDA – Dinamica applicata: Cap.I Forze agenti negli accoppiamenti; Cap.II Forze d'inerzia; Cap.III Equazioni fondamentali della dinamica; Cap.IV Sistemi di controllo

(20) Così si legge in: *R. Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli pubblicazione deliberata dal Consiglio direttivo in occasione della Esposizione nazionale di Torino 1898*

(21) La prima data da me riscontrata è, in verità, il 1866-67; nel 1863 è molto probabile che il nuovo corso venisse affidato al Padula, per gli insegnamenti che aveva svolto e svolgeva, nonché per il prestigio di cui godeva

(22) Secondo il Calendario del Regno d'Italia del 1863, Padula era professore di 1a classe di Meccanica applicata presso la R. Scuola Marina, nonché Direttore della stessa Scuola; probabilmente si confonde la R. Scuola Marina con la Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri, che non è menzionata nel Calendario, non sempre affidabile

(23) La data del 1890 è presunta. Ferraro risulta assistente già nel 1879. Il 20 dicembre 1882 riceve l'incarico dell'insegnamento della M.A.M. per il.1882-83, rinnovato poi l'anno successivo (dalle prefazioni delle due edizioni del suo libro). L'ing. Ferraro continua nell'incarico certamente fino al 1887-88 (D.M. 18 nov. 1887 - Boll. Uff. Pubb. Istr) e forse anche fino al 1889-90 (Calendario del Regno d'Italia 1890); risulta confermato come assistente per il 1889-90 (decreto 29 ott. 1889 - Boll. Uff. Pubb. Istr). Nel 1898 l'ing. Ferraro non compare più nell'elenco del personale, ma risulta avere il titolo

di libero docente per Meccanica Applicata alle Macchine (da: *R. Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli - pubblicazione ..... 1898*)

(24) In testa al titolo c'è l'indicazione*:* Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli Anno Scol.1882-83

(24b) Nel 1863 P. Richelmy aveva pubblicato *Programmi ossieno sunti delle lezioni di meccanica applicata alle macchine e di idraulica pratica dette nella R. Scuola di applicazione di Torino.* Gli argomenti di M.A.M. sono esposti in modo molto sintetico, "*quasi un prontuario*", in meno di 90 pagine e riguardano meccanismi articolati, ruote dentate, cingoli, regolazione, volano, attrito, urto

(25) PARTE I (p. 207) I) Introduzione; II) Cenno sui materiali impiegati nella costruzione delle macchine; III) Notizie sulla produzione grezza di un oggetto in metallo; IV) Richiamo di definizioni- Coppie di elementi- Catene cinematiche - Meccanismi - Lavoro motore, utile, resistente – Equazione generale delle macchine in moto – Scopo ed utilità delle macchine - Macchine in moto; V) Apparecchi per misurare la velocità, gli sforzi ed il lavoro nelle macchine; VI) Resistenza di attrito; VII) Principali trasformazioni di movimento ed organi relativi

PARTE II (p.331) Esame degli elementi rigidi I) Unione di lamiere; II) Macchine semplici; III) Perni, assi ed alberi, giunti ; IV) Supporti, cuscinetti, sedie e castelli; V) Manovellismi; VI) Volante; VII) Meccanismi di spinta curvilinea; VIII) Ruote dentate; IX) Regolatore a forza centrifuga

PARTE III (p. 207) Esame degli elementi duttili

I) Trasmissione per cinghie, corde, catene; II) Trasmissioni telodinamiche; III) Apparecchi per il sollevamento dei carichi; IV) Trasporto orizzontale dei carichi; V) Tubi e loro collegamenti, cilindri a vapore e da pompa, serbatoi, stantuffi, guarniture diverse, valvole; VI) Torchio, grue, elevatori ed accumulatori idraulici; VII) Cenno sulle principali specie di molle

(26) Secondo Koetsier Teun, Franz Reuleaux, tedesco dal cognome francese, professore presso la Reale Accademia Industriale di Berlino (che divenne poi la Reale Scuola Superiore Tecnica), *…fu il primo a definire la teoria delle macchine e dei meccanismi come una disciplina a se stante, avente al centro la cinematica dei meccanismi……Reuleaux ha iniziato a sviluppare le sue idee rivoluzionarie nel 1860….*

(27) G. Colombo, professore nell'Istituto Tecnico Superiore di Milano, autore del famoso manuale dell'ingegnere, la cui prima edizione uscì nel 1877. L'edizione italiana del libro del Reuleaux, stranamente, ha la data del 1874; mie ricerche per chiarire l'arcano non hanno dato esito

(28) A questo proposito interessante è il richiamo ad un prodotto italiano.. A pag. 144 della parte I si legge: "*Fra tutti i freni studiati è giusto dare il primo posto a quello del nostro connazionale Thiaband direttore dell'officina carte valori in Torino ed ora generalmente adottato da ingegneri governativi in perizie di forza motrice*

(29) Dice dunque il Ferraro: "*Le trasmissioni telodinamiche non sono altro che le ordinarie trasmissioni di officina, dove la cinghia è sostituita da una corda metallica la quale permette quindi di trasmettere il movimento da un albero ad un altro situato anche a distanza di 1000 m ed anche più"…"Diversi sono i mezzi per trasportare a distanza la forza motrice, si hanno le trasmissioni ad acqua, ad aria compressa…Vi sono le trasmissioni per mezzo della corrente elettrica, utilizzando cioè la forza motrice per dare movimento ad una macchina dinamo elettrica che genera corrente, che a sua volta trasmessa per conducibilità in fili metallici va ad azionare in altro punto distante dal primo su un' altra simile macchina dinamo elettrica che può servire come motore. E' questa la più moderna soluzione del problema….Pure la cosa non è ancora perfettissima, ma si intravede molto vicino il giorno in cui quest'altro passo della scienza porterà una vera rivoluzione nel campo vastissimo delle applicazioni."* Nel giugno del 1881, in occasione della grande Esposizione Nazionale di Milano, la Galleria Vittorio Emanuele venne illuminata con 25 potenti lampade ad arco della Siemens; nel settembre del 1882, a New York, entrava in esercizio la prima centrale elettrica al mondo; nel 1883, a Milano, fu inaugurata la prima centrale elettrica

europea, in grado di alimentare 4800 lampade ad incandescenza

(30) Annuari R. Scuola di Appl. per gl'Ingegneri, Napoli; Scuola Sup. Politecnica (Agraria Portici)

(31) In: *R. Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri in Napoli; pubblicazione deliberata dal Consiglio direttivo in occasione della Esposizione nazionale di Torino 1898*

(32) Per la sezione Civile lo stesso insegnamento è denominato: Meccanica Applicata alle Macchine e Disegno di Macchine

(33) Vedi .Annuari: R. Scuola di Appl. per gl' Ingegneri, e Scuola Superiore Politecnica Napoli

(34) Nel 1911-12 , nel piano di studi non compare più al 1° anno l'insegnamento di *Cinematica*, *...;* al suo posto troviamo: *Elementi e disegno di Macchine*, del quale non è indicato il docente

(35) Con D.M. del 28/11/1912 è comandato presso il battaglione specialisti del Genio

(36) Negli anni 1913/14 e 1914/15 la MAM comprende gli *Elementi e Disegno di Macchine*, nel 1912/13 affidato al Mayer, come incarico separato. Dal 1913/14 la M.A.M. è ora al 1° anno del triennio di applicazione, essendo cambiato l'ordinamento degli studi

(37) La suddivisione della Meccanica delle macchine nelle due parti di Cinematica e Dinamica, è adoperata in quegli stessi anni anche dal Prof. Panetti, docente a Torino (M. Panetti – *Corso di meccanica applicata alle macchine : cinematica e dinamica* - 1913)

(38) Per il 1915-16, il De Biase è confermato incaricato di M.A.M. (Boll.Uff. MPI 30.9.1915); il Boll.Uff. del 14.10.1915 riporta che a Giandomenico Mayer è stato assegnato l'incarico della M.A.M. per il 1915/16 con D.M. del 27.9. 1915. Da quanto sopra, in base alla nota (39), si deduce che Luigi De Biase deve essere morto prima del 27.9.1915

(39) Dal ricordo di Carlo Santini: *Giovanni Domenico Mayer (13.9.1868 – 10.7.1925) ... "Nato a Perugia. Prima assistente di Paolo Boubé alla Cattedra di Costruzioni metalliche, dopo a quella di Costruzioni idrauliche di Gaetano Bruno, infine di Ernesto Cavalli, titolare di Meccanica applicata alle macchine, lustro tutti e tre della nostra Scuola napoletana degli Ingegneri… Conseguì la libera docenza in Meccanica applicata alle macchine… Contemporaneamente fu incaricato per più anni del corso di Meccanica applicata alle macchine del Politecnico, in sostituzione del valoroso prof. De Biase, amico suo intimo, morto giovanissimo"*

(40) Diventata poi *Istituto Superiore Agrario* ed infine *Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Napoli* con l'anno accademico 1935-36

(41) L'edizione più antica trovata è: R. Scuola di Ingegneria di Napoli – P. Ferretti: *La Meccanica delle Macchine 1925-26*; Casa Editrice Raffaele Pironti. (presso il Dip. di Ing. Strutturale e Geotecnica, Uniroma1)

(42) Forse si voleva affermare che l'oggetto principale dello studio è la Macchina, così come era inteso da Franz Reuleaux, oppure, più probabilmente, era già in atto la suddivisione del corso di lezioni nelle due parti di: Meccanica applicata alle macchine, e di: Misure meccaniche

(43) Presso Dip. di Ing. Mecc. per l'Energ. (Unina) e Biblioteca Centrale Nazionale di Firenze

(44) I titoli dei capitoli sono i seguenti:

- Introduzione alla cinematica
- Introduzione alla costruzione

Cap.I: I fenomeni dinamici del moto rotatorio

Cap.II : Il manovellismo di spinta rotativa

Cap.III: La trasmissione del moto rotatorio

Cap.IV: Lubrificazione

Cap.V: La regolazione delle macchine

Cap.VI: La frenatura

(45) Il problema delle velocità critiche flessionali è già presente in: O. Pomini – Costruzione di Macchine, vol.II, Hoepli 1916

(46) ORUN (Organismo Rappresentativo Universitario Napoletano) *Meccanica delle Macchine* – Centro Editoriale Universitario (Coll. privata)

(47) Mario Taddei – *Oscillazioni Torsionali* - Napoli, Pironti, 1957 (p.126)

Raffaele Mauro

L'Ingegneria Stradale: dalle costruzioni stradali agli approcci sistemici

Premessa

In un precedente lavoro[1] si è fornito un sintetico profilo della evoluzione dell'Ingegneria Stradale negli ultimi due secoli.

Dalla metà dell'Ottocento fino al primo decennio dopo la Seconda Guerra Mondiale, l'Ingegneria Stradale è soprattutto ingegneria strutturale. Dagli anni Cinquanta le "Costruzioni di Strade" perdono via via, a favore principalmente della Geotecnica da un lato, della Tecnica delle Costruzioni e delle Costruzioni di Ponti dall'altro, molte delle loro storiche competenze, iniziando ad acquisirne, però, altre, innovative e specialistiche.

L'Ingegneria Stradale si avvia così a riconfigurarsi con contenuti ed impostazioni di metodo del tutto originali rispetto alla sua tradizione in un nuovo assetto di approcci e di temi. Esso sarà compiutamente raggiunto negli anni Settanta e perdura stabilmente a tutt'oggi.

In definitiva, elementi caratterizzanti le Costruzioni Stradali nei periodi più recenti risultano:

- la progettazione geometrico-funzionale dell'asse e delle intersezioni;
- le indagini teoriche e sperimentali relative alla circolazione veicolare (per pervenire a valutazioni di capacità e a stime della qualità della circolazione, nonchè per individuare strategie di gestione e di controllo delle infrastrutture e dei flussi);
- le analisi relative alla sicurezza stradale in fase di progetto; di riqualificazione dell'esistente; di gestione delle strade per la riduzione dell'incidentalità veicolare;
- le valutazioni tecnico-economiche degli investimenti infrastrutturali come ausilio alle decisioni attuative;
- l'attenzione dedicata (in particolare nell'ultimo ventennio) allo studio dei rapporti tra infrastruttura ed ambiente.

Restano sul diverso versante dei temi prettamente e tradizionalmente costruttivi:

- la progressiva meccanizzazione ed organizzazione programmata dei cantieri, che consente la effettuazione di grandi movimenti di terra e la costruzione in tempi contenuti di impegnative opere d'arte;
- la costruzione ex novo o il rifacimento delle pavimentazioni;
- l'attenzione sempre maggiore riservata alle caratteristiche ed alle prestazioni dei materiali per la costruzione del corpo stradale e delle sovrastrutture. In questo ambito, ingenti risorse sono state utilizzate, e tutt'ora vengono impiegate in studi teorici e sperimentali (cfr. ad es. la sperimentazione nell'ambito del-

l'"AASHO Road Test");
- lo studio e la definizione di metodi di proporzionamento delle pavimentazioni in base agli esiti delle sperimentazioni predette e/o con i criteri della meccanica del continuo e della meccanica computazionale.

Per la natura dei problemi affrontati in molte delle aree tematiche appena prima richiamate, da circa venti anni ad oggi è risultato indispensabile il ricorso a strumenti di analisi statistico-probabilistici a volte particolarmente complessi (come accade, ad es., nelle analisi in "tempo reale" delle correnti di traffico). Essi si adoperano così di elezione sia nell'ambito della progettazione geometrico-funzionale e nel controllo delle infrastrutture, sia in quello della valutazione della affidabilità delle pavimenta-zioni e della qualità dei materiali per la costruzione del corpo stradale.

Nel seguito viene rapidamente richiamato il contesto sistemico entro il quale oggi si situano, a parere dell'autore di questa comunicazione, alcuni rilevanti ed attuali capitoli della Ingegneria Stradale, fornendone un sintetico excursus storico.

Dal progetto geometrico, alle verifiche funzionali, al controllo del sistema

Il progetto geometrico

Progettare oggi una infrastruttura stradale (o una rete di infrastrutture) significa relazionare un insieme complesso di variabili entro schemi concettuali flessibili che consentano, già nelle fasi preliminari di ideazione, la valutazione ed il confronto di soluzioni alternative (o parzialmente complementari).

Il sistema da considerare (per il progetto) e/o sul quale agire (con le strategie di controllo e per la gestione) è in genere riguardabile come a tre componenti (Sistema del Trasporto Stradale): l'uomo, il veicolo; la strada/ambiente.

Una possibile connessione funzionale tra questi sottoinsiemi è consegnata nella Fig.1.

Attualmente, in alternativa, nel Sistema del Trasporto Stradale possono riconoscersi (per proporzionare gli elementi e relazionarli in un insieme funzionalmente organizzato):
- le componenti fisiche fisse nello spazio e rappresentate dalla rete delle connessioni (ad es. tronchi di strade ed autostrade extraurbane principali, ecc.) e di nodi (ad es. intersezioni, interporti, terminali aeroportuali, ecc.);
- le entità in transito (ad es. veicoli stradali, containers, ecc.);
- il sistema dei controlli relativi a singoli veicoli (ad es. dispositivi manuali o automatici di guida) ed ai flussi nel loro complesso (ad es. apparati di segnalamento, di instradamento, impianti semaforici, ecc.).

Come già prima accennato, all'interno di queste articolazioni sistemiche, all'Ingegneria Stradale è riservato in modo esclusivo – anche se in mutua interazione con altre Discipline dell'Ingegneria – il progetto della via nei suoi aspetti geometrici (plano-altimetrici) in vista dell'attingimento di prefissati Livelli di Servizio, ovvero di assegnati

standard di efficienza e di sicurezza della circolazione.

L'approccio sistemico ai problemi geometrico-funzionali data dagli inizi degli anni Cinquanta.

Da esso seguono i criteri di proporzionamento, assortimento e coordinamento degli elementi di tracciato (curve, rettifili, curve di transito, pendenze delle livellette, geometria dei raccordi verticali, ecc.) basati sul principio del condizionamento degli utenti da parte della geometria della via, che viene così composta in ragione di alcune regole, come mistilinea, presentandosi planimetricamente con curve circolari e rettifili mutuamente raccordati da elementi a curvatura variabile.

L'idea di fondo di questo criterio è che durante l'avanzamento di un mezzo isolato il tracciato possa trasmettere con continuità al conducente una serie di informazioni (colte per il tramite di meccanismi psico-tecnici) che egli utilizza in un ciclo a retroazione di un sistema dinamico incerto per modificare di volta in volta la sua condotta di guida lungo il percorso (cfr., ad es., la Fig.2).

L'uscita di questo processo è la realizzazione finita di una funzione aleatoria rappresentata dalla velocità attuata istante per istante sui vari elementi di tracciato e che risulta compresa entro un prefissato intervallo (intervallo di velocità di progetto) che si ritiene associato alla sicurezza della marcia.

Queste idee, approfondite nei decenni a seguire gli anni Cinquanta, trovano sistemazione tra gli anni Sessanta e Set-

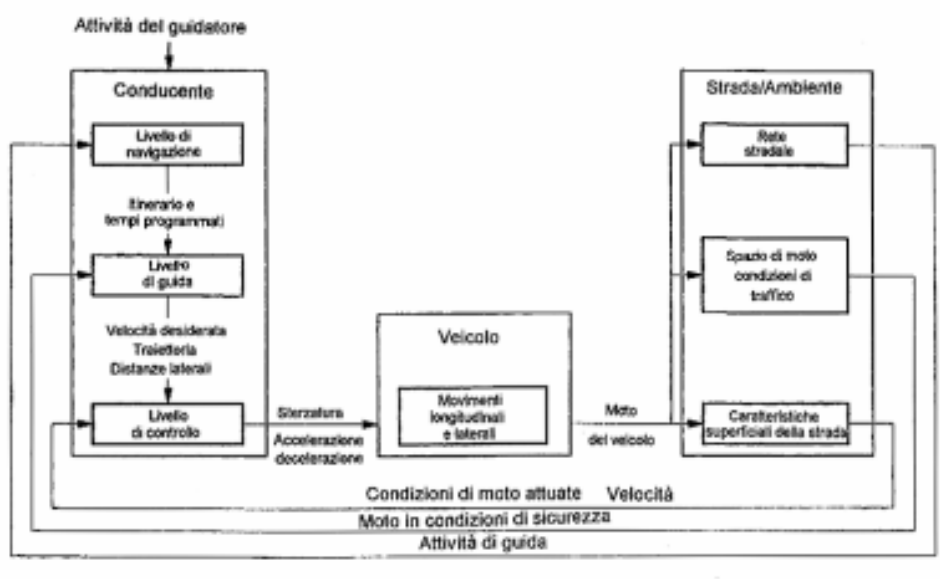


Fig. 1 – Connessione funzionale tra le componenti del Sistema del Trasporto Stradale

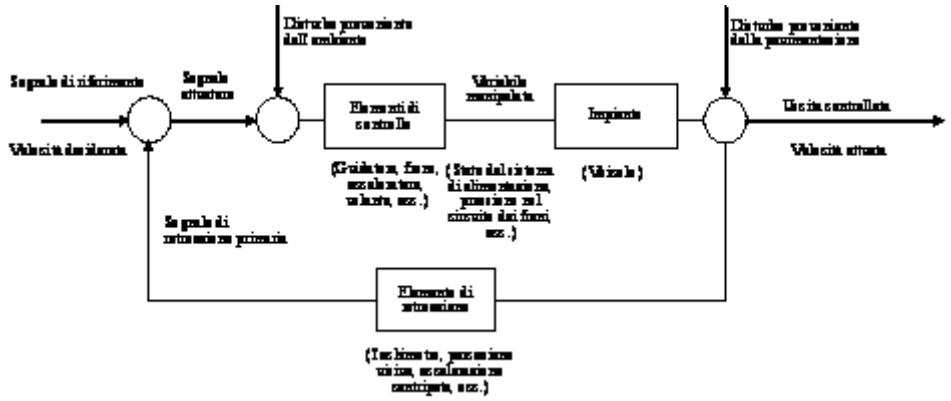


Fig. 2 – Possibile schema a retroazione della attività di guida

tanta e, opportunamente ricondotte entro schemi concettuali e procedure semplificate, posti alla base delle regole del proporzionamento geometrico dell'asse e, quindi, dei diversi regolamenti nazionali per il progetto e la costruzione delle strade.

In particolare, in Italia, in linea con questo indirizzo, vengono emanate (redatte dal C.N.R.) le "Norme sulle caratteristiche geometriche delle strade" (1973) (1980).

L'impostazione è pienamente conservata (naturalmente con gli aggiornamenti che derivano dalla evoluzione degli studi nel settore) nelle più recenti "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (gennaio 2002).

Ciò premesso, anche dalla sola osservazione degli schemi della Fig. 1 e della Fig. 2, risulta evidente la naturale variabilità delle componenti del sistema e delle relazioni tra di esse. Queste variazioni hanno di norma carattere aleatorio per cui la maggior parte dei problemi va trattata con i metodi della statistica e del calcolo delle probabilità.

Ai fini applicativi risultano rilevanti, nella difficoltà di operare nelle procedure di calcolo con complete descrizioni probabilistiche (ad es. delle caratteristiche comportamentali dell'utente e di interfaccia tra ruota e via), le semplificazioni rappresentate dal-l'adozione, a fronte di leggi di probabilità, di più opportuni valori di sintesi relativi alle stesse.

In questa direzione, i proporzionamenti che assumono come dati di ingresso il valore medio di una certa grandezza tendono, da un decennio ad oggi, ad essere sostituiti (o lo saranno sempre di più in futuro) da una progettazione per percentili opportunamente scelti.

Le verifiche funzionali

È questo l'ambito della disciplina dove si è verificata la maggiore sintesi tra acquisizioni teoriche e risultati delle osservazioni sperimentali su sistemi in esercizio. In esso si sono utilizzati e sviluppati criteri e modelli dell'Ingegneria del Traffico in una originale sintesi

a fini applicativi che consente oggi una razionale valutazione della qualità delle condizioni operative (condizioni di circolazione) per gli elementi infrastrutturali e per le reti.

Le condizioni di circolazione su di una infrastruttura dipendono da numerosi fattori relativi ai sottosistemi componenti il Sistema del Trasporto Stradale già richiamato (cfr. Fig. 1): il tipo di strada; le sue caratteristiche geometriche; il numero ed il tipo di intersezioni presenti; i parametri della circolazione (portata; velocità; densità veicolare); la composizione del traffico (autovetture; mezzi pesanti; pedoni; ecc.); il tipo di utenti (abituali e non); il tempo meteorologico; le condizioni di illuminazione (giorno; notte; strada illuminata o meno); ecc.

La caratterizzazione quantitativa delle condizioni di circolazione, tenendo conto di così tanti fattori, è apparsa da subito di grande difficoltà, se non proibitiva, ed in ogni caso assai poco pratica: le indagini sono state quindi, già sul nascere, orientate alla individuazione di un numero ridotto – da uno a tre – di grandezze particolarmente significative in grado di fornire una rappresentazione sintetica degli stati del sistema (cfr. la Fig. 3) e consentire agevoli rappresentazioni grafiche per le verifiche.

Del pari, evidentemente, è stata la impossibilità di considerare i medesimi fattori per tutte le infrastrutture – o parte di esse – in considerazione dei modi molto diversi con i quali può svolgersi la circolazione veicolare, segnatamente a flusso ininterrotto (ad es. tratti autostradali lontani dai caselli) o interrotto (ad es. gli incroci) (cfr. ancora la Fig. 3). A partire da questi presupposti e dagli anni Cinquanta sono stati sviluppati e via via perfezionati negli U.S.A. (a cura del Transportation Research Board del National Road Council) metodi e procedure di analisi specifici per la risoluzione dei problemi concreti relativi alla verifica funzionale delle infrastrutture.

Le tappe significative di questo processo sono così sintetizzabili: dagli studi iniziali sulla capacità delle strade alla base della prima edizione del 1955 del Manuale Americano della Capacità, H.C.M. (Transportation Research Board, Highway Capacity Manual) si è passati alla successiva edizione del 1965, dove si sono presentate non solo le sintesi di copiose messi di dati

Tipo di strada o incrocio	Parametro significativo
autostrada	densità
strade extraurbane a più corsie	densità
strade extraurbane a due corsie	percentuale di tempo speso per sorpassare
strade urbane	velocità media del viaggio
intersezioni semaforizzate	tempo medio di attesa
intersezioni non semaforizzate	capacità di riserva

Fig. 3 – Grandezze significative per i L.d.S.

empirici e di analisi statistiche, che hanno permesso di meglio comprendere i fenomeni di traffico, ma anche la fondamentale nozione di *Livello di Servizio (L.d.S.)*. Con Livello di Servizio si intende, da allora, "una misura qualitativa delle condizioni di circolazione e della loro percezione da parte degli utenti".

Nelle edizioni successive dell'H.C.M. (1985; 1991; 1998) si sono raccolti gli esiti di ulteriori vaste indagini sul fenomeno del deflusso veicolare, aggiornando le procedure di calcolo alla evoluzione subita negli anni dal fenomeno circolatorio su strada, legando, infine, la determinazione del Livello di Servizio a grandezze più direttamente connesse allo stato del traffico.

Venendo ad oggi, va notato che la più recente edizione del Manuale della Capacità (H.C.M. 2000) risulta particolarmente voluminosa e, per certi versi, anche eccessivamente dettagliata, in particolare nei capitoli dedicati alle intersezioni semaforizzate e non semaforizzate, tanto da richiedere, per la applicazione delle procedure di verifica, l'uso di applicativi di calcolo automatico dedicati.

La diffusione dell'H.C.M. tra i tecnici stradali è stata ed è ampissima e non vi è Paese che non vi faccia riferimento o con l'adozione totale delle procedure contemplate o – come ad es. in Svezia, in Germania e, per alcuni problemi, in Polonia – con qualche adeguamento alle realtà nazionali. Parallelamente al lavoro del T.R.B. di Washington che ha, appunto, elaborato le successive edizioni del Manuale della Capacità, ed alla attività dell'inglese Road Research Laboratory, che ha pure notevolmente contribuito con ampie sperimentazioni alla verifica delle corrispondenze tra modelli teorici e situazioni indagate, un egualmente rilevante sforzo teorico, spesso anche esso sostenuto da indagini sperimentali, ha visto impegnati numerosi studiosi di vari paesi nella individuazione di criteri più rigorosi ed efficaci sul piano quantitativo rispetto a quelli che sono a base dell'H.C.M.

Secondo questi indirizzi, negli ultimi due decenni lo studio dei L.d.S. viene tentato anche a partire dalla analisi di processi puntuali di traffico (ad es. Ferrari e coll.; Brilon e coll.); si ricorre quindi alla teoria dei processi aleatori, alle tecniche statistiche per la loro identificazione, taratura e validazione ed alla statistica multivariata (e.g. le analisi per componenti principali).

È da sottolineare, comunque, che l'H.C.M. rimane oggi per il tecnico uno strumento di insostituibile utilità – a volte l'unico per la risoluzione razionale di problemi concreti – nelle analisi relative alle condizioni operative delle infrastrutture stradali e la sua importanza non è solamente di tipo pratico, ma è anche scientifica per i risultati delle rilevanti indagini sul fenomeno circolatorio che in esso sono riportate.

Criteri alternativi a quelli esposti nell'H.C.M. sono stati sviluppati, nell'ultimo decennio, anche per lo studio delle condizioni operative delle intersezioni. Essi si basano da un lato su tecni-

che microsimulative (ad es. Tracz e coll.), dall'altro direttamente sui metodi delle Teoria dei Sistemi, con particolare riguardo all'affidabilità (ad es. Esposito, Mauro e coll.). Alla base di queste ultime impostazioni vi è la constatazione che una intersezione, quale ne sia il tipo, è riguardabile come un sistema (dinamico): con questa locuzione si intende "un oggetto o dispositivo o fenomeno la cui evoluzione nel tempo si manifesta attraverso la variazione di un certo numero di attributi misurabili"; questi ultimi sono rappresentati, nel caso di un incrocio stradale, da volumi di traffico, da lunghezza delle code, da tempi di attesa agli ingressi, da tempi di permanenza nel sistema, ecc.

Il controllo

Le prime applicazioni controllistiche in Ingegneria Stradale hanno riguardato la semaforizzazione delle intersezioni. Se si trascurano le prime applicazioni con apparecchiature rudimentali azionate a mano e destinate alla disciplina di pedoni e veicoli a trazione animale (Londra, 1868), è al 1930 che risalgono i primi impianti attuati dal traffico ed agli anni Cinquanta, nell'indirizzo ancora oggi prevalente, gli studi sistematici per il proporzionamento dei cicli.

Nella diffusione e nel perfezionamento degli impieghi del controllo stradale hanno avuto naturalmente ruolo determinante i progressi delle tecnologie informatiche e delle telecomunicazioni. Va però sottolineato che molti dei risultati più rilevanti oggi ottenuti non devono riguardarsi come pure applicazioni – più o meno complesse – della Teoria dei Sistemi e dei Controlli Automatici alle infrastrutture viarie, quanto piuttosto come il nucleo di un nuovo, specifico e promettente campo dell'Ingegneria Stradale che si contraddistingue per l'originalità degli approcci e dei problemi affrontati e risolti.

Il tema è di vastità tale da non poter essere in questa comunicazione che solo accennato.

Per un suo puntuale inquadramento anche di sviluppo cronologico si rimanda alle specifiche voci di "Concise Encyclopedia of Traffic & Transportation Systems" (Pergamon Press, Oxford, 1991), dedicate, in generale, ai sistemi, agli apparati ed ai provvedimenti sulla infrastruttura per il controllo del traffico.

Si elencano ora solo alcune aree di analisi e di applicazione delle procedure di controllo per le vie di grande capacità, aventi tutte come obiettivo finale il contenimento degli effetti della congestione (verificatasi, ad es., per domanda in eccesso, per incidenti, per avverse condizioni atmosferiche, per cantiere, ecc.) e, quindi, la utilizzazione ottima di una infrastruttura viaria (o di una rete viaria):

- regolazione dei flussi in ingresso in autostrada (ramp-metering) a partire dagli anni Sessanta in U.S.A. Tra le applicazioni europee più rilevanti si ricorda il sistema in esercizio sul Boulevard Peripherique di Parigi (anni Novanta) (Papageorgiou e coll.);

- strategie e controllo coordinato delle velocità attuate con la misura in linea delle caratteristiche dei flussi (o con informazioni all'utenza in tempo reale per il tramite di pannelli a messaggio variabile – ad es. Smulder, 1990) per la prevenzione dei fenomeni di instabilità delle correnti veicolari (ad es. Kremer e Fleischmann, 1987; Ferrari, 1991). L'instabilità è un fenomeno estremamente penalizzante per l'esercizio perchè riduce notevolmente la efficienza delle carreggiate autostradali (riduzione della capacità ed incremento del rischio di incidenti); basata su queste logiche è la procedura utilizzata, ad es., su un tratto dell'autostrada tedesca A43 tra Bochum e Recklinghausen (1992);
- controllo e previsione della evoluzione della domanda di traffico per la gestione della attivazione e della disattivazione della banchina al transito veicolare ordinario (corsia dinamica) e degli effetti di questi provvedimenti di esercizio sul sistema (Mauro e coll., 2004-2005). Si segnala in questo ambito la imminente sperimentazione di questo provvedimento di esercizio (con strategie di controllo basate su modelli e criteri avanzati di previsione ed interpretazione della evoluzione dei flussi in transito – Bonfioli; Mauro e coll., 2004-2005) sul tratto Trento - Rovereto Sud dell'Autostrada del Brennero;
- gestione, a partire dagli anni Novanta, di corsie "reversibili" o riservate a veicoli ad alta occupazione in vie di grande capacità con inversione del fenomeno di punta mattutina e serale: può risultare efficace il potenziamento della capacità, nel verso della punta, abilitando al transito una o più corsie di marcia (corsie reversibili) altrimenti sistematicamente dedicate ai flussi contrari o destinando una o più corsie ai soli veicoli ad alta occupazione (utilizzati cioè da un numero minimo di 2 o 3 occupanti) (Madrid, S.Rocci);
- procedure di reinstradamento dei flussi di congestione su elementi di rete al contorno di una autostrada (si ricordano a questo proposito le esperienze francesi dell'ultimo decennio).

Già dai pochi cenni fin qui dati risulta evidente come la messa punto di idonee strategie di controllo per le infrastrutture viarie rappresenti attualmente uno dei capitoli più importanti dell'Ingegneria Stradale, il cui sviluppo potrà condurre senza dubbio ad una modifica sostanziale delle modalità di funzionamento del Sistema del Trasporto Stradale (in particolare autostradale).

La sicurezza stradale

L'incidentalità autoveicolare è argomento complesso e di difficile riduzione modellistica: al verificarsi di un incidente concorre, infatti, di norma, un coacervo di fattori che è molto arduo discriminare separatamente.

Inoltre, un incidente rappresenta comunque, in ogni caso, un evento aleatorio raro e di fatto pressoché mai

osservabile all'interno di un pre-determinato piano di sperimen-tazione. D'altro canto, la riduzione della incidentalità richiede proprio l'individuazione, sia pur per via semplificata, delle cause che più frequentemente possono ad essa essere connesse.

È del tutto naturale, quindi, che da alcuni decenni moltissimi ricercatori abbiano affrontato il problema dando luogo ad innumerevoli studi teorici e sperimentali condotti con metodologie, tecniche ed obiettivi diversi; purtroppo, a volte questi criteri e modelli forniscono anche risultati non confrontabili o addirittura contrastanti.

Si citano, a puro esempio, studi che tendono ad individuare l'influenza di un singolo fattore, o lavori che, considerando il punto di vista delle Amministrazioni Governative, pongono l'accento sulla necessità di intervenire su tutti i fattori di rischio.

Quanto sopra accennato evidenzia l'ampiezza del problema e la difficoltà ad un suo efficace approccio razionale; qui si ritiene di dovere richiamare l'attenzione su di un rilevante filone di indagini che da un decennio è attivo nella stima della sicurezza stradale basato su avanzate tecniche statistiche di tipo Bayesiano Empirico (Hauer, Persaud et al.).

È da sottolineare, comunque, che il problema della definizione quantitativa della sicurezza stradale in vista del progetto razionale degli interventi e della valutazione della efficacia degli stessi è lontano dall'essere giunto a risultati di comprovata utilità ingegneristica.

Alcune considerazioni conclusive

Ai punti precedenti si è fornito un breve profilo dello svolgimento nel tempo di alcuni aspetti oggi salienti dell'Ingegneria Stradale, trascurandone molti altri pur rilevanti sul piano tecnico e della ricerca.

Ne emerge, anche dalla sola analisi dei pochi capitoli della Disciplina che si sono sinteticamente qui esaminati, la grande rilevanza per la società contemporanea dei problemi richiamati e la originalità dei processi di riconfigu-razione tematica in progressivo distacco dallo sviluppo delle linee tradizionali della materia.

A ciò ha contribuito la necessità, per la complessità dei temi affrontati, del posizionamento dei criteri solutivi entro un ampio insieme di relazioni e connessioni con altre discipline e settori dell'Ingegneria, attraverso un metodo di razionalizzazione del processo di analisi (e, lì dove richiesto, progettuale) che prevede come procedimento generale: la formulazione di possibili soluzioni alternative; la costruzione di un modello o di una catena di modelli matematici aventi fini descrittivi o previsionali; una procedura di validazione dei risultati ottenuti con la implementazione di procedimenti analitici e di confronto per la scelta tra le opzioni attuative.

L'approccio sistemico non è, quindi, relativo solo alla collocazione dei casi in analisi dentro schemi generali (cfr. la Fig. 1) o particolari (cfr. la Fig. 2), ma anche al processo logico ed operativo con il quale si affrontano e risolvono concretamente i problemi con i

quali la Disciplina è chiamata a confrontarsi. Il processo qui brevemente delineato e che ha condotto a questi risultati è di marcata specializzazione, per essere di netta delimitazione dei contenuti tematici e del loro campo di applicazione.

Esso è del tutto simile ad altri che hanno investito, in una netta accelerazione sulla scala dei tempi, le attività intellettuali – in particolare scientifiche e tecniche – nonché i fenomeni produttivi ed economici degli ultimi decenni contrassegnati dalla interazione con una realtà sempre più articolata e dinamicamente instabile.

La tendenza può, per molti versi, ricondursi, secondo l'estensore di questa comunicazione, alle attuali forme della divisione sociale del lavoro, nelle quali la "iperspecializzazione" ed il crescere e complessizzarsi delle conoscenze – tra le discipline e all'interno delle stesse – interagiscono in rapporti non univoci di causa e di effetto.

Essa opera anche sul terreno della configurazione e della attuazione della Ingegneria Civile con immediate e profonde conseguenze pratiche, non prive di aspetti contraddittori; è in questo contesto che l'Ingegneria Stradale mostra, per il ruolo che essa ha sempre più nelle odierne dinamiche economiche e sociali, con maggiore evidenza di altri settori dell'Ingegneria Civile medesima, la sua natura di disciplina complessa e della complessità e, quindi, di sensibile registro della attuale contingenza.

[1] T. Esposito, R. Mauro, *Lo sviluppo della tecnica stradale dall'Ottocento ad oggi*, in *Dalla scuola di applicazione alla Facoltà di Ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*, a cura di A. Buccaro e S. D'Agostino, Hevelius Edizioni, Benevento, 2003.

Anna Villanova

Alcune considerazioni sulle opere d'arte e le teorie per la spinta delle terre nelle costruzioni stradali

Il territorio italiano è caratterizzato dalla presenza di una densa rete stradale storica. Si tratta di infrastrutture di impianto consolidato che sono il risultato di sedimentazioni storiche e che vanno quindi preservate. Il mantenimento dei tracciati, ma anche dei manufatti ad essi connessi, permette di conservare e trasmettere significative testimonianze costruttive e caratteristiche peculiari del paesaggio.

L'attuale configurazione della rete infrastrutturale italiana è il frutto di un lento processo evolutivo che ha subito, soprattutto per quanto riguarda l'aspetto normativo e tecnico, un'improvvisa accelerazione nella seconda metà del 1800, in seguito all'introduzione delle prime linee ferroviarie ed alla comparsa dei primi mezzi a trazione meccanica.

Precedentemente, infatti, era raro l'individuazione e la costruzione di nuove strade in quanto gli spostamenti nella penisola italiana seguivano i percorsi tracciati durante l'impero romano il più delle volte si provvedeva a riqualificare i sedimi esistenti. Nel tracciare le nuove strade, in continuità con la tradizione passata, si privilegiava l'individuazione e la costruzione di percorsi che seguissero l'andamento del terreno, senza curarsi delle pendenze longitudinali degli itinerari, impiegando per la costruzione del solido stradale gli stessi materiali di scavo prodotti durante la costruzione dei rilevati. Questa soluzione consentiva il risparmio sia di tempo che di risorse economiche ed evitava il conferimento di nuovo materiale nel sito di costruzione.

Il trasporto sia delle persone come delle merci era affidato a carri che permettevano lo spostamento di elevati pesi ad una velocità molto ridotta che, quindi, da un lato non necessitava di tracciati con particolari caratteristiche geometriche, dall'altro non influiva sulla stabilità del fondo stradale perché non provocava su esso sforzi tangenziali rilevanti.

Nella seconda metà del 1800, in seguito all'introduzione delle prime reti ferroviarie, si inizia a prestare maggiore attenzione per le sezioni dei tracciati, per i loro raggi di curvatura, per le pendenze superabili dai mezzi. Allo stesso tempo l'introduzione, ma soprattutto la diffusione, dei mezzi a trazione meccanica impone uno studio approfondito dei solidi stradali.

L'aumento delle velocità di crociera di questi mezzi porta ad un conseguente aumento degli sforzi tangenziali sugli strati anche profondi del solido stradale con un conseguente veloce deterioramento della sede stradale. Questi mezzi causavano una notevole produ-

zione di polvere ed, in seguito, un profondo dissesto della carreggiata. Si iniziarono quindi ad effettuare i primi studi e le prime sperimentazioni per la realizzazione di solidi stradali composti da aggregati legati tra loro da sostanze come bitumi e catrami, riducendo quindi la produzione di polvere.

Per quanto attiene le tecniche costruttive sia del tracciato stradale sia delle opere d'arte ad esso connesse, in continuità con i secoli passati, nell'800 si tendeva ancora ad utilizzare tecniche costruttive della tradizione locale lungamente sperimentati, si realizzavano quindi manufatti di tipologia, dimensioni e con materiali noti e quindi sicuri dal punto di vista statico.

Si possono quindi riscontrare notevoli differenze sia nelle tipologie costruttive sia nell'impiego dei materiali in opere simili realizzate nello stesso periodo ma in località differenti della penisola, o addirittura in zone limitrofe dello stessa regione.

È in questo periodo che iniziano a diffondersi, in tutta Europa ed anche in Italia, i primi testi che illustrano le tecniche, le tecnologie e i metodi di calcolo necessari per la costruzione delle opere d'arte connesse con le infrastrutture per il trasporto. Sempre in quest'epoca vengono elaborate numerose teorie per il calcolo ed il dimensionamento delle strutture. Sono teorie che determinano le spinte delle terre, sia ricorrendo all'ausilio di tabulazione, sia grazie all'impiego di costruzioni geometriche.

Poiché, come detto in precedenza, il tessuto infrastrutturale nazionale è frutto di un lento sviluppo è indispensabile, prima di progettare un intervento sul territorio, conoscere, da un lato le teorie che sono alla base della costruzione delle opere stradali, dall'altro le caratteristiche del paesaggio e le tradizioni in modo da poter valutare l'importanza delle opere su cui ci si trova ad intervenire. È necessario infatti poter operare su questo patrimonio mantenendo immutate le relazioni tra le infrastrutture ed il paesaggio circostante di cui non solo sono parte integrante ma anche elemento caratterizzante.

In particolare è necessario comprendere in che casi e in che modo intervenire sui manufatti, se la necessità di portare a norma i manufatti sia effettivamente indispensabile o diversamente si possano preservare queste strutture come testimonianze di una cultura costruttiva del passato ormai superata ma comunque base della nostra cultura attuale. Bisogna inoltre comprendere come consolidare i manufatti in modo da preservarne integre le caratteristiche, ed allo stesso tempo non snaturarne le tipologie.

In questo tentativo di ricostruzione storica è anche interessante considerare i diversi studi realizzati per la valutazione delle spinte sui muri di sostegno. Di seguito vengono brevemente riportate le principali teorie che dalla prima metà del 1700 sono state elaborate sul problema della stabilità dei pendii.

Nel 1729 Belidor nel suo trattato "*Science des Ingenieurs*" tenta di ricondurre la teoria della spinta delle terre alla risoluzione di una macchina semplice:

il *piano inclinato*. Lo studioso sostiene che un ammasso di terra incoerente, come risulta dall'esperienza comune, tende a disporsi secondo una "scarpa": il piano BC.

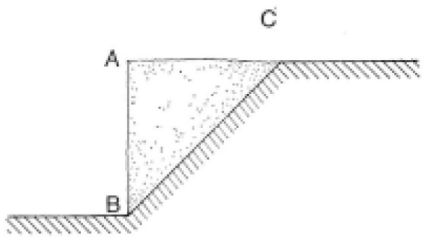


Fig. 1 - individuazione piano inclinato (E. Benvenuto)

Si può quindi pensare che ABC scorrendo su BC si comporti come un peso Q situato su di un piano inclinato.

L' obbiettivo è definire la forza P esercitata sulla parete del muro di sostegno.

È necessario scomporre la forza Q nelle sue due componenti l'una orizzontale l'altra perpendicolare alla "scarpa" la cui inclinazione corrisponde all'angolo á di *natural declivio*.

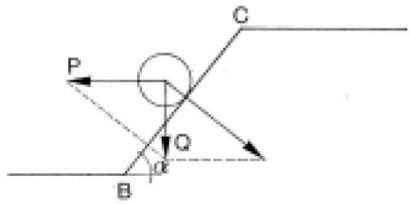


Fig. 2 - individuazione forza P (E. Benvenuto)

$$P = Qtg\alpha$$

È necessario scomporre la forza Q nelle sue due componenti l'una orizzontale l'altra perpendicolare alla "scarpa" la cui inclinazione corrisponde all'angolo á di *natural declivio*.Belidor si trova quindi ad affrontare il problema di definire l'angolo di *natural declivio* á.

Lo studioso pone á=45° in quanto sostiene :"(…) L'esperienza insegna che le terre ordinarie lasciate libere assumono da se stesse un pendio che forma coll'orizzontale un angolo di 45°. Dico che questa è una proprietà delle terre ordinarie, giacchè tutti sanno che se fossero sabbiose farebbero un angolo minore, e se al contrario fossero grasse e forti ne farebbero uno maggiore; ma per stabilire alcun che fisso, abbiam supposto una terra che tenesse un di mezzo tra queste due (…)".[1]

Ponendo á=45° nell'equazione si ottiene P=Q.

Se ã è il peso specifico della terra e h l'altezza AB, il peso del prisma ABC a profondità unitaria è pari a

$$P = \frac{1}{2}\gamma h^2$$

e corrisponde alla spinta orizzontale P.

Belidor avverte la necessità di tener conto dell'attrito, e ne valuta l'effetto con dimezzamento della spinta:

$$P = \frac{1}{4}\gamma h^2 .$$

Per determinare il dimensionamento del muro lo studioso impone che il momento ribaltante prodotto da P, valutato rispetto a D, sia minore del momento stabilizzante dovuto al peso del muro stesso.

Il momento ribaltante vale:

$$M_r = \frac{1}{12}\gamma h^3$$

mentre il momento stabilizzante:

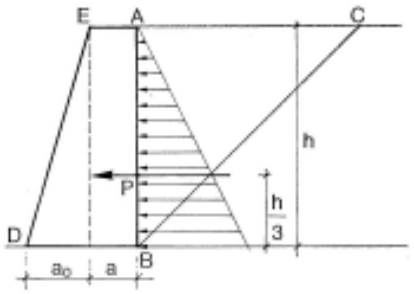


Fig. 3 - rappresentazione grafica delle componenti per la valutazione del Momento Ribaltante e del Momento Stabilizzante (E. Benvenuto)

$$M_s = \gamma^I a h\left(a_0 + \frac{1}{2}a\right) + \frac{1}{3}\gamma^I a_0^2 h$$

dove γ^I rappresenta il valore del peso specifico del muro.

Questa teoria venne accettata dalla comunità scientifica del Settecento e ribadita anche da altri studiosi.
L'architetto piemontese G.B. Borra, in un suo trattato del 1748, propone una dimostrazione per la definizione dell'angolo di *natural declivio*. Borra studia il comporta-mento di un cumulo di palle di cannone poste in modo che il primo ordine sia fisso. I rimanenti ordini permangono immobili assumendo come inclinazione un angolo di 45°.

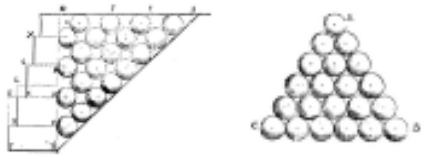


Fig. 4 - rappresentazione della teoria di G. B. Borra (E. Benvenuto)

Lo studioso estende questa caratteristica a qualsiasi cumulo di materia.In questo ambito tecnico- scientifico si inserisce l'opera di Charles Augustin De Coulomb, in particolare il suo saggio: "*Essai sur une applications des regles de maximis e minimis a quelques problemes de statique relatifs a l'Architecture*", contenuto tra i "*Memoires de Mathematique et de Physique*" presentato all'Academie Royale des Sciences nel 1773.

Nel saggio Coulomb affronta numerosi problematiche ed espone alcune sue scoperte fisico meccaniche, integrandole con verifiche e sperimentazioni.

Nei primi capitoli del saggio fa riferimento a studi che riguardano:

- La definizione delle leggi sull'attrito
- La definizione di una "*seconda dimensione*" della tensione: la TENSIONE TANGENZIALE
- La proposta di un criterio di rottura dei solidi fondato sugli effetti prodotti dalle tensioni tangenziali.

Riguardo al primo punto Coulomb introduce nelle "*Prepositions Preliminaires*" i concetti di ATTRITO e COESIONE definendone le caratteristiche: "*(...)* L'attrito e la coesione non sono affatto forze attive, come la gravità che dà sempre il suo effetto intero, ma sono soltanto delle forze coercitive; esse sono valutate per i limiti della loro resistenza *(...)*"[2].

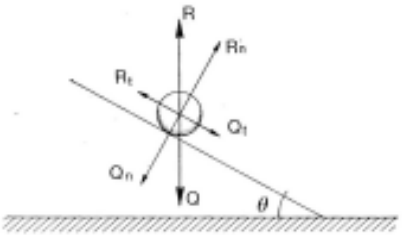


Fig. 5 - costruzione di Coulomb per la definizione della legge di attrito (E. Benvenuto)

Come noto:

$R_n = Q_n = Q\cos\theta$

$R_t = Q_t = Qsen\theta$ da cui

$R_t = R_n tg\theta$ e, imponendo

$f_s = \text{tg}\, ø_S$ (dove $ø_S$ è definito *angolo di attrito statico* $ø_S = 45°$) oltre la quale il corpo comincerebbe a scendere, il vincolo può essere espresso come:

$R_t \le R_n tg\psi_s$ oppure $R_t \le f_s R_n$ con

$R_n \ge 0$.

Resta così formulata la LEGGE DI COULOMB: nello stato di riposo, la reazione esplicata dal vincolo è orientata verso la parte consentita dal vincolo stesso e la sua componente tangenziale è una frazione propria di quella normale.

Per quanto attiene invece la TENSIONE TANGENZIALE Coulomb sviluppa le intuizioni dell'abate Bossut, il quale in un trattato aveva per primo teorizzato la diversa tipologia di rottura tra legni e pietre sollecitati in modo normale.

Si prenda in considerazione un pilastro in pietra caricato secondo la normale (vedi Fig.6). La tensione agente sulla sezione a-a perpendicolare all'asse del pilastro vale:

$$\sigma = -P/A$$

essendo A area della sezione stessa.

Si consideri una sezione a^I-a^I avente la normale n inclinata sull'orizzontale di á, la sua area

$$A_n = A/\cos\alpha\,.$$

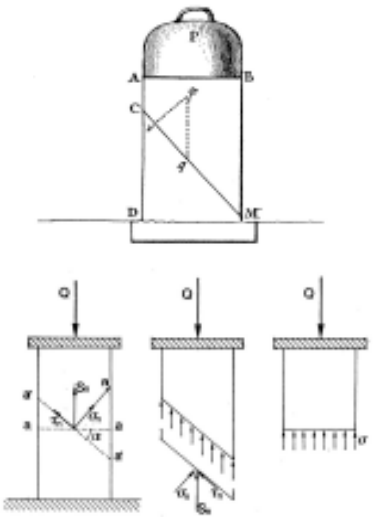


Fig. 6 - rappresentazione grafica della teoria di Coulomb per la definizione della ô (E. Benvenuto)

Su a^I-a^I agisce la tensione S_n uniformemente distribuita che è:

$$S_n = -P/A_n = -P/A\cos\alpha = \sigma\cos\alpha$$

la sua scomposizione permette di individuare $ó_n$ e $ô_n$: normale e tangente alla superficie a^I-a^I

$$\sigma_n = S_n\cos\alpha = \sigma\cos^2\alpha$$

$$\tau_n = S_n sen\alpha = \sigma sen\alpha\cos\alpha\,.$$

Secondo gli studi di Coulomb il pilastro si rompe per un'inclinazione á* per cui $ô_n$, tensione tangenziale, è massima, cioè per $sen\alpha = \cos\alpha$ dalla quale consegue che á*=45°.

Per lo studio della spinta delle terre e per il dimensionamento dei muri di sostegno Coulomb fa riferimento ai lavori di Belidor prima citati.



Fig. 7 - rottura di un provino secondo le ô (E. Benvenuto)

Per lo studio della spinta delle terre e per il dimensionamento dei muri di sostegno Coulomb fa riferimento ai lavori di Belidor prima citati.

Il principale contributo di Coulomb riguarda l'individuazione del prisma di spinta ABC ottenuto variando l'angolo á (angolo che realizza la spinta massima sul muro) tenendo conto sia dell'attrito delle terre lungo la superficie di scorrimento BC sia dell'attrito tra terra e muro sulla superficie AB.

Con riferimento alla fig. 8 la spinta Q generata dal prisma di profondità unitaria sulla superficie del muro risulta

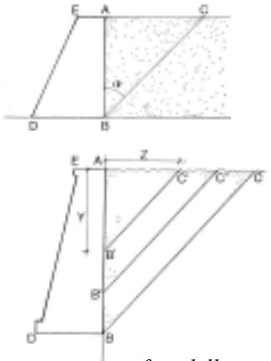


Fig. 8 - costruzione grafica della teoria di Coulomb sulla spinta della terra (E. Benvenuto)

Sullo stesso prisma opera la reazione P esercitata dal muro, la quale, se valutata senza la presenza dell'attrito, va considerata orizzontale.

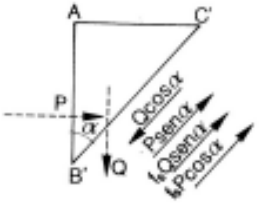


Fig. 9 - scomposizione delle forze del prisma che insiste sul muro di sostegno (E. Benvenuto)

In fig. 9 sono riportate le componenti delle forze agenti sul prisma ABC di terreno che ne favoriscono o contrastano lo scorrimento.

La somma delle forze dirette secondo CB, è equivalente alla risultante delle tensioni tangenziali, che è pari al prodotto tra la $\hat{o}_{lim}$ (tensione tangenziale nella situazione di equilibrio immediatamente precedente la rottura) e l'area della superficie di scorrimento CB:

$$Q(Y - f_s Z) - P(Z + f_s Y) - \tau_{\lim}(Y^2 + Z^2) = 0$$

Ricavando la spinta P e derivandola rispetto a Z si ottiene il valore massimo di P in corrispondenza a:

$Z^2 + 2 f_s YZ - Y^2 = 0$ da cui

$Z = -f_s Y + Y\sqrt{1 + f_s^2}$ e anche

$tg\alpha = Z/Y = -f_s + \sqrt{1 + f_s^2}$.

Da queste ultime considerazioni Coulomb desume che l'aderenza non influisce sul valore di Z e che le dimensioni del triangolo che produce la pressione massima dipendono esclusiva-

mente dall'attrito. Per quanto concerne le regole del dimensionamento dei muri di sostegno Coulomb fa riferimento a tre verifiche ancora oggi applicate alle opere di sostegno:

- Verifica al ribaltamento: M_s=1,5/2,5 M_r
- Verifica allo schiacciamento: valutazione, in funzione delle caratteristiche del terreno, della pressione esercitata dal muro sul terreno.
- Verifica allo scorrimento tra la base del muro e il terreno su cui esso è appoggiato, facendo particolare riferimento all'attrito relativo.

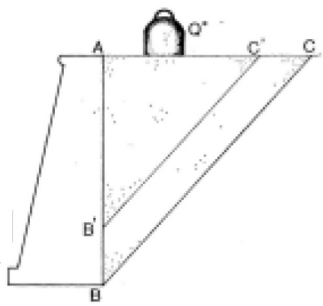


Fig. 10 - valutazione della spinta della terra con sovraccarico sul muro (E. Benvenuto)

Coulomb nelle sue sperimenta-zioni ipotizza la presenza sul terrapieno di un sovraccarico che definisce Q*. Le equazioni per calcolare la spinta P vengono modificate inserendo al posto del termine

$$Q = \tfrac{1}{2}\gamma Y Z_0$$

il termine

$$Q = \tfrac{1}{2}\gamma Y Z + Q^*$$

e con un procedimento analogo a quello precedentemente indicato si determina il valore di Z da utilizzare per calcolare le spinte.

Successivamente altri studiosi reinterpretarono le formulazioni dedotte da Coulomb, le resero più semplici ed accessibili per i tecnici permettendone una immediata applicazione.

Si deve a R. Prony (1802) una elaborazione della formula definita da Coulomb:

$$Z = Y\left(-f_s + \sqrt{1+f_s}\right)$$

Lo studioso impose $f_s = tg\psi_s$ da cui si ricava $Z = tg\alpha$

$$Z = Ytg\left(\pi/4 - \psi_s/2\right) \text{ mentre}$$

$$P = \frac{1}{2}\gamma Y^2 tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\psi_s}{2}\right) \text{ per } \tau_{\lim} = 0$$

Lo stesso studioso propose una costruzione grafica per il dimensiona-mento di un muro di sostegno con parete a monte verticale. È qui riportata una immagine che rappresenta la costruzione grafica studiata da Prony.

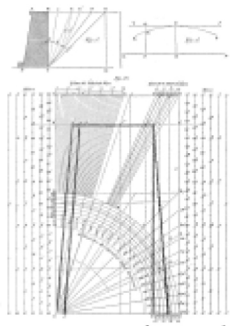


Fig. 11: costruzione grafica per la determinazione del muro di sostegno secondo Prony (E. Benvenuto)

Nel 1856 Rankine propose una teoria che, utilizzando teoremi elementari di geometria Euclidea, permette di calcolare il modulo, la direzione ed il verso della spinta del terrapieno sulla scarpa. La teoria prevede che il masso di terrapieno che agisce sul muro di sostegno abbia dimensioni illimitate, per questo motivo viene anche detta del MASSO ILLIMITATO.

Questa procedura risulta tuttora applicata nei casi in cui non si considera importante la valutazione dell'attrito tra muro e terrapieno.

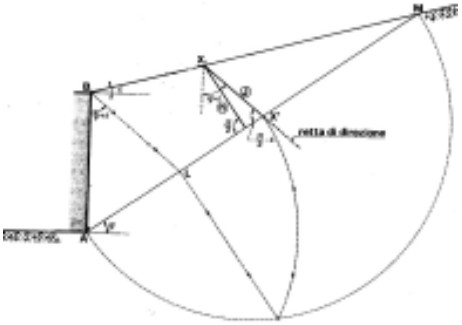


Fig. 12 - costruzione grafica per la determinazione della spinta con la teoria di Rankine (S. Di Pasquale)

Culmann, nel 1875, definì un metodo grafico per il calcolo della spinta di un terrapieno di sabbia su un muro di sostegno.

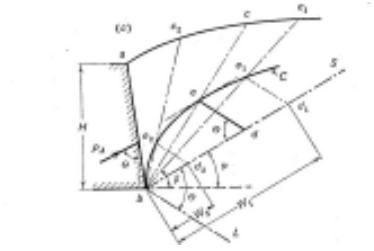


Fig. 13 - metodo grafico di Culmann per la determinazione della spinta della sabbia (K. Terzaghi)

Nel 1906 Resal propone una sua teoria del MASSO LIMITATO che parte da una geneeralizzazione della teoria di Rankine, imponendo che il terrapieno, non più considerato illimitato, sia disturbato dalla presenza della parete. La teoria grazie all'utilizzo di coefficienti caratteri-stici del terreno come la sua inclinazione naturale e la scarpa contro terra permette la valutazione della spinta mediante il ricorso ad opportune rappresentazioni grafiche per il calcolo.

Nel 1936 Caquot e Kerisel presentarono una nuova teoria che, mediante l'individuazione di un parametro P permette il calcolo della spinta del terrapieno sul muro di sostegno.

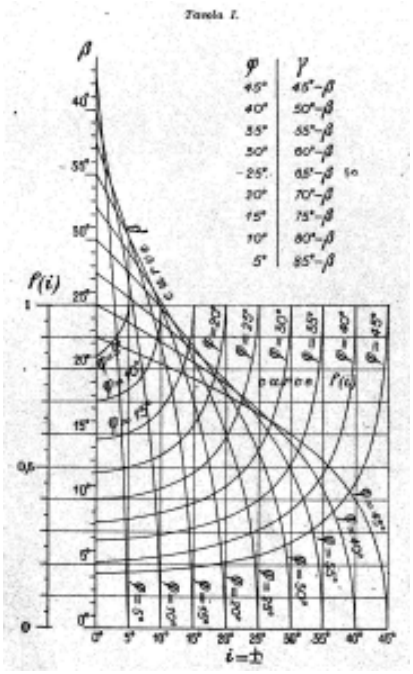


Fig. 14 - esempio di abaco per la determinazione dei coefficienti per la valutazione delle spinte mediante la teoria di Bousinnesq-Resal (F. Balatroni)

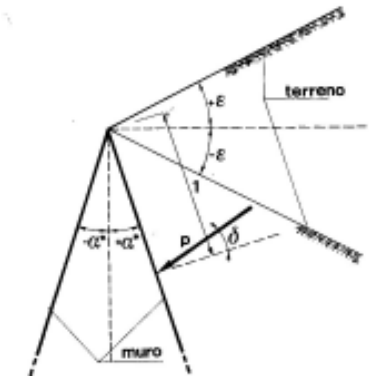


Fig. 15 - parametri nella teoria di Caqout-Kerisel (S. Di Pasquale)

P viene determinato in funzione delle caratteristiche: å inclinazione del terrapieno superiore, á* angolo della scarpa contro terra, angolo di attrito del terreno e ä angolo di attrito terra–muro.

Queste ultime teorie vengono applicate in alternativa alla teoria di Rankine quando interessa valutare anche l'attrito tra terrapieno e muro.

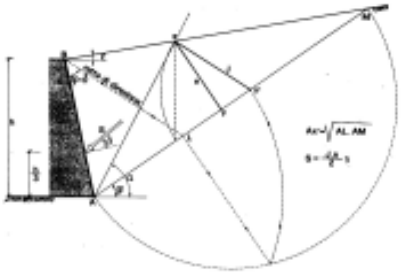


Fig. 16 - Costruzione di Poncelet per la determinazione della spinta (S. Di Pasquale)

Del tutto analoga alla costruzione geometrica di Rankine è la costruzione del generale Poncelet che tiene conto della presenza dell'attrito e dei conseguenti effetti che quest'ultimo ha sia sul valore che sulla giacitura della spinta.

Analizzando alcuni manuali storici di costruzioni stradali troviamo alcune considerazioni sulle teorie citate.

F. Balatroni nel suo testo "Lezioni di costruzioni stradali e ferroviarie" edito da Zanichelli nel 1926 descrive in modo approfondito la teoria di Bousinnesq - Resal, perché la ritiene di semplice impiego soprattutto quando ci si trova in presenza di terre incoerenti.

Lo stesso Balatroni sottolinea la facilità di impiego sia della teoria di Coulomb sia della teoria di Rankine grazie all'applicazione della costru-zione grafica di Poncelet, che permet-te, per qualsivoglia tipologia di para-mento, la determinazione del valore della spinta.

Nel suo testo "Strade e ferrovie, principi fondamentali sul progetto e sulla costruzione" edito nel 1941 il prof. ing. C.I. Azimonti espone le teorie: di Coulomb, di Rankine e di Boussinesq - Resal. L'autore valuta le diverse teorie esaminandone le caratteristiche teoriche e la loro aderenza alle condizioni reali. Le sue considerazioni, che dichiara confor-tate anche dall'analisi delle effettive esperienze costruttive, lo inducono a consigliare l'uso della teoria di Coulomb e di Resal, egli infatti considera la teoria di Rankine la meno aderente alla realtà

Nonostante queste perplessità espresse dall' ing. C.I. Azimonti nel 1941, la teoria di Rankine non appare abbandonata anzi risulta ampiamente esposta in testi più recenti quali "Geotecnica"di K. Terzaghi del 1967.

Ritornando tuttavia alle considerazioni presenti nel testo di Azimonti, è

importante l'osservazione fatta dall'autore che non sempre la pratica realizzazione delle opere di sostegno avviene con un precedente dimensionamento ottenuto mediante l'esplicita e rigorosa applicazione di una teoria. Si apre quindi un'interessante confronto tra le tecniche costruttive e i dimensionamenti basati sull'esperienza pratica dei costruttori e sulla loro conoscenza delle caratteristiche locali dei suoli e le elaborazioni teoriche di carattere generale.

[1] E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni Firenze 1981; cap 8.9: "La spinta delle terre e i muri di sostegno nella cultura tecnica del tempo", p. 306.
[2] E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico* edizioni Sansoni Firenze 1981; cap 8.7 "COULOMB E LE LEGGI DELL'ATTRITO", pag. 298.

Bibliografia

C.I. AZIMONTI, *Strade e ferrovie, principi fondamentali sul progetto e sulla costruzione*, edizioni Politecnica, Milano 1941.
F. BALATRONI, *Lezioni di costruzioni stradali e ferroviarie*, Zanichelli, Bologna 1926.
E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, Firenze 1981.
L. BORTOLOTTI, *Viabilità e sistemi infrastrutturali,* in "Storia d'Italia. Annali n°8", *Insediamenti e territorio*, a cura di CESARE DE SETA, Einaudi, Torino 1981.
T. ESPOSITO, R. MAURO, *Lo sviluppo della tecnica stradale dall'Ottocento ad Oggi*, in *Dalla scuola di applicazione alla facoltà di ingegneria. La cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire*, a cura di A. BUCCARO E S. D'AGOSTINO, Hevelius Editore, Benevento 2002.
R. MAURO, F. BETTA, *I caratteri costruttivi della viabilità storica*, in *La viabilità storica: conoscenza, tutela, conservazione*, a cura di MAURIZIO BORIANI.
R. MAURO, *Le costruzioni stradali, in Scienziati artisti. Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, a cura di ALFREDO BUCCARO E FAUSTO DE MATTIA, Electa Napoli, Napoli 2003.
S. DI PASQUALE, C. MESSINA, L. PAOLINI, B. FURIOZZI, *Costruzioni 3*, Le Monnier, Firenze 1986.
K. TERZAGHI, R.B. PECK, *Geotecnica*, a cura di V. CARBONARA, Utet, Torino 1987.

Enzo Siviero, Ilaria Zampini

L'ingegneria dei ponti in Italia nel XX secolo

Introduzione

L'ingegneria strutturale nel corso del XX secolo ha subito un processo evolutivo nel quale si sono affermate nuovi materiali e nuove tecnologie, con la progettazione e costruzione di strutture sempre più audaci ed evolute. Le nuove teorie e metodologie hanno portato a superare la concezione costruttiva tardo ottocentesca, si è aperto così un periodo senza precedenti di rapida evoluzione delle costruzioni fino ad arrivare alle moderne tecniche.

La storia dei ponti costituisce una buona chiave di lettura di questo mutamento, dimostrando il progresso della Scienza e della Tecnica. Il "ponte" rappresenta la definizione di un segno fortemente espressivo e caratterizzante del territorio e del paesaggio urbano. Più di qualsiasi altra architettura, i ponti deducono la loro espressione formale dalla tipologia strutturale. Il loro disegno e il materiale impiegato riflettono con chiarezza il livello di conoscenza della meccanica strutturale e della tecnica del costruire espresse dai progettisti del tempo.

Tra la fine dell'Ottocento e i primi anni del Novecento, in un periodo in cui il cemento armato, in Italia, non si era ancora affermato, iniziavano l'attività alcuni personaggi tra i più rappresentativi nel mondo culturale e tecnico. Professionisti che si trovarono a vivere in un epoca in cui nacquero tecniche rivoluzionarie, che schiusero nuovi ed inaspettati orizzonti all'ingegneria strutturale e parteciparono alla loro affermazione con l'impegno in ambito scientifico, didattico, progettuale. L'opera di questi personaggi evidenzia il rapporto che intercorre nell'Ingegneria strutturale tra teoria, sperimentazione e pratica progettuale. Per mezzo delle loro figure e delle loro realizzazioni si sancisce l'unione tra ingegneria e architettura dando concretezza a quella che nel tempo sarà chiamata "architettura strutturale". Guardare a queste figure che hanno fatto la nostra storia può aiutare l'ingegneria contemporanea a trovare il senso del suo essere e del suo operare, nell'appartenenza ad una grande tradizione costruttiva, la cui radice culturale non appare, ai più, sufficientemente conosciuta e valutata.

I pionieri dell'ingegneria strutturale

L'attività dei personaggi in esame si è svolta in un periodo contrassegnato da eventi storici, vicende politiche, economiche e sociali molto significative per l'Italia e per il resto del mondo. Avvenimenti di enorme portata caratterizzarono il XX secolo aprendo la strada allo sviluppo dell'età contemporanea. L'Italia subì forti cambiamenti nel campo sociale, culturale ed economico: nuovi equilibri politici e una intensa industria-

lizzazione mutarono profondamente la condizione del Paese, migliorando lo stile di vita, con il passaggio da una economia di tipo agricolo ad un sistema economico basato sull'industria. Il mondo delle costruzioni fu investito in pieno da questa corrente di cambiamento. Nel periodo in cui questi personaggi operarono si sviluppa quasi un secolo di storia italiana e con le loro opere si può seguire l'evoluzione della Tecnica delle Costruzioni e l'affermarsi di nuove tecnologie e tipologie strutturali.

Agli inizi del Novecento il nostro Paese, rispetto al resto del mondo industrializzato, si trovava in una situazione di arretratezza, legata ad un economia di tipo agricolo, a causa di alcune vicende storiche che avevano determinato un ritardo dello sviluppo italiano. Questo stato di cose perdurò a lungo, specialmente nelle regioni meridionali. Due guerre mondiali, l'autarchia del ventennio fascista, la ricostruzione, furono tutti eventi che, uniti ad un atteggiamento accademico conservatore, allontanarono il Paese dalla corsa verso l'industrializzazione che avveniva contemporaneamente negli altri paesi. Assume perciò un valore ancora maggiore l'intuito e la capacità dei primi personaggi di vedere in prospettiva percependo gli sviluppi futuri, dimostrando così di possedere un ingegno non comune.

L'Ingegneria italiana del Novecento, pur con le difficoltà conseguenti a questa situazione poco favorevole, riuscì ad inserirsi nell'evoluzione della Tecnica e in alcuni casi, a porsi all'avanguardia in ambito internazionale. L'attività di questi ingegneri è stata un tramite per il rinnovamento dell'Ingegneria strutturale: le innovazioni tecnologiche e la partecipazione al dibattito culturale internazionale, hanno determinato il progresso della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni, indirizzandola verso la modernità e colmando il divario che distanziava l'Italia da Europa e Stati Uniti. Tra la fine del '800 e l'inizio del '900, infatti si compì il passaggio da tecniche costruttive tradizionali, spesso basate su esperienza e intuito e sull'applicazione di regole prevalentemente geometriche, a nuovi metodi fondati sullo studio delle proprietà meccaniche dei materiali e del loro comportamento statico.

Tra i primi a realizzare opere innovative per concezione strutturale fu Arturo Danusso (1880-1968), direttore dell'ufficio tecnico della Società di Giovanni Antonio Porcheddu (1860-1937), rappresentante italiano del sistema Hennebique che ne diffuse il metodo in Italia negli anni tra il 1895 e il 1933 e Alessandro Peretti (1862-1919) Ingegnere Capo dell'Ufficio Tecnico del Comune a Verona e poi a Padova.
Danusso e Peretti riconobbero immediatamente le qualità del c.a., incoraggiandone e sviluppandone la conoscenza, inserendosi nella corrente evolutiva che portò i progettisti a realizzazioni audaci, dimostrando così una forte apertura mentale, interpretando il periodo di transizione, in cui esigenze di modernizzazione coesistevano con l'eredità della tradizione e si affermavano nuovi metodi costruttivi.

Il primo dopoguerra e gli interpreti del consolidamento costruttivo

La fase compresa tra le due guerre vide il definitivo affermarsi del cemento armato in Italia, favorito da alcuni personaggi del mondo scientifico e tecnico che con la loro attività contribuirono all'innovazione tecnica e scientifica, compiendo studi teorici e sperimentali e divulgando quanto si conosceva sul c.a., chiarendone caratteristiche e comportamento statico e incoraggiandone l'uso tramite l'attività didattica e la partecipazione al dibattito scientifico.

A differenza di quanto accadeva in Europa ed America, in Italia ci fu un blocco nello sviluppo delle tecnologie legate all'acciaio, usato dalla fine dell'Ottocento con buoni risultati nel campo dei ponti e dell'edilizia industriale. Negli anni successivi alla guerra, il tema della ricostruzione rapida ed economica e la scarsità di materie prime che si determinò con gli eventi bellici e l'autarchia fece spostare la convenienza economica verso le costruzioni in cemento armato, che si affermarono rispetto ad altri sistemi costruttivi, subendo un notevole progresso. Dopo il 1922 si verificò una ripresa dell'economia italiana e gli ingegneri assunsero un ruolo di primo piano nella ricostruzione, molti erano docenti e progettisti e taluni contemporaneamente lavoravano anche come imprenditori edili, industriali, consulenti e responsabili tecnici di aziende. Parte importante nella ricostruzione fu quella compiuta nella zona del bellunese da Eugenio Miozzi (1889-1979), uno dei progettisti più significativi dello scenario italiano dell'intero Novecento. Ingegnere del Genio Civile a Udine e Belluno dal 1918-20 al 1926, dal 1927 è Primo Ingegnere Capo del Genio Civile a Bolzano, dal 1928 fu Capo Compartimento AASS, Azienda Autonoma Statale della Strada (l'attuale Anas) per le province di Belluno, Bolzano e Trento. Miozzi fu tra i maggiori utilizzatori della nuova tecnica del cemento armato, che adottò per ricostruire i ponti distrutti durante la grande guerra. Dal 1930 è Ingegnere Capo del Comune a Venezia dove realizzò le più importanti infrastrutture innovative del Novecento conferendo alla città un carattere moderno, il ponte della Libertà, l'isola del Tronchetto, i ponti degli Scalzi e dell'Accademia, i ponti sul Rio Novo. I suoi brevetti e la messa a punto



Fig. 1 – A. Danusso, ponte di Calvene, Vicenza, 1907



Fig. 2 – A. Danusso, ponte Vergai, Lucca, 1932



Fig. 3 – E. Miozzi, ponte degli Scalzi, Venezia, 1932-34

di un sistema di precompressione ne fanno uno dei maggiori progettisti del tempo, contribuisce alla risoluzione dei problemi sul comportamento strutturale legati all'uso del c.a.

Tra i primi a sperimentare la pretensione delle armature, a Miozzi va riconosciuto il merito di aver messo a punto un sistema di presollecitazione precedente al brevetto di Freyssinet del 1928, la sua concezione costruttiva che anticipa la pre-compressione è significativa per sottolineare l'ingegno tecnico dei progettisti italiani.

Verso gli anni '30 si arrivò progressivamente a realizzare un nuovo tipo di strutture molto audaci per l'epoca, le realizzazioni di questo periodo sono opere che rappresentano un momento di svolta nella tecnologia del c.a. nel quale si cercava di evitare una standardizzazione delle forme e si adeguavano le conoscenze secondo i nuovi risultati sperimentali. Tra i progettisti si fece sempre più strada l'idea che, per ottenere la linea architettonica più armonica ed esteticamente valida, non si dovesse nascondere la struttura ma anzi si dovesse evidenziarne la funzione statica, conciliando eleganza con stabilità e resistenza, concetti ben chiari a Miozzi, Danusso e Krall, le cui opere testimoniano il cambiamento avvenuto nell'ideazione progettuale.



Fig. 4 – G. Krall, ponte Africa, Roma, 1947

Giulio Krall (1901-1971), grande progettista strutturale, ha molti meriti nello sviluppo concettuale della Meccanica e della Scienza delle Costruzioni per apporti innovativi, sintesi e rigore scientifico. Capo dell'ufficio tecnico della Ferrobeton dal 1935 al 1960, realizzò strutture audaci nei metodi costruttivi innovativi adottati, apportando importanti contributi all'evoluzione dei sistemi di centinatura e all'organizzazione del cantiere. Sperimentò forme esili e propose una variante del ponte ad impalcato sospeso secondo il sistema a trave Nielsen. Gli sono riconosciuti molti meriti nello sviluppo concettuale della Fisica-Matematica, della Meccanica, della Scienza delle Costruzioni e nello sviluppo di soluzioni nell'ingegneria caratterizzate da apporti innovativi, sintesi e rigore scientifico. Nell'ingegneria del secolo è l'esempio più significativo della correlazione diretta tra scienze matematiche, progettazione ed esperienza sul campo.

Il secondo dopoguerra e l'architettura strutturale del c.a. e del c.a.p.

Terminata la seconda guerra mondiale ci si trovò inoltre di fronte al problema di predisporre un sistema di pianificazione territoriale che aprisse la strada al progresso del paese verso un assetto economico e sociale moderno. L'intensa attività edilizia dovuta alla ricostruzione, con l'esigenza di ripristinare strade, infrastrutture e impianti industriali, agevolò l'evoluzione della tecnologia del c.a., che ebbe così uno sviluppo notevole a partire dagli anni '50. Si diffuse l'uso della precompressione nella prefabbricazione, che si affermò nel mondo delle costruzioni delle opere strutturali per la maggior economicità e velocità di esecuzione.

In Italia la ripresa economica determinò un clima di ottimismo tecnologico che è evidente anche nell'opera dei maggiori progettisti. I nuovi sistemi costruttivi che si stavano affermando determinarono un forte progresso nella costruzione dei ponti, per cui si raggiunsero luci sempre maggiori. La tecnica della precompressione ebbe uno sviluppo intenso, consentendo la realizzazione di opere di una audacia non possibile in precedenza. L'apporto italiano fu determinante per la varietà degli schemi strutturali e la realizzazione di opere caratterizzate dalla semplicità delle linee, con l'uso di soluzioni costruttive innovative e ingegnose.

La ricostruzione fu l'occasione per tentare di portare allo stesso livello di sviluppo il nord e il sud Italia, venne istituita la Cassa del Mezzogiorno per



Fig. 5 – A. Galli, ponte sul torrente Corace, Catanzaro, 1954-55

favorire lo sviluppo industriale ed economico del meridione con un programma di investimenti straordinari per la realizzazione di grandi opere pubbliche. Un protagonista della ricostruzione nel mezzogiorno fu Adriano Galli (1904-1956). Le opere e infrastrutture che egli realizzò, contribuendo alla crescita delle aree meridionali, sono tra le strutture in cemento armato più ricche di significato del meridione italiano per audacia e innovazione di soluzione. Innovative e d'avanguardia per l'epoca, per il carattere di modernità diventano un punto di riferimento nel progresso delle costruzioni in c.a.



Fig. 6 – C. Cestelli Guidi, viadotto S. Giuliano, autostrada del Sole, 1958-61

Carlo Cestelli Guidi (1906-1995) utilizzò le sue progettazioni per verificare e studiare il comportamento strutturale, unendo teoria, sperimentazione e progettazione in una costante operazione di mediazione tra le diverse interpretazioni possibili, mantenendo l'equilibrio tra tradizione ed innovazione, tra tecnologie tradizionali e nuove tecniche imposte dalle novità costruttive e dalla prefabbricazione. Progettò prevalentemente strutture in c.a.p. di cui fu tra i primi ad intuire le potenzialità applicative, dai primi progetti in cui utilizzò di frequente la trave Gerber o grandi archi, passò a realizzare strutture a travata continua realizzate a sbalzo con avanzamento a conci.

Negli anni '60 si concluse l'epoca della ricostruzione e si passò da un assetto territoriale rurale a uno tipicamente industriale.

La costruzione delle autostrade diede un notevole impulso ai perfezionamenti tecnici e alla risoluzione di problematiche legate alla necessità di una grande produzione in tempi limitati, grandi luci e altezze da superare, con un'evoluzione delle forme e delle tecnologie costruttive, una sempre maggiore snellezza strutturale e semplificazione delle forme.

A questo iniziale slancio creativo seguì un periodo in cui prevalsero interessi di tipo economico che portarono una standardizzazione tipologica, alla serialità delle tipologie delle costruzioni e allo scadimento generale della qualità delle stesse e la trave appoggiata diventò la tipologia più diffusa.

La grande fiducia nelle possibilità della Tecnica delle costruzioni è stata una caratteristica del periodo, alla quale però non corrispose una produzione edilizia adeguata alla cultura architettonica, la conseguenza fu il decadere della qualità. Solo pochi grandi Ingegneri si staccarono da questa mentalità, imposta spesso dalla committenza, successivamente, la logica funzionalistica ha lasciato il posto ad un diverso approccio alla ricerca di una maggiore durabilità ed espressività architettonica. Si andavano affermando nuovi modi di intendere la progettazione strutturale per cui l'Ingegneria strutturale si integrava con l'architettura, con una maggiore ricerca di realismo costruttivo in cui la forma esprimeva il comportamento statico.

A partire dagli anni '60 grazie agli sviluppi tecnici avvenuti si diffuse una corrente innovativa che ha determinato l'evoluzione di teorie, tecniche e materiali, con un diverso approccio alla progettazione che andava oltre la trave semplicemente appoggiata.

Uno dei protagonisti dell'affermarsi dell'Ingegneria moderna e dell'evoluzione della tecnologia del cemento armato, di cui sperimentò le potenzialità, contribuendo all'elaborazione della cultura del materiale e all'evoluzione della tecnologia del c.a.p. è stato Riccardo Morandi (1902-1989). Tecnico di grande capacità intuitiva e grande aspirazione alla coerenza, in Morandi intuizione e formulazione teorica erano strettamente correlate alla realizzazione pratica. Le sue prime realizzazioni erano ponti ad

arco tipo Maillart, dai ponti ad arco degli anni '50 passò ai ponti strallati contribuendo al loro affermarsi, con un continuo impegno alla diversa interpretazione dei temi strutturali.

Mario Paolo Petrangeli (1938) è stato allievo di Morandi, con cui ha collaborato ad alcuni dei suoi più importanti progetti, assimilandone l'impostazione progettuale e condividendo alcune sue scelte formali e l'attenzione per la definizione degli aspetti costruttivi. L'opera di Morandi è stata per Petrangeli un punto di riferimento primario nella determinazione della sua filosofia professionale, indirizzandolo verso le strutture strallate di cui è diventato in seguito uno dei maggiori costruttori al mondo. Realizza strutture a travata e strallate in Italia e all'estero, caratterizzate da linee essenziali che si inseriscono nel paesaggio con naturalezza, il materiale utilizzato è il cemento armato precompresso. Petrangeli affronta il tema del ponte come elemento di riqualificazione ambientale, memore degli insegnamenti morandiani, e ne esalta i valori sia di grande segno architettonico che di riconnessione di specifiche aree urbane ed extraurbane.

Silvano Zorzi (1921-1994) è il progettista che ha raggiunto i risultati di qualità ed elaborazione tecnica più elevati, conseguendo alti livelli di espressività che ne fanno uno dei maggiori progettisti strutturali italiani. La sua opera è connotata dall'evoluzione dei procedimenti costruttivi e dell'immagine del ponte attraverso il progresso della tecnica della precompressione, che da



Fig. 7 – R. Morandi, ponte sulla Fiumarella, Catanzaro, 1958



Fig. 8 – M.P. Petrangeli, viadotto Labaro, Roma, 1985-90



Fig. 9 – S. Zorzi, viadotto Bisagno, Genova, 1966-67



Fig.10 – F. Martinez y Cabrera, ponte sul Rio Canale, Oristano, 1988

semplice mezzo strutturale si trasforma in strumento di espressione architettonica.

Uno dei protagonisti dell'evoluzione delle tecniche costruttive e della diffusione della prefabbricazione è stato Francesco Martinez y Cabrera (1929-2000), che condusse ricerche scientifiche e sperimentali finalizzate allo studio sulle diverse tipologie strutturali. La sua filosofia progettuale si basava sul predominio dei concetti di durabilità e di armonia e sull'attenzione costante per la relazione tra forma strutturale, materiali e tecnica costruttiva in tutte le fasi progettuali. Sperimenta le nuove tecniche costruttive del precompresso e della prefabbricazione e strutture miste, prediligendo il ponte strallato e quello a travata continua o appoggiata in c.a.p.

Bibliografia

Aa.Vv., Rassegna: *The World of Bridges*, Editrice Compositori, Bologna, 2003

AITEC, *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1962/66,* 1966

AITEC, *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1966/70,* 1970

AITEC, *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso 1970/74,* 1974

G. Albenga, *I ponti – La pratica,* UTET, Torino, 1953

E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, Firenze, 1981

S. Casucci, S. Lincetto, *Silvano Zorzi e i suoi ponti*, Biblioteca di Galileo, Padova, 1995

V. Farinati, *Eugenio Miozzi, 1889-1979*. Inventario analitico dell'archivio, Venezia, Istituto Universitario di Architettura di Venezia (IUAV), Archivio Progetti, 1997

V. Lodigiani, *Sperimentazione e cantiere, R. Morandi*, ed. Gangemi, Roma, 1991

E. Siviero, *Il tema del ponte*, catalogo della mostra, Editrice Compositori, Bologna, 2000

E. Siviero, I. Zampini, *I protagonisti dell'ingegneria strutturale italiana del Novecento*, in V. Kucera,
Architettura nelle opere di ingegneria, Sapere 2000, Roma, 2003

I. Zampini, *I protagonisti dell'Ingegneria strutturale nell'Italia del '900*, Tesi di Laurea, 2001-02

Carla M. Kovsca Colani

L'International Center of Earthquake Engineering: una tappa importante dell'Ingegneria Strutturale italiana (1967-1969)

Introduzione

Nel XX secolo l'approccio teorico-sperimentale al problema sismico trovò nuovi approfondimenti e valide soluzioni attraverso il contributo di Arturo Danusso, Guido Oberti ed Enzo Lauletta.

L'accostamento di queste tre figure, di diverso peso e rilevanza nell'ambito della disciplina di Scienza delle Costruzioni, a cui dedicarono con passione le rispettive carriere accademiche e professionali, non deve sembrare forzato. La loro preparazione umana e professionale, seppe tradursi in una continua e coerente interazione tra docente e allievo, tra dirigente e consulente, dimostrando che la collaborazione intellettuale e scientifica, è un presupposto indispensabile per il perfezionamento di ogni attività culturale e tecnologica in grado di migliorare la vita di tutti.

Questo filo conduttore ha sostenuto la ricerca svoltasi due anni or sono presso l'Archivio storico dell'Ismes, rivolta ad approfondire alcune delle più importanti esperienze di ricerca tecnico scientifica sviluppatesi in Italia nel recente passato. Grazie alle tracce superstiti delle esperienze d'avanguardia che si realizzarono in questo istituto, ho potuto delineare in modo soddisfacente il livello di perfezionamento che si realizzò nel corso di due decenni 1954-1974, nel risolvere i complessi problemi di ingegneria strutturale, come ad esempio il calcolo del coefficiente di sicurezza di una grande struttura per es. una diga o un ponte, e nel sottoporre interi sistemi di produzione e distribuzione di energia, a prove sperimentali ad oltranza che garantissero la salvaguardia degli stessi anche in zone ad alto rischio sismico.

L'attività di professore e di ingegnere che Arturo Danusso realizzò dai primi anni dal Novecento prima nel Laboratorio Sperimentale del Politecnico di Milano affidato alla direzione di Guido Oberti fin dal 1938, la tenace direzione tecnico scientifica dello stesso Oberti, che seppe far conoscere l'Ismes a livello internazionale e l'intuito geniale di Enzo Lauletta, giovane collaboratore di Oberti, dopo essere stato allievo di Danusso, costituiscono uno tessuto di relazioni e di realizzazioni difficilmente separabili.

Breve retrospettiva storica

Negli anni Cinquanta all'interno della sperimentazione dinamica su modelli di grandi strutture, uno degli aspetti ancora approssimativi delle conoscenze di ingegneria strutturale riguardava l'approccio alla sismologia. Questo settore teorico sperimentale era già stato indagato dal professor Arturo Danusso,

che in seguito al terremoto catastrofico di Messina del 1908 aveva cercato, da un lato di trovare una nuova impo-stazione teoretica del problema sismico, e dall'altro di fornire concrete indicazioni costruttive per soddisfare i requisiti di sicurezza nell'edificare nuove unità abitative in territori ad alto rischio.

Già nel 1909 il suo contributo al *Concorso Internazionale di idee e progetti per l'edilizia antisismica*, patrocinato dal Collegio degli Ingegneri e Architetti di Milano, conseguì la vittoria su ben 237 concorrenti. In quel contesto aveva definito l'ingegneria sismica come *scienza essenzialmente moderna* e gli effetti dei sismi, analizzabili matematicamente, e fisicamente come *problema essenzialmente dinamico*.

"*Era riuscito a dimostrare per la prima volta come essa potesse essere studiata con i metodi della Meccanica applicata; e aveva combattuto i due concetti estremi di rigidità e di flessibilità di un fabbricato, cercando di dare validità scientifica al fine pratico di proporre un prototipo di ossatura resistente, semplice ed economica*"[1]. Durante gli anni trenta gli accademici Gustavo Colonnetti e Arturo Danusso erano giunti entrambi ad importanti definizioni sulle deformazioni plastiche: considerate non un'eventualità che rimaneva fuori dal calcolo, ma come qualità positiva e preziosa per l'integrità della struttura stessa.

Tuttavia fino a quando non si sottoposero a verifica su modello le grandi costruzioni, come ponti sospesi, grattacieli, viadotti e dighe, le acquisizioni teoriche, che si andavano perfezionando, mancavano di un adeguato riscontro fisico sperimentale, che confermasse o meno le ipotesi di miglioramento nella salvaguardia delle strutture.

Il più brillante sostenitore della modellazione fisica come garanzia della sicurezza e verifica dei calcoli matematici, che allora non disponevano di supporti elettronici adeguati, fu il prof. Guido Oberti[3], che negli Atti del Collegio degli Ingegneri di Milano del 1946, con la sua proverbiale lucidità espositiva dichiarava: "*Una ricerca sperimentale non è mai fine a se stessa e sono anzi l'analisi acuta e la critica obiettiva dei risultati conseguiti che costituiscono la parte più utile e feconda per lo sviluppo futuro della scienza delle costruzioni*".

Dieci anni più tardi nella conferenza tenuta presso la Società Ingegneri e Architetti di Torino il 27 febbraio 1956, espose sinteticamente gli importanti risultati ottenuti dalla sperimentazione su modelli, statici e dinamici, da cinque anni avviata presso i laboratori dell'ISMES di Bergamo. Anche in questa circostanza mise in luce quali fossero i vantaggi dell'analisi fisica sperimentale per costruire grandi strutture con il supporto dalla modellazione.

"[…] *avvicinare i modelli prototipo delle strutture alla realtà naturale dei materiali e delle forme di volta in volta analizzate, allontanando i rischi di schematizzazioni preconcette: si tratta di introdurre nel modello materiali, vincoli, giunzioni e modalità esecutive che in genere, mentre abbandonano la pos-*



Fig. 1 - Guido Oberti illustra ad un committente il lavoro svolto pressi l'Ismes 1959

sibilità di un commento analitico, forniscono in compenso una visione del problema assai realistica e perciò stesso più aderente alle vere finalità pratiche della prova sperimentale"[2].

I buoni presupposti teoretici, sviluppatesi durante la prima metà del Novecento, non erano tuttavia ancora sufficienti per affrontare ed analizzare in modo più approfondito il problema sismico, cosicché, lungo tutto il decennio 1950-1960, i dipartimenti di Scienza delle Costruzioni sia di Milano che di Torino, continuarono ad analizzare il problema della sicurezza strutturale nel campo dell'ingegneria civile come problema statico; rimandando, di fatto, la soluzione del problema sismico ad un futuro non meglio definito.

Possiamo ricordare la seduta del Consiglio d'Amministrazione dell'Istituto Sperimentale Modelli e Strutture del 31 ottobre 1955, per esemplificare il livello di trattazione del problema alla metà degli anni Cinquanta. Verso la fine della seduta viene affrontato il problema del riconoscimento presso altre nazioni, dell'operato dell'ISMES. Il Presidente Danusso in particolare riferisce le valutazioni espresse nelle relazioni presentate al Congresso sui Modelli tenutosi a Venezia nello stesso anno.

Da esse si evince che i risultati sperimentali ottenuti mediante l'uso dei modelli erano di gran lunga superiore a quelli ottenuti, per esempio, negli Stati Uniti mediante modelli "giocattolo". Nonostante le resistenze di carattere economico che si opponevano al diffondersi di queste indagini sperimentali, Danusso si diceva ottimista per il futuro.

In questo promettente contesto si inserisce la figura dell'ing. Enzo Lauletta che sarebbe diventato nel decennio successivo un referente importante nella soluzione del problema sismico attraverso prove dinamiche su strutture. La possibilità di sottoporre a verifica le strutture con metodologie sempre più sofisticate, rese possibile una raccolta di dati rilevante sia qualitativamente che quantitativamente, tale da supportare una nuova teoria sismologica.

Questo spiega anche perché molte opere di notevoli dimensioni furono studiate in Italia, presso l'ISMES di Bergamo, invece che in sito. Le garanzie offerte all'epoca da queste prove erano, infatti, molto soddisfacenti e il loro costo costituiva un buon investimento in termini di sicurezza e affidabilità del manufatto. Un altro precedente importante era costituito dalla stretta collaborazione tra ISMES e il Consiglio Nazionale delle Ricerche. Sempre Arturo Danusso riferiva, nello stesso Consiglio d'Amministrazione già citato, che il pre-



Fig. 2 - Modello del ponte sul Bosforo. Laboratorio Ismes 1967

sidente del CNR, Colonnetti, era interessato a coinvolgere i tecnici dell'ISMES nel coordinamento della ricerca scientifica sulla plasticità delle strutture. Evidentemente questi argomenti costituivano in assoluto ancora una novità continua, almeno nel panorama accademico italiano.

All'estero era iniziato un percorso di approfondimento teorico negli incontri della World Conference on Earthquake Engineering (WCEE); il primo dei quali si svolse preso l'Università di Berkeley in California nel 1956. Oberti e Lauletta, offrirono il loro contributo teorico sperimentale nel paper presentato alla seconda Conferenza Internazionale di Ingegneria Sismica tenutasi a Tokyo nel 1960, come ben illustrato da Mario Casirati nel suo saggio: *L'ing. Lauletta e le prove sperimentali in campo dinamico*.

Iniziative italiane ed europee nell'ambito dell'ingegneria sismica negli anni 1960-1970

La possibilità di avviare dall'Italia un confronto internazionale su queste tematiche troverà realizzazione durante gli anni Sessanta.

Nel testo ricerca *Profilo biografico scientifico dell'ing. Vincenzo Lauletta (1927-1971)*, ho dedicato un intero capitolo alla ricostruzione di questo processo di rinnovamento teoretico e sperimentale nel quale furono protagonisti di rilievo il Politecnico di Milano, l'Ismes di Bergamo, supportati dal CNR e dall'UNESCO. I documenti comprovanti l'iter di preparazione e di svolgimento del primo corso di Ingegneria Sismica in Italia, non sono stati raccolti e conservati né presso il Politecnico né presso l'Ismes.

La ricomposizione dello scenario accademico e culturale è stata possibile grazie alla collaborazione del prof. Giuseppe Grandori e dalla testimonianza dell'ing. Aldo Castoldi, collaboratore di Enzo Lauletta dal 1964. Il ritrovamento presso una sezione della Biblioteca Tecnica dell'Ismes dei tredici libri scaturiti dal corso fornisce il riferimento bibliografico necessario a chi voglia approfondire e studiare l'argomento.

La consultazione dei Verbali dei Consigli di Facoltà del Politecnico di Milano degli anni 1963-1969, ha consentito di stabilire le modalità di attuazione del corso accademico specifico riguardante la sismica, all'interno della cattedra di Scienza delle Costruzioni (ora DIS Dipartimento di Ingegneria Strutturale) nel 1966.

La consultazione dei Verbali del Consiglio d'Amministrazione dell'ISMES e dei Verbali del Direttivo Tecnico della stessa società, ha reso possibile la

rilettura degli avvenimenti più importanti succedutesi tra il 1963 e il 1971, per provare il ruolo organizzativo e di supporto tecnologico che si era sviluppato a Bergamo, grazie all'impegno costante di Guido Oberti ed Enzo Lauletta.

Come risulta evidente non sempre è possibile svolgere una ricerca storico scientifica su esperienze relativamente recenti con buoni presupposti documentali. Questo ci deve spronare a mantenere viva la memoria dei passaggi epocali di cui siamo stati testimoni e salvaguardare il patrimonio conoscitivo tecnico scientifico di cui siamo portatori verso l'intera comunità umana e sociale.

Nella conversazione svolta con Giuseppe Grandori il 5 novembre 2003 presso il Politecnico di Milano, ho raccolto le informazioni più salienti relative agli studi teorici che furono promossi dal 1963 dal prof. Pietro Locatelli, già allievo di Arturo Danusso.

Locatelli faceva parte della Commissione Ministeriale istituita per studiare i fenomeni sismici e le possibili soluzioni per evitare che terremoti catastrofici potessero danneggiare irrimediabilmente persone e patrimoni materiali (costruzioni civili pubbliche, private, e monumenti artistici ed architettonici importanti per tutto il mondo).

Grandori fu sollecitato viaggiare per avere contatti con gli esperti di sismica che si erano formati in quegli anni soprattutto negli Stati Uniti, Cile, Venezuela, Giappone, Spagna, Portogallo, a creare un nuovo corso universitario che gettassero le basi teoriche a questa scienza ancora oscura, per formare ingegneri capaci di risolvere i problemi delle costruzioni semplici e complesse in aree a rischio di terremoti e perfezionare le acquisizioni sulla predizione sismica e sul monitoraggio strutturale.

Nel 1965 il presidente del CNR Vincenzo Caglioti convocò a Roma sia Locatelli che Grandori e sottopose loro il progetto di coordinare il progetto di tenere un corso annuale di Ingegneria Sismica come specializzazione post-laurea. L'UNESCO, presieduto da Fournier D'Albe, era propenso a fornire adeguati finanziamenti per far progredire a livello conoscitivo e tecnico l'area Mediterranea dell'Europa ancora in fase di decollo economico e sociale, area peraltro particolarmente esposta al rischio sismico.

Ricorda Giuseppe Grandori: "*Così é iniziata una collaborazione strettissima con l'ISMES, che era allora una grosso laboratorio in espansione* .

Una delle esperienze più importanti fu con Lauletta il viaggio in Nuova Zelanda del 1965 alla terza Conferenza Mondiale di ingegneria sismica; per noi italiani erano i primi vagiti mentre l'International Association on Earthquake Engineering, si era già costituita da 10 anni nel 1956 in California.

Da allora, però, il contributo della comunità scientifica italiana risultò tanto evidente ed importante da attribuirmi il ruolo di organizzatore della quinta conferenza internazionale a Roma nel 1973.

Un impegnativo lavoro conclusosi in modo lusinghiero".

La riunione conclusiva dell'anno 1966 del Consiglio di Amministrazione dell'Ismes si tenne presso la sede

dell'ENEL di Roma il 22 novembre.

In questa occasione il prof. Oberti diede notizia ufficiale della collaborazione con il CNR per l'avvio del primo corso Internazionale di Ingegneria Sismica. Presto si sarebbero conosciuti i nomi degli ingegneri che avrebbero partecipato al corso.

Il prof. Nervi, presidente dell'Istituto espresse, oltre al compiacimento del felice esito raggiunto, la speranza che in questo contesto, avrebbero potuto scaturire i necessari aggiornamenti del regolamento antisismico vigente, da lui espressamente sollecitati da tempo.

Dal gennaio a luglio 1967 si tenne nelle due sedi di Milano e Bergamo il Primo Corso Internazionale post-laurea in Ingegneria Sismica.

Ricordiamo qui il primo gruppo di ingegneri che parteciparono con soddisfazione all'evento.

O. Fischer (Czechoslovakia)
E. Lozano (Columbia)
P. Adomua (Ghana)
K .S. M. Madugula (India)
R. Ramasco (Italy)
M. Shafiulam (Pakistan)
A. Zaalouk (U. A. R.
M. A. Wittig (Guatemala)
M. Freda (Italy)
T. Sugano (Japan)
Ü. Ungan (Turkey)
D. Dimitrijevic (Yugoslavia)

Con crescenti difficoltà sotto il profilo finanziario, ma con motivazioni scientifiche e istituzionali sempre maggiori, i corsi dell'ICEE si protrassero lungo i due anni seguenti fino al 1969.

Sul finire degli anni Sessanta, infatti, il quadro di riferimento istituzionale cambia radicalmente; i vertici del CNR non ritengono così importante proseguire dei finanziamenti sempre più consistenti in questo settore e l'UNESCO da parte sua individua altri paesi nell'area mediterranea a cui devolvere risorse per lo sviluppo.

Non ci troviamo tuttavia all'epilogo di questa esperienza, poiché grazie ad essa prese l'avvio a livello degli Atenei di Ingegneria un nuovo e consistente lavoro di approfondimento che, troverà pochi anni dopo espressione nelle nuove norme di legge[4].

La comunità scientifica italiana continuò a lavorare alacremente, pur in una fase più silente a livello istituzionale, sulle tematiche della sicurezza e dello sviluppo energetico. Lo stesso fervore caratterizzò l'impegno quotidiano del settore dinamico dell'Ismes che si giovò anche in questo periodo della preziosa ed esperta direzione di Lauletta; egli infatti negli ultimi due anni di attività all'ISMES riuscì ad organizzare una settantina di prove, di cui diverse in collaborazione con la direzione ENEL di Roma sul problema sismico.

L'esperienza dell'ICEE aveva compiuto una trasformazione profonda nell'ambito accademico, il ruolo leader in Europa in questo settore spetta ancor oggi all'Italia, con i pazienti risultati ottenuti in università sul fronte della teoria e in campo sperimentale sul fronte dalla verifica.

Si era realizzata anche in questo segmento del cammino della ricerca quel mutamento interiore impregnato di in-

tuizione, tensione, guizzo geniale, sostenuto dal vaglio logico razionale, riflessivo e prudente che il prof. Danusso aveva ben indagato nei suoi scritti della maturità, contemporanei all'inizio della nascita dell'ISMES:

L'idea viene attuata, il primo tentativo si compie. L'orizzonte del problema si allarga, appare la necessità di perfezionare l'impostazione; il processo di ricerca si acuisce, si approfondisce. Nuove idee, nuovi bagliori si annunciano: il secondo, il terzo tentativo vanno attuandosi. L'oggetto di tutte queste cure si trasforma e si plasma in forme sempre più armoniche […]. *Altri ricercatori intanto si fanno avanti, ansiosi di associarsi a questa creazione. Nuovi contributi, nuovi perfezionamenti; ma, ad onta della varietà delle menti che collaborano, ecco che la serie di tentativi va convergendo visibilmente verso u limite che non si tocca, ma che si continua a sfiorare* (A. Danusso, *Il problema spirituale nel processo formativo della tecnica*. In: *L'ingegnere*, n. 4, 1951).

[1] L'approfondimento di questi passaggi storici e conoscitivi è stato possibile grazie alla consultazione della tesi laurea di Giorgia Favaretti: *Arturo Danusso tra scienza e tecnica*. Istituto Universitario di Architettura di Venezia. Dipartimento di Scienza delle Costruzioni in Architettura. Relatore prof. Enzo Siviero. Anno Accademico 1999-2000; in particolare il terzo capitolo: La dinamica delle costruzioni. Origini dell'ingegneria antisismica p. 29-37; il capitolo: Formulazione teorica, pp. 42-48; oltre al commento del testo di Danusso: La statica delle costruzioni antisismiche, del 1909 alle pagine 58-62, della stessa dissertazione.

[2] C.M. Kovsca Colani, *Ricordando Guido Oberti*, in *Galileo* A. XVII, n. 167, dicembre 2004-gennaio 2005, e in *Ingegneri Bergamo*, a. XXVII, n. 176, gennaio-febbraio 2005.

[3] *Guido Oberti e l'indagine sperimentale di Clara Zerio*. Tesi di laurea presso l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia. Dipartimento di Scienza delle Costruzioni in Architettura. Relatore prof. Enzo Siviero. Anno Accademico 1999-2000.

[4] *Norme applicative di riferimento per costruzioni in zona sismica*: L. 1086/1971; e L. 64/1974. Recenti adeguamenti legislativi in materia sismica sono: il Dlgs n. 112/1998; i*l nuovo Eurocodice 8-ENI1998*; il DPR 380/2001. Per analizzare gli sviluppi normativi e predisporre adeguati riferimenti costruttivi si potrà accedere a breve ala pubblicazione degli Atti del Corso di aggiornamento professionale dott. ing. Giulio Pandini: L'Ingegneria e la sicurezza sismica, patrocinato dall'Ordine degli Ingegneri di Bergamo con il contributo del Politecnico di Milano e dell'Università degli Studi di Bergamo, 7-28 novembre 2003.

Bibliografia relativa alla produzione scientifica del Centro Internazionale di Ingegneria Sismica "Arturo Danusso"

J. FERRY BORGES, *Seismic design of reinforced concrete buildings*, 1967

G. PROUSE, *Elements of mathematics and numerical calculus*, 1967

O. VECCHIA, *Elements of seismology*, 1967

G. GRANDORI, *Theory of Earthquake Engineering*, 1967

A. CASTIGLIONI, *Elements of structural dynamics*, 1967

A.CASTELLANI, *Elements of calculus of probabilities and their applications to the analysis of structural safety*, 1968

N.N. AMBRASEYS, *Earthquake resistant design of foundations and earth dams*, 1968

N.N. NIELSEN, *Dynamic tests of full scale structures*, 1968

E. FACCIOLI, *Introduction to theoretical seismology part one*, 1969

J. FERRY BORGES,E.A. RAVARA, *International Course in Earthquake Engineering*, 1969

G. GATTI, *Elements of soil mechanics*, 1969

M. FANELLI, A finite element procedure for stress analysis of plates, 1969

C. MORELLI, *Introduction to theoretical seismology*.

ICEE Politecnico di Milano/ ISMES- Bergamo/ Osservatorio Geofisico Sperimentale- Trieste, 1969.

Chiara Calderini, Sergio Lagomarsino

L'ingegneria e le costruzioni storiche in Italia
Parte I. Sicurezza e progetto degli interventi di consolidamento

Introduzione

L'ingresso dell'ingegneria nel campo della conservazione delle costruzioni storiche avvenne alla fine del secolo XIX. Le ragioni furono molteplici.

L'affermazione, alla fine del secolo XVIII, del principio di conservazione dei monumenti, aveva prodotto un incolmabile distacco critico dal passato. La cosciente distinzione tra opera architettonica ed intervento conservativo produsse una frattura con la pratica costruttiva tradizionale, per la quale i materiali, gli strumenti e la preparazione culturale di chi "restaurava" un'opera non erano dissimili da quelli che ne avevano determinato la costruzione.

La spinta della cultura positivista impose a tutte discipline del sapere un approccio scientifico. Nel campo del restauro questo si tradusse, in un primo tempo, nella ricerca del rigore filologico espresso da Camillo Boito, ed, in un secondo tempo, nel principio della pura conservazione espresso dal restauro "scientifico" del suo più diretto discepolo, Gustavo Giovannoni. Il principio che sottostava a questa interpretazione era il considerare il "monumento" essenzialmente come un "documento", oggetto quindi di interventi puramente tecnico-conservativi e, in qualche misura, privi di implicazioni critiche e soggettive.

La progressiva separazione tra "struttura" e "forma" architettonica determinatasi in seguito all'evoluzione delle nuove tecniche costruttive, portò ad una sempre più accentuata distinzione tra gli aspetti tecnico-funzionali e quelli artistici e figurativi delle costruzioni[1]. In ragione di questa separazione, l'approccio critico e i metodi applicati alle *strutture* o alla *pelle* dell'edificio potevano essere diversi[2].

Teoria e ideologia del restauro fornirono le basi per l'affermarsi del *consolidamento* come disciplina autonoma.

Sul fronte della cultura tecnica, la rivoluzione introdotta dagli studi che portarono alla codificazione tra il 1820 e il 1830 della *science des ingenieurs*, aveva portato ad un passaggio da ingegneria empirica ad ingegneria scientifica che, alla fine del secolo poteva considerarsi ormai concluso (il titolo Scienza delle costruzioni, emblematico, venne introdotto nel 1877).

Il concetto di sicurezza aveva subito una mutazione sostanziale. Se fino alla seconda metà del secolo la responsabilità statica delle costruzioni era affidata alle regole dell'arte e all'esperienza dei grandi costruttori, la nuova ingegneria impose un moderno concetto di sicurezza fondato su modelli scientifici, obbiettivi e verificabili. Sulla base di queste premesse, l'ingresso dell'ingegneria

delle strutture nel restauro fu inevitabile. Il rapporto che si svilupperà nel corso del XX secolo tra ingegneria e conservazione sarà difficile e contraddittorio. La questione ancora oggi irrisolta continua ad essere quella della valutazione della sicurezza e della validazione dell'efficacia degli interventi.

La sicurezza strutturale e le istituzioni

Con l'affermarsi del consolidamento come disciplina autonoma, si impose la questione di individuare "a chi" competesse questa disciplina. Occuparsi di *consolidamento* non significava solo portare un contributo tecnico alla conservazione dell'edificio, ma comportava anche un problema di responsabilità. La formazione, in Italia, del nuovo stato unitario, portava questo problema su scala nazionale, imponendo la formazione e la selezione di specifiche competenze.

La moderna concezione della sicurezza, nata e sviluppatasi nelle grandi scuole francesi di costruzioni, prime tra tutte l'*Ecole des Pontes et des Chauseés* e l'*Ecole Politécnique*, venne sostenuta e sviluppata in Italia dalla *Scuole di Applicazione* prima e dalle *Scuole Politecniche* poi. Alla nuova classe tecnica nata in seno a queste scuole fu affidata la responsabilità della sicurezza delle costruzioni storiche. Responsabilità che doveva necessariamente rapportarsi e scontrarsi con le esigenze della conservazione, cui erano deputati gli istituendi organi di tutela.

In Francia, già nei primi anni dell'Ottocento alcuni Prefetti delegati al consolidamento statico delle cattedrali dissestate nel corso dei movimenti rivoluzionari fecero appello a funzionari dell'istituzione dei *Ponts et Chauseés*, i quali "*pur senza conoscere in maniera approfondita la struttura intima di questi edifici, apportarono ugualmente una preziosa esperienza dei mezzi pratici di consolidamento*"[3]. Nel 1834, è lo stesso Ministero dei Culti ad invitare i Prefetti a consultare i suddetti funzionari per stabilire i consolidamenti da effettuare su una serie di chiese francesi. Viollet Le Duc, in quella circostanza, "*ricordando agli architetti l'insufficienza della loro educazione tecnica*"[4] osservò come i poteri pubblici facessero sempre più ricorso alla scienza degli ingegneri per gli interventi di consolidamento.

Nel 1834, C. Merimeé, fondatore del *Servizio dei Monumenti Storici*, fece la richiesta che tutte le riparazioni progettate dal Servizio fossero sottoposte, prima di essere eseguite, al giudizio del *Consiglio generale delle Costruzioni Civili* (una sorta di *Genio Civile*). La richiesta fu accolta, dando però luogo ad una commistione di competenze da cui derivò un contrasto annoso, che contrappose per anni gli organi di tutela e i servizi dei lavori pubblici in Francia.

Un dibattito analogo si ebbe qualche anno più tardi in Italia, quando organi di tutela e *Genio Civile* iniziarono a spartirsi gli interventi sulle costruzioni monumentali, delegando ai primi le problematiche di ordine storico-artistico e al secondo le questioni statiche delle costruzioni. Camillo Boito com-

batterà a lungo per sottrarre al *Genio Civile* la tutela degli edifici storici, considerandolo "*la maggiore piaga dei monumenti italiani*"[5]. Di fatto, il *Genio Civile* si accosterà sempre, in modo più o meno partecipe, ai cantieri di restauro statico realizzati in Italia fino al secondo dopoguerra, progettando esso stesso, in numerosi casi, gli interventi.

L'ingresso dell'ingegneria nel campo della conservazione dei monumenti si riscontrò anche all'interno degli stessi organi di tutela, dove si affermarono funzionari che vantavano una preparazione tecnica nuova rispetto al passato.

Gustavo Giovannoni, il più illustre e discusso discepolo di Camillo Boito, personaggio che segnerà la cultura del restauro nei primi cinquant'anni del secolo, si laureò Ingegnere Civile nel 1895 presso la Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri di Roma. Ferdinando Forlati, incaricato a lungo, in un periodo compreso tra il 1926 e il 1952, della direzione della Soprintendenza in Venezia-Giulia prima, in Veneto poi, si laureò Ingegnere Civile a Padova. In Italia meridionale, Adolfo Avena, direttore dell'Ufficio regionale per i Monumenti a cavallo del secolo, era anche lui laureato Ingegnere Civile presso la Real Scuola di Applicazione di Napoli.

All'inizio del secolo una forte spinta all'ingresso di questa nuova classe tecnica nel campo della conservazione venne dal problema sismico. Il catastrofico terremoto di Messina del 1908 avvenne in un periodo chiave di trasformazione della cultura tecnica. Esso rappresentò il primo vero campo di prova della nuova ingegneria italiana e testimoniò l'affermazione delle nuove tecnologie costruttive, in particolare il cemento armato. Moltissimi ingegneri furono impegnati nella ricostruzione, sia per la progettazione delle nuove costruzioni che per il consolidamento di quelle esistenti. La gravità del problema sismico sembrava togliere possibilità di appello alle ragioni della tutela.

Nel corso del XX secolo pare che il rapporto tra ingegneria e conservazione si faccia sempre più distaccato. Gli organi di tutela vengono sempre più ad essere dominio di architetti e storici, mentre gli ingegneri vengono consultati e chiamati ad operare nel caso dei grandi problemi strutturali, come consulenti esterni.

Una contraddizione si manifesta per gran parte del secolo: da una parte, sulla base del riconoscimento del valore di un approccio scientifico, si affida all'ingegneria la responsabilità della sicurezza delle costruzioni; dall'altra, l'ingegneria trova grandi difficoltà ad affrontare il problema delle costruzioni storiche con gli strumenti scientifici di cui è a disposizione. Scarsi sono i modelli che descrivono il comportamento delle strutture murarie. Scarsa è la confidenza con quest'ultime, a causa di una formazione essenzialmente basata sul progetto delle nuove costruzioni in acciaio e cemento armato.

La limitatezza dei modelli interpretativi delle strutture murarie sarà la principale causa di numerosi interventi invasivi, dannosi, e spesso inutili, che sono stati realizzati in Italia nello scor-

so secolo. È paradossale, invece, come si sia diffuso il pensiero che la causa di questi interventi fosse proprio l'eccesso di "scienza" che vi sottostava, la pretesa di verifiche statiche, l'imposizione di modelli analitici.

Le verifiche di sicurezza nelle norme sismiche

La difficoltà di definire metodi di analisi e verifica per le costruzioni in muratura si manifesta anche nella storia delle norme in materia. Si osserva come la normativa sulla progettazione degli interventi di consolidamento degli edifici in muratura sia molto limitata nel corso del XX secolo; i pochi riferimenti a questa problematica si ritrovano in genere nelle norme sismiche.

Un Regio Decreto del 1909[6], *Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 che ne designa i Comuni*, contiene un titolo, il terzo, relativo alle "Riparazioni". Esso si riferisce in generale agli edifici ordinari, e contiene una serie di criteri di intervento volti a ricondurre le costruzioni esistenti alle strutture nuove. La norma contiene anche un articolo relativo alle costruzioni monumentali, e pare sottrarre quest'ultime alle norme generali: "*Per le riparazioni degli edifici di carattere nazionale, in ispecie per valore artistico, storico od archeologico, sarà stabilito, caso per caso, il partito da seguire per consolidamento con riguardo alle disposizioni del precedente art. 3*". Il citato art. 3 è relativo ad edifici con numero di piani eccezionale e prevede che questo possa essere superato solo con parere favorevole del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, e quando vi siano giustificate ragioni di utilità (servizio pubblico, culto, interesse artistico…). Impone, tuttavia, un limite sulla destinazione d'uso: questi edifici non possono essere adibiti ad alberghi, ospedali, carceri, caserme ed abitazione.

La norma del 1909 rappresenta la base per tutte le norme sulla riparazione delle costruzioni in muratura fino all'inizio degli anni '70. Nelle leggi successive[7], infatti, seppur con piccole variazioni e modifiche, continuano a riproporsi i medesimi criteri e prescrizioni. In generale, per gli edifici in muratura ordinari si suggeriscono disposizioni di carattere costruttivo ed interventi di consolidamento; nessuna indicazione viene fornita sulle verifiche di sicurezza. Per gli edifici monumentali, si ribadisce il criterio del "caso per caso" e si rimanda alle leggi vigenti in materia di tutela, in particolare la n. 1089 del 1939 e la n.1492 dello stesso anno.

Nel 1981, in seguito al terremoto che nel 1980 colpì le regioni dell'Italia meridionale, viene emanata la *Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglie*[8] e le *Istruzioni relative alla normativa tecnica per la riparazione ed il rafforzamento degli edifici in muratura danneggiati dal sisma*[9]. È in questo de-

creto che per la prima volta si affrontano i problemi della verifica sismica degli edifici in muratura, introducendo il concetto di *adeguamento*. Contestualmente alla riparazione è obbligatorio adeguare la costruzione al livello di sicurezza richiesto per le nuove strutture; ciò implica l'analisi con un modello strutturale, a meno che la costruzione non presenti precise caratteristiche costruttive e di regolarità.

Il Decreto prescrive che "*lo schema strutturale resistente all'azione sismica deve rispecchiare la situazione effettiva della costruzione*" e lascia ampia libertà nella scelta del modello di calcolo. La norma suggerisce inoltre specifici interventi di consolidamento, di natura trasformativa, e ciò ha determinato l'affermazione di un modello di calcolo, denominato POR, che considera la presenza di solai rigidi e cordoli a livello degli orizzontamenti, suggerito a puro titolo esemplificativo nell'Allegato della Circolare del 30 Luglio 1981.

Questa legge non prendeva in considerazione gli edifici di interesse storico-artistico; la sua applicazione a questi, così come agli edifici minori nei centri storici, mise in evidenza come le opere di adeguamento fossero tali da stravolgere l'unità statica ed architettonica dell'edificio.

Si cerca quindi di porre rimedio a questo problema nel 1986, quando viene promulgato un decreto che contiene le *Norme tecniche relative alle costruzioni antisismiche*[10]. Queste norme propongono una distinzione tra gli interventi di *adeguamento* e *miglioramento*. L'*adeguamento* è inteso come "*esecuzione di un complesso di opere che risultino necessarie per rendere l'edificio atto a resistere alle azioni sismiche*" considerate per il progetto delle nuove costruzioni. Esso richiede quindi una verifica sismica ed è imposto in una serie di circostanze: sopraelevazioni o ampliamenti; variazioni di destinazioni d'uso che comportino un incremento dei carichi; interventi strutturali che modifichino l'organismo esistente; sostituzione di parti.

Il *miglioramento* è un intervento atto a conseguire un maggior grado di sicurezza in singoli elementi strutturali, "*senza modificare in maniera sostanziale il comportamento globale*" dell'edificio. Tale approccio è certamente preferibile per la conservazione del costruito storico, in quanto ad esso vengono associati interventi leggeri e non invasivi, ma di fatto sottrae nuovamente gli edifici esistenti in muratura alle verifiche strutturali, che in questo caso non vengono richieste.

Poco dopo, viene emanata la prima norma italiana specificamente rivolta agli edifici in muratura ed al loro consolidamento[11]. Essa è valida per tutte le costruzioni sul territorio italiano; in zona sismica dovranno essere rispettate anche le prescrizioni della specifica norma del 1986. In queste norme tecniche viene adottato lo stesso principio del caso sismico: la struttura deve essere adeguata ai livelli di sicurezza delle nuove costruzioni solo nel caso in cui vengano apportate significative trasformazioni.

La mancanza di un chiaro riferimento normativo alle costruzioni tutelate porta alla formazione, nel 1986, di un Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico. Nel Luglio dello stesso anno, viene pubblicata una Circolare[12] che esprime con forza il principio che "*l'obiettivo degli interventi sul patrimonio monumentale* […] *è assimilabile al miglioramento*". Grande importanza viene data ad un approccio multidisciplinare per la conoscenza, al fine di trovare un punto di incontro tra le esigenze della conservazione e della sicurezza. Inoltre, si sottolinea come l'applicazione di modelli di calcolo inattendibili, quali quelli in uso per l'edilizia ordinaria, possa portare ad illusorie garanzie di sicurezza; per tale ragione è opportuno non prescrivere l'esecuzione di verifiche formali di sicurezza.

Nel 1996 viene emanata una nuova norma sismica[13], che non modifica i principi introdotti dalla precedente ma, per la prima volta in una norma tecnica, afferma la validità dell'intervento di miglioramento sismico per gli edifici di carattere monumentale. Nella circolare esplicativa[14] si richiede la valutazione, anche semplificata, della sicurezza strutturale conseguita con l'intervento e del relativo incremento.

In piena emergenza postsismica, il Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico rielabora, di concerto con il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, il documento del 1986, che notevolmente ampliato viene emesso nella forma di "*Istruzioni generali per la redazione di progetti di restauro nei beni architettonici di valore storicoartistico in zona sismica*"[15].

A seguito del crollo della scuola a San Giuliano di Puglia, in occasione del terremoto in Molise (2002), è stata emanata una Ordinanza[16] che ha allineato i metodi di analisi e verifica sismica a quelli ormai da tempo adottati nei principali paesi del mondo. Anche se permangono difficoltà per una corretta modellazione degli edifici storici in muratura, la versione attualmente in vigore mostra una certa attenzione alla simulazione del comportamento reale (verifica dei meccanismi di collasso locale, possibilità di considerare solai non rigidi, ecc.).

Per gli edifici monumentali si conferma che è "*in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento, secondo quanto disposto al comma 4), art. 29 del decreto legislativo n. 42/2004, "Codice dei beni Culturali e del Paesaggio"; è peraltro comunque richiesto di calcolare i livelli di accelerazione del suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascuno stato limite previsto per la tipologia strutturale dell'edificio, nella situazione precedente e nella situazione successiva all'eventuale intervento*". È di prossima emanazione, congiuntamente da parte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali e della Protezione Civile, un documento di Linee Guida, che dovrebbe chiarire in che modo eseguire queste valutazioni e che uso fare dei risultati delle analisi, considerato che nel caso

di miglioramento sismico non è necessario raggiungere un prefissato livello di sicurezza.

Gli interventi di consolidamento

Come si è tradotto, in termini operativi, lo sviluppo della cultura tecnica e della cultura della conservazione nel corso del XX secolo? Che interventi ha prodotto? Un giudizio su questi aspetti è formulabile solo quando il collaudo del tempo, o del sisma, è avvenuto. I terremoti che hanno colpito l'Italia tra la fine degli anni '90 e l'inizio del nuovo secolo hanno iniziato a dare risposte su come si era operato.

Uno strumento per comprendere e motivare i tipi di interventi realizzati in un determinato periodo è l'analisi comparata delle Norme in materia strutturale e delle Carte del restauro.

La prima metà del secolo è caratterizzata dalla fiducia che l'ingegneria possa portare soluzioni solide e durature per la conservazione dei monumenti. Se da una parte si assiste alla rinuncia ad analizzare le strutture murarie con gli strumenti della Scienza delle Costruzioni, dall'altra si tenta di surrogare tali strutture con nuove e "sicure" membrature, generalmente in cemento armato. Gli organismi strutturali appaiono dei semplici apparati tecnici al servizio della figuratività dell'opera e in quanto tali, e in quanto spesso neppure apparenti, non pare abbiano il diritto di essere conservati. La consacrazione del cemento armato, ed, in generale, della "tecnica moderna" nel consolidamento, viene sia da parte delle norme sismiche che da parte delle Carte del restauro.

Il R.D. n.193 del 1909, impone che "*Gli edifici lesionati e non costruiti col sistema intelaiato o baraccato, elevantisi oltre il piano terreno* […] *devono essere rafforzati da montanti di legno, di ferro o di cemento armato*"; il R.D. n.2089 del 1924 insiste su questo punto, imponendo però che i montanti (in questo caso in solo ferro) siano collegati al livello delle fondazioni e in corrispondenza dei solai, in modo da formare una intelaiatura esterna. Nella legge n. 2105 del 1937 si ripropone ancora questo medesimo provvedimento, ove però i montanti e le cerchiature (in pratica, si tratta di cordoli) a livello dei solai possono essere anche realizzati in cemento armato. La stessa raccomandazione è prevista nella legge n.1684 del 1962.

Sul fronte delle Carte del Restauro, si osserva come la Carta di Atene del 1930 si esprima apertamente a favore della tecnica moderna: "*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;* […] *ne raccomandano l'impiego specialmente nei casi in cui essi permettano di conservare gli elementi in situ evitando i rischi della disfattura e della ricostruzione*"[17]. Questo approccio sarà identicamente ripreso nella Carta italiana del Restauro, emanata nel 1931 dal Consiglio Superiore delle Antichità e delle Belle Arti.

La consacrazione del cemento armato espressa dalle carte degli anni '30 rappresenta in realtà l'apice dello sviluppo e delle sperimentazioni dei precedenti vent'anni. Numerose furono in quegli anni, infatti, le pubblicazioni che ne testimoniavano l' applicazione. Uno dei lavori che maggiormente diede propulsione alla tecnica fu quello di Ignazio Gavini del 1923 sulla rivista Ingegneria, nel quale si affermava: "*Ora un nuovo materiale è entrato con grande fortuna a far parte dei mezzi tecnici a disposizione del restauratore ed è il cemento nelle sue tante applicazioni.* […] *Esso ci offre lo scioglimento di problemi di massima difficoltà e che altrimenti sarebbe difficile risolvere*"[18]. Nuovamente, il problema sismico è messo in risalto: "*Il cemento armato potrà rendere facile la soluzione statica di innumerevoli problemi, specialmente nelle zone di terremoto, ove i monumenti italiani soffersero i maggiori danni*"[19].

La disillusione verso questo approccio si manifesta già alla fine degli anni '30. Le principali critiche vengono dalla parte delle teorie del restauro. Significativo è l'intervento di F. Forlati al III Convegno Nazionale di Storia dell'Architettura di Roma del 1938. Riguardo al consolidamento egli affermò: "*Sembra [...] a molti che per consolidare basti essere buoni ingegneri, trattandosi infine di soli problemi tecnici. Bisogna subito dire essere grave errore il credere che nelle costruzioni monumentali possa esistere il solo problema conservativo, quando arte e tecnica sono negli edifici antichi una sola cosa: la separazione avvenne nel tardo Ottocento, quando cioè la vera architettura era tramontata*"[20].

Alla fine del conflitto mondiale, questi dubbi si mostrarono in tutta la loro forza grazie alla definizione del "restauro critico", di cui Roberto Pane e Renato Bonelli furono i massimi esponenti. Anche nel campo dell'ingegneria strutturale vi furono alcuni ripensamenti, ma apparvero essere il pensiero di singoli illuminati e non la coscienza di un'epoca[21]. Un piccolo segno del cambiamento in atto nel campo della cultura del restauro è testimoniato dalla *Carta di Venezia,* del 1964, in cui si afferma che "*Quando le tecniche tradizionali si rivelino inadeguate, il consolidamento di un monumento può essere assicurato mediante l'ausilio di tutti i più moderni mezzi di struttura e di conservazione la cui efficienza sia stata dimostrata da dati scientifici e sia garantita dall'esperienza*". Gli aspetti di novità sono due: da un lato, il richiamo alle tecniche tradizionali; dall'altro, la richiesta della dimostrazione dell'efficacia dei mezzi moderni.

Nonostante ciò, ancora il Decreto Ministeriale del 2 Luglio 1981 propone interventi con cemento armato e acciaio. Rispetto alle norme precedenti i tipi di interventi proposti sono numerosi e diversificati, a testimonianza di una radicata prassi del consolidamento. Si propone, in particolare: l'inserimento in breccia di cordoli e pilastrini in calcestruzzo armato, la sostituzione degli originali solai lignei con solette in c.a., il placcaggio delle pareti murarie con la-

stre in calcestruzzo armate con reti elettrosaldate. Analoghe prescrizioni sono indicate nei successivi decreti e nelle relative circolari esplicative nn. 10, 13, 14.

Questi tipi di intervento sono stati applicati diffusamente nel consolidamento delle costruzioni in muratura nella seconda metà del XX secolo.

Una revisione critica è stata portata avanti a partire dagli anni '80 considerando diversi aspetti. In primo luogo, un sistematico studio dell'antica cultura costruttiva ha portato a rivalutare i sistemi di consolidamento tradizionali. In secondo luogo, l'attribuzione di un valore di cultura materiale alle strutture ha portato a sostenere la necessità di una loro conservazione. Infine, il collaudo del tempo, in relazione ai problemi di durabilità, ed alcuni terremoti (in particolare quello umbro-marchigiano del 1997) hanno mostrato l'inefficacia e, spesso, la dannosità, di certi interventi nel consolidamento delle strutture storiche.

Il primo documento prodotto dal Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico12 critica aspramente le tecniche di intervento suggerite per l'edilizia ordinaria e propone il ricorso alle tecniche tradizionali, meno invasive e più reversibili. Nell'ultimo documento emanato[15], volendo meglio specificare le diverse possibili tecniche di intervento viene concesso spazio anche a soluzioni più invasive, che pur se ammesse solo in casi particolari, vengono in una certa misura legittimate. Il recepimento di questo documento nelle direttive regionali emanate per gli interventi di riparazione e rinforzo post-terremoto, ha favorito una progressiva sensibilizzazione dei professionisti verso l'uso delle tecniche tradizionali.

L'Ordinanza sismica recentemente emanata[16] contiene un allegato (11E) "*Criteri per gli interventi di consolidamento di edifici in muratura*" che, con riferimento agli edifici ordinari, per la prima volta afferma la validità delle tecniche tradizionali, ponendo precise limitazioni all'uso di interventi trasformativi, ed in particolare al ricorso del cemento armato.

[1] Cfr. Di Pasquale, S., *L'arte del costruire tra conoscenza e scienza*, Marsilio, Venezia, 1996.
[2] Le parole di Boito a questo proposito sono significative: "*Lo scheletro si fortifica, lasciando intatta la pelle con la sua polpa sotto e i muscoli*", in Boito, C., *Questioni pratiche di Belle Arti*, Hoepli, Milano, 1893, p. 18.
[3] Leon, P., *La vie des monuments francais: destruction, restauration,* A. e J. Picard & C., Parigi, 1951, p. 225.
[4] Leon, P., *ibidem*, p. 225.
[5] Cfr. Casiello, S., *La cultura del restauro,* Marsilio, Venezia, 1996, p. 384.
[6] R.D. 18 aprile 1909, n. 193.
[7] R.D. 6 settembre 1912, n.1080; R.D. 23 ottobre 1924, n. 2089; R.D. 25 marzo 1935, n.640; D.L. 25 novembre 1962, n. 1684; D.L. 2 febbraio 1974, n. 64.
[8] D.M. LL.PP. 2 luglio 1981.
[9] C.M. LL.PP. 30 luglio 1981, n. 21745.
[10] D.M. LL.PP. 24 gennaio 1986.
[11] D.M. LL.PP 20 novembre 1987.

[12] C.M. Beni Culturali ed Ambientali 18 luglio 1986, n. 1032.
[13] D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996.
[14] C.M. LL.PP. 10 aprile 1997, n. 65.
[15] C.M. Beni Culturali ed Ambientali 28 novembre 1997, n. 564.
[16] O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274, come modificata ed integrata da OPCM 3431/05.
[17] In *La conservation des monuments d'art e d'histoire,* Parigi, 1933, p. 403.
[18] Gavini, C.I., "Il cemento armato nel restauro dei monumenti", in *Ingegneria,* febbraio 1923, p. 31.
[19] Gavini, C.I., *ibidem*, p. 34.
[20] Forlati, F., "L'arte moderna e la tecnica del restauro oggi", in *Atti del III convegno di storia dell'architettura,* Roma 1938, Colombo, Roma, 1940, p. 339.
[21] Nervi, P.L., *"Arte o scienza del costruire?",* Città Studi, Milano, 1997, pp. 9-10.

Chiara Calderini, Sergio Lagomarsino, Stefano Podestà, Sonia Resemini

L'ingegneria e le costruzioni storiche in Italia Parte II. Diagnosi e monitoraggio del comportamento strutturale

Introduzione

L'interpretazione del comportamento strutturale della costruzione è uno degli aspetti critici della progettazione degli interventi di consolidamento. Le ragioni sono di duplice natura: da una parte, è complesso raggiungere una conoscenza adeguata della costruzione; dall'altra, anche qualora la costruzione fosse compresa in ogni dettaglio, è difficile riconoscerne la struttura (intesa come ruolo dei diversi elementi architettonici) e valutare la risposta a determinate azioni.

La conoscenza dei diversi elementi della fabbrica si scontra con la difficoltà di rilevare la conformazione interna della struttura, spesso celata dietro gli apparati decorativi esterni, individuare le sue trasformazioni nel tempo (sopraelevazioni, demolizioni di parti, variazioni di carico, etc.), e valutare la natura e la qualità dei materiali.

Per l'individuazione della struttura in una costruzione storica, in particolare in muratura, non si può disporre del "progetto' modernamente inteso (anche se le regole dell'arte ci forniscono spesso utili indicazioni), ma è possibile ottenere informazioni dall'osservazione del suo comportamento nella storia. Aspetto critico rimane la scelta di modelli strutturali adeguati, siano essi basati sui soli principi dell'equilibrio, o necessitino di legami costitutivi che consentano di descrivere il comportamento non lineare del materiale fino a rottura.

Tecniche diagnostiche e metodi di modellazione rappresentano la risposta operativa a queste problematiche. Lo studio della loro evoluzione nel corso del tempo, in particolare nell'ultimo secolo in Italia, è l'oggetto del presente lavoro. L'analisi proposta è finalizzata non tanto a delineare lo sviluppo tecnico in sé, ma piuttosto a evidenziare gli eventuali rapporti instaurati tra conoscenza, teoria e tecnica, ma anche la frequente incomunicabilità tra diagnosi, monitoraggio e modellazione. Un progetto di consolidamento dovrebbe, infatti, prevedere un percorso di conoscenza della struttura in cui convergano informazioni sui suoi aspetti tecnologici, sui dissesti, sulla sua storia, sul suo comportamento meccanico.

Il rilievo e la diagnostica

Lo studio dell'evoluzione dei dissesti in una costruzione in muratura è storicamente legata all'analisi delle lesioni. Queste sono il "linguaggio" più diretto della muratura.

Nella pratica edilizia, l'analisi delle lesioni al fine di interpretare il comportamento di una costruzione era in passato assai diffusa. In letteratura, si os-

serva come questo argomento sia stato poco trattato e sistematizzato. In generale, rari sono i casi in cui si tenti un'analisi organica dell'origine delle lesioni, correlando questa con la statica della costruzione e con i suoi meccanismi di dissesto.

Nel corso del Settecento e dell'Ottocento si ha notizia di due soli testi che investigarono il tema, i quali però, costretti ai margini degli interessi dell'epoca, rimasero privi di seguito. Il primo, pubblicato nel 1781 da un ingegnere napoletano di nome Vincenzo Lamberti, con il titolo *La statica degli edificj*[1], comprendeva un intero capitolo dedicato esplicitamente allo studio delle lesioni dei fabbricati (*Dell'origine delle lesioni*). L'intenzione dell'autore era quella "*d'investigare* […] *le origini delle lesioni*, […] *cagionate dal disequilibrio delle parti dell'edificio*"[2]. Il secondo, pubblicato a Napoli nel 1885, è il trattato di E. Folinea[3].

Il testo che segnò maggiormente la prima metà del XX secolo fu certamente quello di Cristoforo Russo, *Le lesioni dei fabbricati*[4]. Consigliato tra i libri per l'esame di stato per l'abilitazione alla professione di ingegnere del 1931, esso era riservato, così come è detto esplicitamente nella Prefazione di E. Marullier, *"ai professionisti dell'edilizia"*. Non era quindi un manuale per il consolidamento "monumentale", ma era una guida pratica e completa delle riparazioni e dei rimedi per le costruzioni ordinarie in muratura. L'obbiettivo che si poneva il testo è dichiarato nell'introduzione alla prima edizione: "*L'esame delle lesioni dei fabbricati è una delle mansioni più difficili dell'ingegnere civile, giacché per assolvere tale compito non bastano le cognizioni scientifiche, ma occorre anche una grande pratica ed una lunga esperienza acquistata al cimento di difficoltà spesso insormontabili che si incontrano nei restauri dei caseggiati logorati dal tempo, scossi dalle trasformazioni, turbati dai movimenti tellurici. Per cui per intuire i fenomeni perturbatori di tali caseggiati occorre l'occhio clinico sicuro formatosi al contesto di molteplici lavori effettivamente compiuti, giacché il tecnico, trovandosi a volte dinanzi a casi assai gravi, non ha il tempo di studiare e ogni esitazione può riuscire fatale. Ecco perché non è da tutti sapere fare in tempo brevissimo*[5] *una diagnosi in un corpo di estesissima superficie e muto qual è il fabbricato*"[6].

Il motivo del grande interesse di questo manuale non risiede solo nel fatto che rappresenta il primo testo organico e completo sulla scienza del consolidamento, ma anche nel fatto che, collocandosi in un'epoca di transizione tra tradizione e modernità, raccoglie metodi, strumenti e materiali antichi e moderni. Il testo del Russo, fu di fatto la base per tutte le pubblicazioni che si succedettero nella prima metà del secolo. Nel 1932 l'ing. E. De Bono pubblicò un volume, dal titolo *Diagnosi e terapia dei fabbricati lesionati*[7], nella cui prefazione viene dichiaratamente espressa la volontà di rifarsi al manuale di Russo. Questo testo, dedicato espressamente agli "*studenti di ingegneria*",

si concentrava però sugli aspetti tecnici del consolidamento, piuttosto che su quelli teorici.

A parte alcuni testi apparsi nel periodo 1932-1942[8], la letteratura italiana non offrì, in quegli anni, altri importanti contributi. Solo nel 1943 apparve, presso la casa editrice Hoepli, un volume sul consolidamento statico che sarà la base per tutta la tecnica e la cultura costruttiva dei successivi cinquant'anni, e sarà ristampato in molteplici edizioni fino ai nostri giorni: si tratta del testo di Sisto Mastrodicasa *Dissesti statici delle strutture edilizie. Diagnosi e consolidamento*[9]. Questo testo, pur collocandosi sulla scia della tradizione introdotta da Cristoforo Russo, segna il passaggio verso una visione più ingegneristica del problema della sicurezza delle costruzioni storiche. Mentre il testo del Russo si rifaceva ancora, almeno per quanto riguardava i criteri di interpretazione del comportamento strutturale, ad una tradizione ottocentesca (basata su semplici condizioni di equilibrio), il testo di Mastrodicasa propone argomenti interpretativi tipici della Scienza delle Costruzioni. Il suo approccio, tuttavia, non è univoco: aspetti qualitativi, basati sull'osservazione dei danneggiamenti, e interpretazioni meccaniche, basate su modelli analitici, si intersecano. Lo studio del quadro fessurativo continua ad avere una fondamentale importanza. Nell'introduzione al "Problema diagnostico" egli propone una ricerca tra lesioni e dissesti basata su un processo inverso. Posto e risolto, cioè, il problema fondamentale: "*Assegnata la natura delle dissesto statico, determinarne le lesioni caratteristiche*", è possibile risolvere il problema inverso, ossia "*Assegnate le caratteristiche delle lesioni, determinarne il dissesto statico*"[10]. Per risolvere il problema diretto, egli propone di seguire un processo intuitivo basato "*sull'osservazione diretta dei fatti e sui principi che sarà possibile dedurre dalla meccanica delle costruzioni*". Egli osserva, tuttavia, come "*questo metodo non può trovare la sua giustificazione rigorosa dalla applicazione dei metodi teorici, che, di pari passo con l'intuizione, soli potrebbero acquietare il nostro spirito. E' infatti impossibile applicare metodi rigorosi a complessi sovente caotici come le murature*"[11]. L'interpretazione della natura qualitativa dei fenomeni di dissesto è al centro degli interessi di Mastrodicasa.

La diagnostica delle costruzioni murarie, fino ad anni recenti, si è basata quasi esclusivamente sulla valutazione del quadro fessurativo e deformativo. Negli ultimi decenni, tuttavia, altri aspetti hanno iniziato ad essere investigati. Grande importanza è stata data, per esempio, alla documentazione storica, che permette di riconoscere dissesti storici delle strutture, fasi di mutazione etc. Inoltre, le tecniche diagnostiche strumentali hanno permesso di conoscere aspetti tecnologici relativi alla natura geometrica delle murature (grado di ammorsamento, presenza di diatoni e di catene) e alle proprietà meccaniche dei materiali.

Il monitoraggio

Il controllo periodico della forma e dell'estensione delle lesioni hanno rappresentato la forma più tradizionale di monitoraggio, seppur qualitativo.

I sistemi tradizionali per valutare l'estensione progressiva delle lesioni sono: lo studio del "colore" e dell'aspetto della lesione e la collocazione di *spie*, dette anche *biffe*. Le spie erano, in genere, costituite da piccole lastrine di materiale fragile messe a cavallo delle lesioni. La loro rottura indicava un'estensione della lesione e, pertanto, il progresso di un dissesto. Il materiale era usualmente il vetro, l'intonaco o, in alcuni casi, la carta.

Nel testo di Russo la biffa è definita come "*una sentinella messa a guardia dei turbamenti statici ordinari dei fabbricati*"[12]; il suo ruolo è quello di "*avvisare in tempo*". Egli mette anche in evidenza come i dissesti delle costruzioni in muratura avvengano, di regola, molto lentamente; una loro accelerazione è un segno di allarme.

Un altro testo che fa un esplicito riferimento all'adozione delle spie per il controllo del progredire delle lesioni è un piccolo manuale pubblicato nel 1936[13] in cui vi è un paragrafo specifico intitolato *Spie*. L'autore, oltre a riportare una breve trattazione sul confezionamento e la posa in opera delle piastrine di vetro, introduce anche particolari tipi di spie a contatto elettrico. Queste ultime sono indicate per "*casi speciali […] quando determinate esigenze richiedono la conoscenza dei movimenti di assestamento delle strutture murali nell'istante stesso in cui avvengono*"[14].

Il già citato testo di Mastrodicasa dedica un paragrafo del suo manuale ai "Fenomeni fessurativi e deformativi nel tempo". Oltre ad illustrare gli strumenti classici, egli fa accenno per la prima volta a metodi strumentali. In particolare, suggerisce l'impiego, per grandi edifici monumentali, di strumenti per la misura delle deformazioni come estensimetri e flessimetri.

Oltre al monitoraggio delle lesioni, un altro importante sistema di controllo dell'evoluzione dei dissesti di una costruzione in muratura è il rilievo periodico del fuoripiombo, attuato mediante fili a piombo. Tale tecnica ha trovato larga applicazione in particolare nelle strutture snelle (torri, campanili, guglie). Caso emblematico è quello della Torre pendente di Pisa, sottoposta a misure ripetute del fuoripiombo nel corso di nove secoli, e tutt'ora oggetto di monitoraggio.

I primi tentativi di monitoraggi "scientifici" strumentati su costruzioni in muratura in Italia risalgono agli anni '30 del XX secolo (Torre di Pisa, Cupola di Santa Maria del Fiore a Firenze, Cupola della Basilica di San Gaudenzio a Novara). Tuttavia, è solo nell'ultimo ventennio che il monitoraggio inizia ad essere impiegato in maniera più diffusa nei problemi di conservazione. L'innovazione tecnologica consente oggi di disporre di strumentazione caratterizzata da elevata sensibilità e da sistemi un'acquisizione "in continuo" centralizzati. Sistemi di monitoraggio con tra-

sferimento dei dati acquisiti via remoto consentono di valutare in maniera sistematica le variazioni indotte in situazioni particolari (per esempio: monitoraggi strutturali di edifici in adiacenza a sbancamenti od a realizzazioni di nuove infrastrutture).

L'impiego di tecniche anche sofisticate per il controllo e l'analisi dei dissesti delle costruzioni in muratura, tuttavia, non deve considerarsi di per sé efficace. Qualsiasi monitoraggio richiede un modello teorico interpretativo. La sua mancanza può portare a fraintendimenti sulle misure, a incomprensioni sugli ordini di grandezza, a dubbi sull'effettiva natura dei fenomeni registrati[15]. L'elevata sensibilità della strumentazione non garantisce, quindi, un'affidabile valutazione del livello di sicurezza.

Posto inoltre che è necessario sempre associare un modello interpretativo al monitoraggio, occorre considerare che vi è una diretta proporzione tra la precisione della strumentazione e la complessità del modello. Si consideri il semplice caso in cui si voglia controllare la variazione del carico assiale su colonne in pietra di una chiesa[16]. Anche se si utilizzassero degli estensimetri capaci di apprezzare teoricamente una deformazione unitaria å = 1.106, pur supponendo che questo valore non sia influenzato da variazioni termiche, si può osservare che, per una colonna in pietra di diametro di 80 cm con modulo elastico E = 80000 MPa, la minima variazione di carico assiale leggibile dallo strumento è di 4 tonnellate. Le misure fornite dalla strumentazione hanno un elevato grado di precisione, ma il loro impiego non è funzionale alle informazioni che si vogliono ottenere.

Il concetto di monitoraggio strutturale, inteso tradizionalmente come l'osservazione nel tempo del comportamento della struttura, tende ultimamente ad ampliarsi di nuove valenze.

Appare sempre più importante che il controllo strutturale non si esaurisca nella mera registrazione di grandezze fisiche variabili nel tempo (ampiezza di fessurazioni, inclinazioni, cedimenti, ecc.), ma integri al suo interno anche l'interpretazione del meccanismo strutturale, valutando il significato quantitativo di tale misurazioni.

Nell'ambito della ricerca internazionale il termine di *Structural Health Monitoring* cerca di comprendere questa nuova accezione. La tecnica utilizzata, attualmente in fase di ricerca, si basa su metodologie proprie della caratterizzazione dinamica e dell'identificazione strutturale. La conoscenza dei parametri modali permette, infatti, di individuare un set di variabili che insieme costituiscono una sorta d'impronta digitale della struttura: se tale condizione varia nel tempo, la deduzione che si può trarre è, infatti, associabile ad un avvenuto danneggiamento.

Tale approccio è normalmente finalizzato alla definizione di una successiva localizzazione del danno, ma nel caso di strutture storiche monumentali, tale finalità non rappresenta la specifica principale. Mentre la localizzazione del danno può essere investigato con stru-

menti tradizionali d'analisi, il controllo dell'evoluzione di un possibile meccanismo di danno, attraverso tale metodologia, garantisce un livello di sicurezza del fabbricato superiore a quello attuabile con le metodologie di indagine diagnostica tradizionali. In tale caso anche la definizione di un intervento di conservazione strutturale può essere visto come un modificatore del comportamento originario che può essere monitorato nel tempo, fornendo una sorta di collaudo strutturale posteriore difficilmente attuabile attraverso una normale prova di carico.

La modellazione

Nei secoli passati come tuttora, la realtà costruttiva venne interpretata con schemi diversi a seconda della finalità dell'analisi strutturale. Infatti, in ogni tipologia di modellazione vengono recepiti e sfruttati, alcuni o tutti, gli aspetti del comportamento meccanico della costruzione.

Una struttura può essere, quindi, analizzata con modelli meccanici basati su opportune ipotesi che riguardano la cinematica, la statica o la dinamica ed i modelli costitutivi per i materiali. Il livello di dettaglio, e quindi la scelta del modello più opportuno, dipendono dallo scopo dello studio.

La sintetica illustrazione dell'evoluzione storica delle metodologie di calcolo e modellazione per le costruzioni murarie ha quindi lo scopo di mostrare come questi concetti fossero già presenti, sebbene implicitamente, anche negli studi proposti nei secoli addietro.

Parlare di questo tipo di ricerche, raramente significa fare riferimento ad una teoria unitaria legata ad organismi complessi. La storia dell'analisi muraria si concentra in modo particolare sull'arco, l'elemento maggiormente significativo e problematico di quella cultura costruttiva. Generalmente si colloca nei primi anni del XVIII l'inizio di uno studio sistematico delle strutture murarie voltate, in riferimento alle ricerche di De La Hire (che per primo tentò di dare una interpretazione meccanica dell'arco) e di Couplet.

È nel corso di quel secolo che si distinguono due fondamentali approcci allo studio delle strutture voltate, che caratterizzeranno, in misura più o meno persistente, le ricerche successive.

Da una parte, infatti, si svilupparono gli studi sul comportamento statico dell'arco, che si fondavano sulle prime interpretazioni di Coulomb e che furono il principale corso di ricerca durante il secolo successivo.

Dall'altra, si aprì una campagna di studi sui comportamenti cinematici dell'arco che si fondavano sull'analisi degli stati limite di collasso: su base sperimentale (Mascheroni, Rondelet, Gauthey, Boistard) e teorica (Audoy, Lamé, Clapeyron e poi di Persy, Poncelet).

Quindi, accanto alla trattazione cinematica del tema della stabilità dell'arco, inizia a prendere forma lo studio secondo la formulazione statica, in cui, soprattutto grazie alle idee innovative di Coulomb, il problema si sposta dal *progetto* alla *verifica*.

Nel seguito però la Scienza delle costruzioni, in relazione all'evoluzione dei nuovi materiali (principalmente il ferro e la ghisa) e delle nuove tipologie strutturali (la trave; le piastre, i pilastri), aveva elaborato una teoria dei corpi solidi che aveva acquisito una forma ormai definita e codificata: si trattava della Teoria dell'Elasticità. Essa, sui fondamenti stabiliti da Navier, Cauchy e Poisson, era praticamente conclusa, nelle sue linee generali, tra il 1820 e il 1824. Tutto il suo apparato teorico si fondava sull'ipotesi del comportamento elastico lineare del materiale, ritenuto isotropo, e sulla sua indifferente capacità di resistere a trazione e compressione. Numerosi furono i tentativi di applicare la teoria elastica all'arco in muratura.

Nel 1913 Sejourné, nel suo celebre testo sui ponti in muratura[17], opera con cui in sostanza si chiude un'epoca di ricerche, si dichiarava a favore dell'applicazione del calcolo elastico, lanciando però un messaggio che spingeva verso nuovi studi, per stabilire un teoria più rispondente alla realtà dei fatti. Sejourné riconosceva, infatti, i limiti del calcolo elastico, ma si rendeva anche conto che, allora, non si disponeva di una teoria migliore: "*Non disponiamo, al momento, per il calcolo delle volte, di un'ipotesi migliore di quella elastica. A conti fatti, accettiamola dunque non perché sia vera, ma perché volte sottili, così calcolate, resistono. La accettiamo solo provvisoriamente, sotto beneficio di inventario sperimentale, vale a dire fino a quando nuove esperienze diano luogo ad altre formulazioni che si adattino meglio ai fatti*"[18]. Questo messaggio, allora, non fu accolto. Altri interessi accentravano l'attenzione della scienza e della tecnica, altri materiali e nuove tecnologie.

Tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento, infatti, in relazione al grande sviluppo dei nuovi materiali (in particolare il cemento armato), si assistette ad un progressivo abbandono degli studi e delle sperimentazioni sul comportamento statico e meccanico delle strutture murarie.

Questo abbandono si protrasse per più di cinquant'anni, fino a che alla fine degli anni '60 si manifestò, per ragioni nuove, legate specialmente ai fini della conservazione, un rinnovato interesse[19].

Se da un lato quindi la teoria elastica può essere utilizzata nella verifica in condizioni d'esercizio della struttura muraria, lo stato di collasso, o la situazione con dissesti strutturali evidenti, può essere colto solo con metodi non lineari. Questi ultimi sono già insiti negli studi basati solo sull'equilibrio di corpi rigidi in condizioni limite o discendenti da legami costitutivi elastici non lineari (C.A.Castigliano scrisse sui "*sistemi imperfettamente elastici come gli archi in muratura*"[20]) e come strumenti di verifica furono sviluppati dai teorici.

A monte di ciò, è necessario sottolineare inoltre, come fino a pochi decenni fa, la modellazione ingegneristica delle costruzioni ben poche volte si discostasse (per mancanza di mezzi computazionali o per inadeguatezza di

modelli interpretativi) dall'elemento semplice (per es. l'arco). In questo contesto, si distinse Camillo Guidi il quale tentò anche delle applicazioni di carattere più generale della curva della pressioni, tra cui per esempio quella dello studio di un telaio basilicale sottoposto anche ad azioni sismiche[21].

Nell'ultimo ventennio la meccanica delle strutture in muratura è stata nuovamente oggetto di molte ricerche in Italia[22].

Uno degli argomenti centrali è stato lo sviluppo di metodi non lineari utilizzabili in programmi di calcolo numerici. Lo stacco rispetto al passato è legato non tanto alla concezione del comportamento dell'insieme murario, quanto alla possibilità, da parte del progettista e non solo dello studioso, di associare il modello all'intera costruzione, portando la problematica strutturale ad un altro livello di scala.

Una visione unitaria per il progetto di consolidamento

Con questo lavoro, si sono voluti evidenziare (sia nell'evoluzione storica, sia nella situazione odierna) gli eventuali rapporti instaurati tra conoscenza, teoria e tecnica, ma anche la frequente incomunicabilità tra diagnosi, monitoraggio e modellazione.

Infatti, le possibilità progressivamente offerte da certe tecniche diagnostiche dovrebbero orientare i metodi di modellazione strutturale; per contro l'elaborazione di metodi di modellazione strutturale richiede la messa a punto di nuove tecniche diagnostiche.

Per una corretta interpretazione del ruolo dell'ingegneria nella valutazione del comportamento delle costruzioni storiche, è opportuno affrontare unitariamente lo studio delle tecniche diagnostiche e di monitoraggio e quello dei metodi di analisi strutturale. Lo studio dell'evoluzione storica di questo rapporto è uno strumento fondamentale per comprendere le carenze evidenziate nella progettazione degli interventi di consolidamento negli ultimi decenni in Italia.

Solo un iter conoscitivo approfondito e multidisciplinare è, infatti, in grado di garantire il necessario rigore scientifico e tecnico che ogni intervento di consolidamento, dovrebbe possedere. Per fare ciò è fondamentale, quando si opera su edifici storici (molto spesso vincolati ai sensi della Legge 1089/39) correlare le informazioni che possono essere ottenute da un rilievo critico, dall'analisi storica, dalla campagna diagnostica, dalla valutazione del comportamento strutturale, in modo da creare un continuo scambio d'informazioni che sia in grado di guidare nella definizione del progetto di conservazione strutturale. La fase diagnostica rappresenta, pertanto, uno degli aspetti più importanti e delicati. Grazie al continuo sviluppo d'attrezzature e tecniche sempre meno invasive, si può affermare che l'indagine strumentale è il momento qualificante di ciascun intervento di consolidamento.

Questo si realizza però, solo se la campagna diagnostica, è preceduta da un'attenta analisi, che permetta di indi-

viduare, anche in via intuitiva, le manifestazioni e le morfologie del dissesto. Solo, in questo modo, attraverso la formulazione delle prime ipotesi dello squilibrio strutturale, è possibile arrivare alla produzione di un vero e proprio progetto di diagnosi, con il fine ultimo di rendere significativi i molti valori rilevati, per una valutazione globale della sicurezza. La definizione dell'intervento deve necessariamente essere subordinata alla conoscenza dello stato di fatto e del livello di sicurezza strutturale in relazione all'azione di riferimento per la quale si può prevedere una crisi strutturale. Solo a seguito di questa preliminare valutazione sarà possibile individuare l'eventuale intervento di preservazione strutturale, modulando l'entità in funzione dell'incremento di resistenza che si vuole o si riesce ad ottenere.

In tale ottica, appare intuitivo come la scelta delle modalità d'intervento offra un ampio spettro di possibilità: dall'intervento fortemente cautelativo alla scelta del "*non intervento*". In molti casi, tuttavia, la necessità di garantire nel tempo un accettabile livello di sicurezza consiglia, a fronte della scelta di "*non intervento*", l'installazione di un sistema di monitoraggio. I dissesti che gli edifici storici presentano sono, spesso, già consolidati dal tempo, in quanto i fenomeni che li hanno indotti, possono essersi esauriti nel corso dei secoli. Tale soluzione permette, pertanto, di garantire un controllo dell'evoluzione del possibile dissesto senza alterare una ritrovata configurazione d'equilibrio.

Conclusioni

A chiusura della disamina, un'interpretazione di Giovannoni sui restauri di consolidamento può essere indicativa: "*Sono questi, specialmente per quanto riguarda l'organismo costruttivo, una serie di operazioni tecniche , che rientrano nella Patologia dei vecchi edifici. Hanno tuttavia per particolari caratteristiche la ricerca di salvare l'autenticità delle strutture anche dove le ragioni dell'efficienza e dell'economia consiglierebbero di rinnovarle.* […] *Il concetto di limitare i lavori di rinforzo al minimo necessario porta ad utilizzare gli schemi di risorsa formatisi nella statica dell'edificio senza alterarli. Trattasi di equilibrio quasi instabile con cui la fabbrica si è spontaneamente difesa, ma che durano da secoli per il contrasto e la solidarietà delle strutture murarie; il turbarli e l'avviare un diverso sistema di azioni, porta talvolta alla necessità di rifare tutto.* […] *Un analogo ordine di idee vale per l'impiego dei calcoli di stabilità per il vecchio edificio. Applicare tali calcoli della Scienza delle Costruzioni come se si trattasse d'una fabbrica nuova vuol dire non comprendere il presupposto di tali calcoli e non tenere conto del collaudo compiuto dal tempo. Le teorie di resistenza infatti sono per gli edifici che saranno, non per quelli che già esistono, e tengono conto prudenzialmente di eventualità di cattiva costruzione, di discontinuità, di disgregamento delle strutture che in questo caso sono già scontate. Così, ad esempio, tra i carichi di sicurezza e i carichi di rottura c'è*

un enorme margine, che è necessario non invadere negli edifici nuovi, ma che lo è spesso negli edifici antichi, i quali entro quel margine vivono. […] *Pertanto pei vecchi edifici, e non soltanto pei monumenti, è prevalentemente da seguire, nei riguardi dei perturbamenti statici, il metodo empirico sperimentale: mediante lo studio accurato delle lesioni e degli strapiombi, ricercare la causa, ovvero le cause concomitanti (diagnosi); mediante le osservazioni delle biffe e o spie e le successive misure rendersi conto se il movimento è avvenuto in passato e poi si è arrestato, ovvero se è in atto e progressivo, nel qual caso occorre provvedere con lavori che risalgano alla causa (terapia costruttiva), o se la minaccia è urgente, con puntellamenti di carattere provvisorio*"[23].

Lette queste parole, l'incongruenza tra i concetti espressi sul consolidamento e la realtà progettuale, specchio di un modo di procedere assodato non solo negli ultimi decenni, risulta evidente.

Giovannoni, infatti, pur sottolineando la necessità di conservare il costruito, non trova altra maniera di consolidarlo se non quello di affidarsi all'empirismo. Quel *buon senso*, sempre necessario, ma troppo spesso non sufficiente, porta sovente a valutazioni di interventi sproporzionati rispetto alle reali necessità di sicurezza. Gli scritti citati sono indice di come l'inidoneità (o ritenuta tale) dei modelli della Scienza provocarono l'incoerenza tra concetti di restauro espressi e la pratica: gli interventi strutturalmente invasivi (per concezione statica, materiale o tecniche) sulle costruzione vogliono spesso supplire alla mancanza di modelli e di metodi per ottenere l'adeguata conoscenza del manufatto.

Non è, però, l'utilizzo della modellazione a determinare gli interventi *pesanti*, ma è la mancata integrazione delle conoscenze a creare una modellazione inadeguata (come concezione strutturale, più che come strumenti) e quindi un insieme di risultati carenti o erronei. Essi portano, nella realtà progettuale odierna, alla scelta di operare o ad occhi chiusi (senza critica sui risultati ottenuti dai modelli) o con il solo *buon senso*. A conti fatti, entrambe le situazioni portano a sovradimensionare o mal concepire le opere di restauro statico. Se la fase conoscitiva (rilievo, diagnostica e monitoraggio) fosse meglio integrata con la modellazione, la diagnosi conseguente riuscirebbe a mirare il progetto degli interventi, tanto più che, soprattutto oggi, anche gli strumenti teorici (e numerici) sono più avanzati e la loro inadeguatezza (anche per il comportamento delle strutture murarie), almeno in larga parte, non è più veritiera.

[1] LAMBERTI, V., *La Statica degli edificj*, Napoli, 1781. (Cfr. CORRADI, M., "Fondamenti storici della scienza del consolidamento", in Atti del V Congresso Nazionale A.SS.I.R.C.CO "*Il restauro delle costruzioni tra le ragioni della conservazione e quelle della statica*", Kappa, Roma, 1997, p.223).
[2] LAMBERTI, V., *ibidem*, p. 247.
[3] FOLINEA, E., *Sull'origine delle lesioni nei fabbricati e metodi di restauro*, Napoli, 1885. (Cfr. CORRADI, M., *ibidem*, p. 224).
[4] RUSSO, C., *Le lesioni dei fabbricati*, Utet, Torino, 1915.
[5] In grassetto nel testo.
[6] RUSSO, C., *Le lesioni dei fabbricati*, Utet, Torino, 1956, Introduzione alla prima edizione.
[7] DE BONO, E., *Diagnosi e terapia dei fabbricati lesionati*, Guida, Napoli, 1932.
[8] ROSCI, L., *Puntellamenti e rinforzi nei fabbricati lesionati*, Lavagnolo, Torino, 1933; DEI POLI, S., *Crolli e lesioni di strutture*, Hoepli, Milano, 1942.
[9] MASTRODICASA, S., *Dissesti statici delle strutture edilizie. Diagnosi e consolidamento*, Hoepli, Milano, 1943-1988.
[10] MASTRODICASA, S., *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Hoepli, Milano, 1974, p. 7.
[11] MASTRODICASA, S., *ibidem*, p. 8.
[12] RUSSO, C., *ibidem*, p. 309.
[13] ROSCI, L., *Puntellamenti e rinforzi degli edifici lesionati*, Lavagnolo, Torino, 1936.
[14] ROSCI, L., *ibidem*, pp. 24-25.
[15] CALDERINI, C., PODESTÀ, S., "Gli stru-menti della diagnosi strutturale: meccanica e tecnica nello sviluppo dei monitoraggi storici", *Proceedings of the International Seminar "Theory and Practice of construction: knowledge, instruments, models"*, Ravenna, 27-29 Ottobre 2005, pp. 493-504.
[16] CASIRATI, M., "Indagini sperimentali: c'è chi le fa, ma non le sa fare", in *Ingegneria Sismica*, vol.1, 2000, pp. 50-54.
[17] SEJOURNE, P., *Grandes voûtes*, Bourges, 1913.
[18] SEJOURNE, P., *ibidem*, tomo III, p. 198.
[19] HEYMAN, J., "The stone skeleton", *International Journal Solids Structures*, vol. 2, 249-279.
[20] CASTIGLIANO, C.A., *Théorie de l'equilibre des systemes élastiques et ses applications*, Torino, 1879.
[21] GUIDI, C., Lezioni di Scienza delle costruzioni, Negro, Torino, 1928.
[22] AA.VV., *Atti del Convegno Nazionale "La meccanica delle murature tra teoria e progetto"*, Messina, 18-20 Settembre 1996.
[23] GIOVANNONI, G., *Il restauro dei monumenti*, Cremonese, Roma, 1945, pp. 45-46.

Maria Sirago

Nuove tecnologie nautiche: dal vascello alla nave a vapore

Dalla galera al vascello

Tra la fine del '500 e gli inizi del '600 si sviluppò l'esigenza di una navigazione basata su solidi presupposti teorici, che permettesse di affrontare di affrontare i lunghi viaggi oceanici[1]. Si passò così dalla propulsione remica delle galere a quella mista (remica e velica) delle galeazze a quella velica dei vascelli. E questa fu una trasformazione epocale che, a detta di Carlo Maria Cipolla, segnò il passaggio dall'energia umana a quella delle macchine[2]. Da fine '500 la monarchia spagnola organizzò una "Armada del Mar Oceano", composta da vascelli, a cui anche il viceregno napoletano dal 1628 contribuì con 8 vascelli e 1 petaccio, o nave appoggio[3]. Comunque per tutto il '600 furono usate anche le galere, sempre valide per i combattimenti mediterranei[5].

All'avvento degli austriaci, nel 1707, un accurato piano finanziario permise di ricostruire la flotta (portata via dagli Spagnoli), tanto che negli anni '30 si contavano 4 navi da guerra e 4 galere[6].

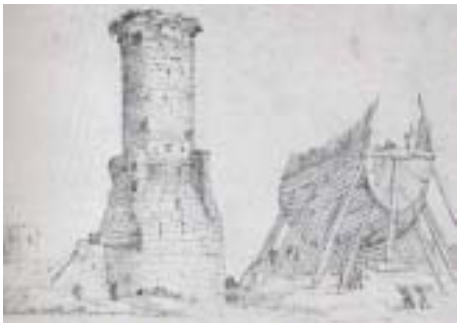


Fig. 1 – Vascello in costruzione alla Torre di San Vincenzo, Napoli (inizi '600)[4]

Ed anche Carlo di Borbone dal 1734 dette ordini per la riorganizzazione della flotta, distrutta dagli austriaci: nel 1736 si cominciò a costruire il vascello *San Filippo La Reale*, di ben 60 cannoni, l'ammiraglia della flotta, completato nel 1738. Ma anche questa volta, come per il passato, il vascello veniva costruito con piani empirici dal "costruttore maggiore", il genovese Sebastiano Tixi, coadiuvato dal fratello Francesco e dal figlio Giovanni. Quindi furono costruite una fregata da 50 cannoni, la *San Carlo La Partenope,* e 4 galere.

Una svolta nel sistema costruttivo si ebbe dopo l'arrivo di Jhon Acton, nel 1779, nominato direttore della Segreteria di Marina. Nell'intento di una totale ristrutturazione della flotta riorganizzò le scuole nautiche di Meta e Carotto, a Piano di Sorrento, e di San Giuseppe a Chiaia, a Napoli, per formare validi equipaggi[7]. Nel contempo decise di costruire un cantiere statale a Castellammare, dove vi era una antica tradizione cantieristica[8]. Voleva infatti renderlo atto alle nuove tipologie costruttive già in uso in Francia. Perciò nel 1780 la Stamperia Reale fece tradurre dal francese e stampare il trattato dell'Euler sulla costruzione dei vascelli[9]. Quindi l'Acton fece chiamare a Napoli un suo



Fig. 4 – P. Hackert. Varo del vascello Partenope a Castellammare[10]

collaboratore di origine francese, l'"ingegnere costruttore" Antonio Imbert, allora tenente del Granduca di Toscana, che portò con sé i piani di diverse imbarcazioni costruite negli arsenali francesi, tra cui quelli dell'ingegnere Jaques – Noel Sané. Da quel momento si può dire che in Napoli si sviluppò la scienza delle costruzioni navali già sviluppata in Francia dove dal 1765 era stato costituito un Corpo del Genio Navale costituito da ingegneri formati in apposite scuole. A Castellammare fu costruita una "sala a tracciare" in cui si delineavano i "garbi" dei vascelli da 74 cannoni e furono ricavate le "madre formi", sagome per produrre navi gemelle.

Il primo vascello varato nel 1786 fu il *Partenope,* su modello del vascello francese *Leopard.* Poi furono.costruiti altri 5 vascelli fino al 1795, il *Ruggiero*, il *Tancredi*, il *Guiscardo*, il *Sannita* e l'*Archimede*; ed essi furono affiancati anche da fregate, corvette e barche cannoniere[11].

Ma nel 1798 re Ferdinando, prima di fuggire a Palermo, dette l'ordine di colare a picco e bruciare le navi rimaste, per impedire che cadessero nelle mani dei repubblicani[12].

Il decennio francese

In epoca francese fu istituito il Corpo del Genio Marittimo suddiviso in Genio Navale e Genio Idraulico, il che permise di creare per la prima volta nel Regno un corpo di marina militare.

Fu poi decisa la riorganizzazione delle scuole nautiche di Meta e Carotto e di quella napoletana e se ne aprì un'altra a Procida a spese del ceto mercantile[13].

Nel 1808 Murat istituì il Corpo degli ingegneri di Ponti e Strade, su modello francese, e nel 1811 creò la "scuola di applicazione", cioè la scuola degli ingegneri, a cui era affidato lo studio delle strutture portuali. Per lo sviluppo della cantieristica si decise di ingrandire lo scalo napoletano con uno scalo in muratura. Ed in quello di Castellammare, dove si costruivano i vascelli, fu redatto un progetto per costruire tre scali in cui impostarne tre contemporaneamente, in modo da adeguarlo agli altri arsenali fatti ristrutturare da Napoleone, Venezia, La Spezia, Genova dove si dovevano costruire vascelli da 80 cannoni[14].

Intanto, su richiesta di Napoleone, Murat fece costruire rapidamente 4 vascelli di linea. Già nel 1810 fu varato a Castellammare il vascello *Capri* da 74 cannoni, costruito sotto la direzione dell'ingegnere francese La Fosse. Poi fu impostato il vascello da 80 cannoni *Gioacchino*, costruito su piani francesi

sotto la supervisione dell'ingegnere Greslè, varato nel 1812.

Quindi fu impostato l'*Archimede,* da 74 cannoni, gemello del *Capri,* mai portato a termine per gli eventi bellici[16].

Dalla vela al vapore

Dopo la restaurazione la marina era in crisi, anche perché i vascelli costruiti in epoca francese erano invecchiati. Solo nel 1822 fu completato il vascello impostato dai francesi, varato due anni dopo con il nome di *Vesuvio*[17].

Ma proprio in quegli anni cominciò l'"avventura" del vapore, il cui uso si stava diffondendo in Europa. Nel 1816 l'armatore francese Pietro Andriel, che aveva già effettuato degli esperimenti nella sua patria, presentò una memoria per introdurre la navigazione a vapore, ottenendo l'anno seguente, il 14 gennaio, con regio decreto n. 616, una "privativa" per 15 anni per "l'esercizio della navigazione accelerata per mezzo delle trombe a fuoco, detta navigazione a vapore" insieme ad una privativa per scavare miniere di carbon fossile per alimentare la macchina[18]. Così, costituita una società, l'Andriel progettò di armare 4 battelli a vapore, facendo costruire nel 1818 a Castellammare il primo di essi, il *Re Ferdinando Primo,* varato il 24 giugno. Nel contempo l'Andriel si recò in Inghilterra per acquistare la macchina a vapore[19].

Intanto la monarchia, preoccupata degli aspetti tecnici, ordinava che i capitani di bastimenti a vapore dovessero essere scelti tra le maestranze della regia marina. Il primo viaggio, iniziato il

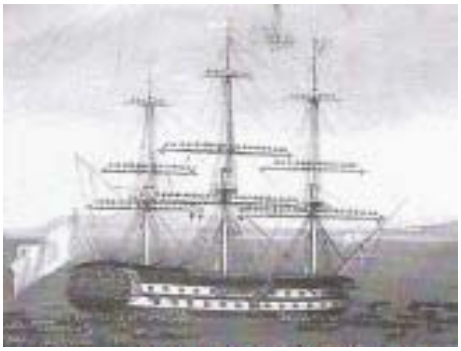


Fig. 6 – Il vascello Gioacchino da 80 cannoni[15]

27 settembre, fu stabilito per la linea Napoli-Roma-Livorno-Genova-Marsiglia e ritorno. Ma l'"avventura" si rivelò fallimentare: difatti i passeggeri avevano paura di viaggiare su di una nave che "sputava fiamme" e poi all'arrivo nei vari porti si accorreva temendo che la nave si fosse incendiata. Perciò l'Andriel sciolse la società, disarmò il battello e tornò in Francia[21].

Negli anni seguenti altri armatori tentarono di reintrodurre la navigazione a vapore: fu prescelto Giorgio Wilding, principe di Butera, che formò una società con i negozianti Vallin, Routh, Valentie e compagni, ottenendo il 2 dicembre 1823 una "privativa" di dieci anni per "l'introduzione de' bastimenti a vapore"per compiere viaggi da



Fig. 7 – Il battello a vapore Ferdinando I[20]

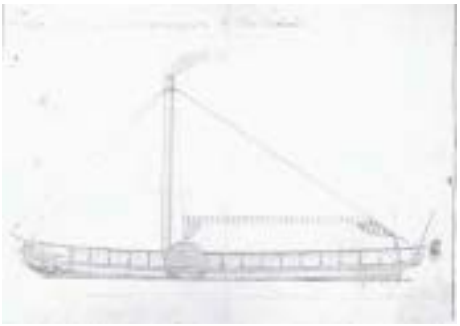


Fig. 8 – Disegno del Real Ferdinando[22]

Napoli per la Sicilia e viceversa con passeggeri e posta.

Fu così acquistato in Inghilterra, a Glasgow, il "pacchetto a vapore" *Real Ferdinando,* una imbarcazione che prendeva il nome dal battello francese "paquebot", utilizzato per il trasporto della posta, dei passeggeri e di piccoli colli.

Questa fu la prima società di navigazione costituita nel Mediterraneo. Il "pacchetto iniziò i suoi viaggi regolari tra Napoli e Sicilia, toccando oltre Palermo anche Messina e Catania. Poi fu introdotto il servizio per Civitavecchia, Livorno, Genova, Marsiglia e ritorno. E talvolta venne usato anche per "gite di piacere" nel Golfo di Napoli, con sosta di due ore a Capri, Ischia o Sorrento



Fig. 9 – Pacchetto a vapore nel golfo napoletano[26]

o per far assistere al varo di un vascello a Castellammare. Iniziava così l'"avventura del "turismo di massa"[23]. Il *Real Ferdinando* fu poi rivenduto ad uno dei soci e nel 1828 acquistato da Giorgio Sicard che nel 1831 lo pose in disarmo, noleggiando il battello parmense Maria Luigia. Scaduta la "privativa", nel 1834, il sovrano non la rinnovò perché voleva istituire un regio servizio di vapori postali. Perciò il Sicard ottenne di poter trasformare la società in società anonima, con il solo privilegio di utilizzare marinai della flotta regia, da mantenere a sue spese, con l'obbligo di istruirli nel nuovo tipo di navigazione e tenerli a disposizione del governo. Lo stesso 1834 il figlio Leopoldo si recò a Glasgow per acquistare un terzo vapore, il *Maria Cristina,* varato l'anno seguente. Morto Giorgio Sicard nel 1835 ed il figlio Leopoldo nel 1839, la società si trasformò in anonima per azioni, col nome di "Amministrazione per la navigazione a vapore nel Regno delle Due Sicilie" con due vapori in servizio, il *Francesco I* e il *Maria Cristina*[24]. Intanto nel 1836 il sovrano aveva deciso di istituire la "Delegazione Reale dei pacchetti a Vapore" con due pacchetti in legno a ruote acquistati in Inghilterra per la Regia marina, il *Nettuno* e *il Ferdinando II,* a cui aggiunse la goletta inglese a vapore *Santa Wenefreda* rivenduta dopo un incendio e ricostruita a Castellammare[25].

Intanto vi erano state accese discussioni sulla concessione di privative sul vapore, ritenute valide solo per un breve periodo iniziale, per cui si richiede-

va che lo stato intervenisse per permetter lo sviluppo del nuovo sistema di navigazione[27]. Perciò il sovrano nel 1839, per agevolarne la diffusione, accordò un premio per coloro che costruivano navi a vapore nel regno.

Così la stessa "Amministrazione per la navigazione a vapore", in crisi per l'aumentata concorrenza e gli esosi diritti richiesti dalla Francia nel porto di Marsiglia[28], decise di riorganizzare l'attività con l'acquisto di tre vapori, il piccolo *Furia,* per il servizio nel golfo napoletano, il *Mongibello* e l'*Ercolano,* tutti di costruzione inglese. Poi nel 1846 furono acquistati altri due vapori in ferro a ruote, il *Vesuvio* ed il *Capri*[29].

Nel contempo dopo tre anni la "Delegazione Reale dei pacchetti a Vapore" venne soppressa per mancanza di guadagno[30]. Ma un anno dopo, nel 1840, re Ferdinando II approvò l'acquisto in Inghilterra di 3 battelli a vapore, il *Nettuno,* il *Lilibeo* ed il *Peloro,* da adibire al trasporto della corrispondenza postale, viaggiatori e merci, affidati all'"Amministrazione generale delle Poste e dei Procacci", che entrarono in servizio nel 1842. E l'anno seguente ordinò altre tre navi a vapore in Inghilterra, la *Rondine*, l'*Antilope* e l'*Argonauta*, e due in Francia, il *Palinuro* ed il *Misero,* istituendo il servizio postale statale[31].

Le macchine inglesi oltre alle navi del servizio postale dal 1836 erano state usate per un primo "cavafondo" a vapore, o draga, il *Vulcano,* necessario per ripulire i fondali dei porti adriatici, che tendevano ad interrirsi[32], costruito nel laboratorio pirotecnico fondato nel 1830



Fig. 10 – Il cantiere di Castellammare nel 1860 [34]

a Torre Annunziata e diretto dal capitano di vascello William Robinson di origine scozzese[33] Poi, dato il nuovo corso della tecnologia, tra il 1840 ed il 1849 fu risistemato il cantiere di Castellammare di Stabia con macchinari acquistati in Inghilterra.

Nel contempo il cantiere napoletano continuava ad essere usato per le riparazioni e la manutenzione della flotta a vela borbonica e la costruzione del naviglio minore[35]. Perciò nel 1852 fu costruito il "bacino di raddobbo", un bacino di carenaggio, unico in Italia, che dava lavoro a 1000 operai"[37].

Ma il sovrano sentiva la necessità di affrancarsi dal giogo straniero, visto che



Fig. 11 – L'Arsenale di Napoli (1845-50)[36]



Fig. 12 – La pirofregata Ettore Fieramosca

si era diffuso l'uso del vapore e macchinari e macchinisti dovevano ancora giungere dall'Inghilterra o dalla Francia. Così dopo la morte del Robinson decise di trasferire il laboratorio pirotecnico nel palazzo reale e poi nel 1840 ne ordinò il trasferimento a Pietrarsa, presso la marina di Portici, dove fu costruito il "Reale opificio pirotecnico" che già nel 1841 dava lavoro a 200 operai. Ed in esso fu fondata anche una "scuola di allievi" per creare "perfetti macchinisti" ed abili costruttori ed inventori di macchine[38]. L'opificio, terminato in un decennio, cominciò subito a produrre macchine a vapore sia per le navi che per la nascente ferrovia[39].

Il primo edificio fu una "Grande Sala delle Costruzioni" dove inizialmente si assemblavano pezzi per macchine a vapore acquistate all'estero e si eseguivano riparazioni per la regia marina.[40] Intanto nel 1844 era stato approvato un nuovo organico del "Corpo dei Piloti", composto da 100 unità, e l'anno seguente venne stabilito quello dei macchinisti in servizio sui legni a vapore[41]. Perciò nel 1847 venne riorganizzata la "Scuola prattica", necessaria per la formazione di piloti d'altura, sia per la marina militare che per quella mercantile. Infine nel 1851 fu costruita a Pietrarsa una intera macchina vapore di 300 cv., montata sulla pirofregata *Ettore Fieramosca.*

Questa nave, il cui scafo era stato costruito tra il 1849 ed il 1850 a Castellammare; fu la prima unità costruita in tutte le sue parti, macchine comprese, nel Regno[42].

Cominciava così la storia dell'industria navale meridionale, unico settore realmente produttivo, incentivato dal sovrano, attraverso il quale si sviluppò un notevole indotto[43]. In effetti già dagli anni '30 si erano sviluppati in regno gli studi sul vapore, applicato in vari settori. E nel 1832 l'abate Giuseppe Conti aveva richiesto una "privativa d'invenzione" per una "macchina a vapore di media pressione", di dimensioni più ridotte rispetto a quelle in uso. E l'Istituto di Incoraggiamento si era mostrato favorevole al progetto, anche perché le costruzioni, effettuate in Napoli, avrebbero dato lavoro a 1000 operai[44]. Due anni dopo era stata fondata la fabbrica Zino ed Henry che, trasferitasi nel 1840 al ponte della Maddalena, dal 1842 aveva cominciato a lavorare su commissione per la marina borbonica. Poi nel 1850, con l'apporto del cospicuo capitale del proprietario calabrese Gregorio Macry, la ditta si espanse e mutò il nome in Macry, Henry & Co, per cui aumentarono le commesse per la produzione di strutture metalliche per le navi mili-

tari[45]. Intanto continuavano gli studi e le sperimentazioni. Nel 1849 l'inglese Enrico Buckmaster, "ingegnere meccanico" e "macchinista al servizio della Real Marina Napoletana" aveva ottenuto una "privativa" per cinque anni per delle modifiche apportate alla macchine a vapore in uso, allo scopo di diminuirne lo spazio per aumentare le capacità di carico delle navi[46]. La "privativa" era stata però concessa a patto che rimanessero liberi tutti gli esperimenti e le costruzioni effettuati nello stabilimento pubblico di Pietrarsa[47].

Ma la fabbrica più importante fu la "Guppy & Co"., fondata nel 1852 dall'ingegnere navale Thomas Richard Guppy, industriale inglese di Bristol, a Napoli dal 1849, in società con Jhon Pattison, un tecnico inglese e macchinista, venuto a Napoli nel 1842 per dirigere l'officina di riparazione della ferrovia Bayard, che aveva ottenuto una "privativa" per nuove modifiche alle macchine a vapore[48]. La "Guppy" dal 1855 divenne la fornitrice per le "minuterie" (cioè tutti i materiali occorrenti al rifacimento delle navi in costruzione e riparazione) per la regia marina, visto che i suoi lavori erano i migliori del Regno.

Vicino allo stabilimento alla Maddalena fu poi impiantato un cantiere navale con scali e macchinari per lavorare parti di navi. E nel 1859 lo stesso Guppy ottenne una "privativa"per le "Ammigliorazioni delle caldaie a vapore, avendo per iscopo la loro capacità di generare vapore"[49]. Ma dopo l'Unità, nel 1862, la società si sciolse, per cui il Pattison con i figli Cristofaro e Tho-mas Taylor fondò un altro stabilimento[50].



Fig. 13 – La fregata ad elica Borbone[51]

Dagli anni '50 fu sperimentato anche il sistema di navigazione ad elica, più agevole di quello con le pesanti e delicate ruote a pale. Perciò la real Marina iniziò gli studi per produrre una coppia di fregate ad elica. Ma ancora una volta si dovè cercare il modello all'estero, per cui venne utilizzato quello inglese della fregata *Shannon*. La nave fu completata nell'estate del 1860 e le fu dato il nome di *Borbone.* Ed all'arrivo dei Piemontesi erano sullo scalo del cantiere di Castellammare la gemella del *Borbone,* la pirofregata *Farnese,* anch'essa dotata di una macchina inglese, e la pirocorvetta *Etna* [52]. Nel contempo

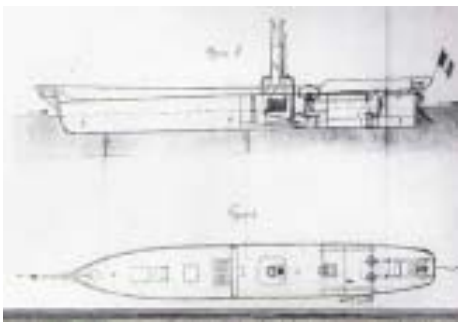


Fig. 14 – Macchina di Cognard[53]

continuavano le sperimentazioni: difatti nel 1861 Luigi Cognard chiedeva una "privativa" per un nuovo propulsore da applicarsi alle navi.

[1] M. Sirago *Dalla galera al vascello, in Rapporti diplomatici e scambi commerciali nel Mediterraneo moderno,* Convegno Internazionale, (Fisciano, 23-24 ottobre 2002), a cura di M. Marfici, Soveria Mannelli, Rubettino (Catanzaro), 2005, pp. 461-487.

[2] C.M. Cipolla, *Vele e cannoni* (1ª ed. 1965), in *Tecnica, società e cultura. Alle origini della supremazia tecnologica dell'Europa (XIV-XVII secolo),* Bologna, Il Mulino. 1989, pp. 117-245, p. 156.

[3] M. Sirago, *L'"Armata del Mar Oceano" o dei "Vascelli d'alto bordo" a Napoli (1623-1707),* comunicazione letta al Congreso "V Centenario del descubrimiento" : del Mediteraneo al Atlantico. Tradicion e innovacion en la America Moderna, (in Memoriam prof. Armando Saitta), Associazione degli Storici Europei (Roma), Ibiza, 21-24/10/1992, poi "Studi Storici Meridionali", 2/1994, pp. 99-116.

[4] *Civiltà del Seicento a Napoli,* Napoli, ELECTA, 1984, II, p. 74, Filippo Napoletano, Plymouth, Museum

[5] M. Sirago, *La flotta napoletana nel viceregno spagnolo (1598-1707)*, II parte, "Frontiere d'Europa", in corso di stampa.

[6] A. Di Vittorio, *Gli Austriaci e il Regno di Napoli 1707-1734. Le finanze pubbliche*, Napoli, 1969, pp. 282 ss.

[7] M. Sirago, *Scuole per il lavoro. La nascita degli Istituti "professionali" meridionali nel dibattito culturale tra fine '700 e '800,* "Rassegna Storica Salernitana", 31, 1999, pp. 109 – 172.

[8] A. Formicola, C. Romano, *Il periodo borbonico 1734 1860,* in A. Fratta, a cura di, *La fabbrica delle navi. Storia della cantieristica nel Mezzogiorno d'Italia,* Napoli, ELECTA., pp. 61-156.

[9] L. Euler, *Teoria compiuta della costruzione e della manovra dei vascelli messa alla portata di quelli che si applicano alla Navigazione* (1ª ed. Parigi 1776), Napoli, Nella Stamperia Reale, 1780

[10] In A. Formicola, C. Romano, *Il periodo borbonico,* cit., p. 87..

[11] A. Formicola, C. Romano, Il periodo borbonico, cit., pp .82-102.

[12] A. Formicola, C. Romano, *Napoli 9 gennaio 1799. Una flotta in fumo. Documenti, fatti 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.

[13] M. Sirago, *Scuole per il lavoro*, cit.

[14] M. Sirago, *Le città e il mare. Economia portuale, identità culturale dei centri costieri del Mezzogiorno moderno*, Napoli, ESI, 2004, pp. 44-48

[15] A. Formicola, *Dalla galera al vascello da 80*, cit., p. 317.

[16] A. Formicola, *Dalla galera al vascello da 80*, cit., pp. 303-304..

[17] A. Formicola, C. Romano, *Il periodo borbonico*, cit., p. 110.

[18] Archivio di Stato di Napoli (d'ora in poi ASN), *Ministero dell'Interno*, II inventario, f. 582. Cfr. anche A. Portente, A. Tolomeo, *Il progresso tecnologico del Mezzogiorno pre - unitario dalle iconografie dell'Archivio di Stato di Napoli,* I, I testi, a cura di I. Principe, Napoli, MAPOGRAF, 1991, pp. 55-57.

[19] C. Perfetto, *Vicende della Marina Mercantile a vapore nel reameicilie dal 1818 al 1860,* Napoli, Stabilimento Tipografico G. Barca, 1923, pp.3 ss.

[20] Acquerello di A.Roux databile 1820-1825, Marsiglia, Musèe de la Chambre de Commerci, Foto José Merino, in C. Romano, *L'avvento del vapore nel campo marittimo e la nascita dell'industria navale nel Regno delle due Sicilie 1830-1860,* in *La rosa e il magnete,* cit., pp. 321-345, p. 343

[21] C. Perfetto, *Vicende,* cit., pp.21 ss.

[22] ASN, Ministero dei Lavori Pubblici, fasc. 70 bis n.b8, Anonimo, XIX secolo, "Profilo del battello a vapore *Real Ferdinando",* M. Sirago,

scheda 6.25, in *Casa di R. Un secolo di storia alla Reggia di Caserta 1752-1860,* Ginevra – Milano, Skira, 2004, pp. 319-320 (il disegno è a p. 273).

[23] M. Sirago, scheda 6.25 per il battello a vapore *Real Ferdinando,* in *Casa di Re, cit.,* pp. 319-320

[24] C. Perfetto, *Vicende della Marina Mercantile a vapore,* cit., pp. 30 ss.

[25] L. Radogna, *Storia della marina mercantile delle Due Sicilie (17341860),* Milano, Mursia, 1982, pp. 75 ss.,

26 Stampa di M.H. Bayard, 1832, collezione privata, in A. Formicola, C. Romano, *L'industria navale di Ferdinando II di Borbone,* Napoli, F.Fiorentino, s.d. ma 1994, p. 24

[27] P. Lanza principe di Scordia, *I vapori*, Palermo, Tip. Eveg, Lao e Roberti, 1836

[28] J. Millenet, *Reflexions sur la question touchant les bateaux à vapeur de la Poste,* Naples, De l'imprimerie et papeterie du Fibreno, 1837.

[29] L. Radogna, *Storia della marina mercantile,* pp. 56 ss.

[30] *Cenno sull'amministrazione della real delegazione de' pacchetti a vapore napoletani, Napoli,* s.n.t, 1 gennaio 1838, conto da maggio 1836 a dicembre 1837 per viaggi in due direzioni, a Civitavecchia, Livorno, Genova, Marsiglia ed a Palermo, Messina, Troppa, Siracusa, Malta .

[31] L. Radogna, *Storia della marina mercantile,* pp. 75 ss.

[32] M. Sirago *Le città e il mare,* cit., p. 55.

[33] C. Garofalo, *Pietrarsa da opificio a museo,* Napoli, Altrastampa, 1997, p. 11.

[34] Napoli, collez. A. Formicola, in A. Formicola, C. Romano, *L'industria navale,* cit., p. 121

[35] C. Romano, *L'avvento del vapore,* cit., pp. 321 ss.

[36] Incisione di A.Guedson, Istituto Suor Orsola benincasa, Foto Claudio Romano, in C. Romano, *L'avvento del vapore,* cit., p. 342.

[37] A. Formicola, C. Romano, *L'industria navale,* cit., pp. 141 ss.

[38] A.V., *Reale opificio pirotecnico di Pietr'arsa,* in "Poliorama pittoresco", feb.ag 1842, pp. 302-304.

[39] C. Garofalo, *Pietrarsa,* cit. Oggi a Pietrarsa è ospitato il museo della ferrovia.

[40] A. Formicola, C. Romano, *L'industria navale,* cit., pp. 94 ss..

[41] L. Radogna, *Storia della marina militare delle Due Sicilie,* Milano, Mursia, 1978, pp. 108-117.

[42] C. Romano, *L'avvento del vapore,* cit., pp.330-334.

[43] J. Davis, *Società e imprenditori nel regno borbonico,* Bari, Laterza, 1979, pp. 131 ss.

[44] ASN, *Ministero dell'Interno*, II inventario, f. 588 fs. 4420, 3/4, 3/8, 15/8 1832; ibid., Ministero dell'Industria, Agricoltura e Commercio, d'ora in poi MAIC, 279/13.

[45] A. Formicola, C. Romano, *L'industria navale,* cit., p. 98.

[46] ASN, MAIC, 274, 13/7/1847 e 16/6/1849.

[47] ASN, MAIC, 280, n° 217, 22/4/1849.

[48] ASN, MAIC, 277/26, 16/2 e 7/4/ 1851 e 22/7/52: la macchina era stata sperimentata nella filanda del signor Wanviller, « Salerno

[49] ASN, MAIC, 286/21, 2/5/1859, con descrizione delle "Ammigliorazioni" redatta dallo stesso Guppy.

[50] S. Mancarello, *Le attività industriali e la cantieristica navale nel Napoletano dal 1800 al 1860,* Tesi di laurea, Università degli Studi di Lecce, Facoltà di Economia e Commercio, A.A. 1999 – 2000 (conservata all'ASN), pp. 125 – 128.

[51] A. Formicola, C. Romano, *L'industria navale,* cit., p.124

[52] C. Romano, *L'avvento del vapore,* cit., pp. 335 –336.

[53] ASN, MAIC, 286/92, 11/81861.

FRANCESCO ROSA, EDOARDO ROVIDA

La figura dell'ingegnere industriale e la sua evoluzione nel tempo

Introduzione

Parafrasando un comune modo di dire, possiamo dire che la professione più antica del mondo è quella dell'ingegnere industriale: l'uomo preistorico che abbatte un ramo per difendersi è, infatti, un "ingegnere progettista.". Egli, infatti, cerca un ramo con le dimensioni adatte al suo obbiettivo: compie, cioè, un dimensionamento. Il ramo, inoltre, deve essere di forma adatta alla funzione (progettazione funzionale) e deve essere facile da raggiungere (progettazione orientata all'ottenimento). Il trovare, poi, un ramo con tutte queste caratteristiche è un esempio di "concurrent engineering".

I precursori

Fra le prime realizzazioni di "ingegneria industriale", eccone alcune:

- 2.500.000 a.C. prime lavorazioni (scalpellatura, raschiettatura)
- 500.000 a.C. utilizzo del fuoco
- 20.000 a.C. arco e frecce
- 3.600 a.C. utilizzo del bronzo per oggetti di fusione
- 3.300 a.C. utilizzo della ruota

Un ignoto "ingegnere industriale" della preistoria ha scoperto che l'arco, oltre che un'arma, può essere uno strumento per trasformare il moto rettilineo (deformazione elastica dell'arco) in rotatorio (rotazione di un utensile) superando la limitazione alle rotazioni imposta dall'articolazione del polso e del gomito (Fig. 1).

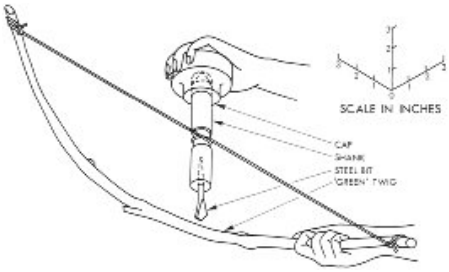


Fig. 1 - Esempio di creazione di un "ingegnere" industriale preistorico

Nell'evo antico iniziano le speculazioni scientifiche, ad opera principalmente dei filosofi della natura (Pitagora, Empedocle, gli Atomisti) e di personaggi come Aristotele, Archimede e gli studiosi della Scuola Alessandrina. Gli ingegneri progettano e realizzano, in generale, basandosi su osservazioni dirette, più che non su basi teoriche e senza troppe formalizzazioni. Si arriva, comunque, a realizzazioni notevoli: basti pensare alle macchine semplici ed alle loro combinazioni, alle costruzioni navali e dei carri, alle macchine di sollevamento. Compaiono in questo periodo le prime applicazioni dei cuscinetti volventi (a sfere ed a rulli), come testimoniato dalle navi romane rinvenute nel lago di Nemi.

Ma gli ingegneri industriali dell'antichità non si occupano solo di realizzazioni di macchine, ma iniziano ad essere "gestionali", occupandosi della nascente "organizzazione" del lavoro. Ne nascono, infatti, forme embrionali. L'antico artigiano lavora su commessa, realizzando ciò che è più adatto alle esigenze del cliente; con l'allargarsi dei mercati, invece, l'artigiano deve tenere conto delle esigenze presumibili dei clienti che non conosce direttamente. Si arriva, quindi, ad una rudimentale standardizzazione.

La Fig. 2 mostra un esempio di realizzazione di ingegneria industriale romana.



Fig. 2 - Macchina di sollevamento romana

Nel Medioevo gli sviluppi teorici sono molto modesti, riconducibili alla trasmissione di intuizioni soprattutto aristoteliche.

Le realizzazioni aumentano di dimensioni e di complessità. Basti pensare alle grandi cattedrali medioevali ed al contributo che esse hanno richiesto all'ingegneria industriale: macchine di sollevamento di dimensioni sempre maggiori ed organizzazione del lavoro sempre più spinta, senza la quale tutte le varie categorie di artigiani che concorrevano alla costruzione di un edificio, come il Duomo di Milano, non sarebbero state in grado di operare in modo coordinato.

Il Rinascimento

Con il Rinascimento iniziano, sia pure in forma embrionale, il calcolo e la sperimentazione e gli ingegneri industriali iniziavano ad avvalersene.

I disegni tecnici iniziano ad acquisire un carattere progettuale: tra la fine del XVI e l'inizio del XVII secolo iniziano a differenziarsi i disegni d'assieme e quelli costruttivi e le dimensioni iniziano ad essere indicate attraverso la scala grafica.

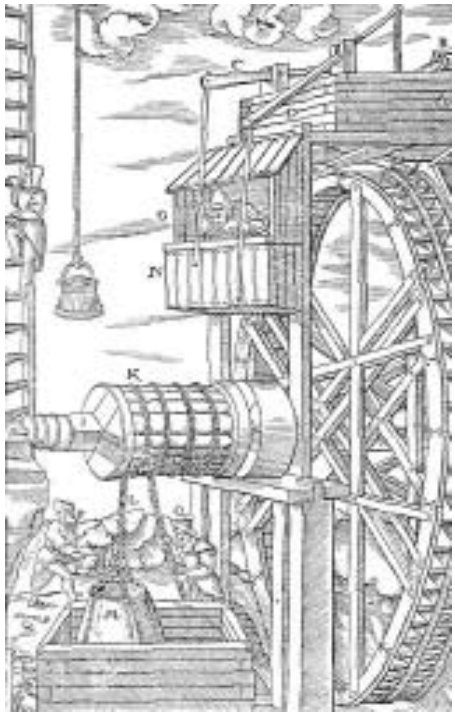


Fig. 3 - Macchina rinascimentale di sollevamento con azionamento idraulico

La Fig. 3 mostra un disegno "d'assieme" di una macchina di sollevamento con azionamento idraulico. Si noti l'"operatore" che, dalla sua "cabina di azionamento", attraverso due leve dirige il getto d'acqua su una o sull'altra delle due palettature, invertendo il senso del moto.

La formazione degli ingegneri avviene in modo non formalizzato, per affiancamento e per osservazione diretta. I giovani aspiranti vanno "a bottega" dal maestro e lì, osservando, provando e riprovando, imparano il mestiere: così aveva fatto anche il giovane Leonardo che si era formato alla scuola del Verrocchio.

Nel 1563 nasce a Milano il Collegio degli Ingegneri. Esso rilascia le "patenti" che sono conferite solo a chi avesse esercitato la professione per almeno quattro anni presso un ingegnere più anziano ed appartenesse ad una "famiglia distinta".

Il Seicento e il Settecento

Tra il XVII ed il XVIII secolo, avvengono tre grandi fatti che hanno un grosso impatto sull'attività degli ingegneri industriali (e non solo di quelli): la teoria dell'elasticità, ad opera di Hooke e De Saint Venant, che costituirà le basi dei calcoli di resistenza, le proiezioni ortogonali, per opera di Monge, che costituiranno la base dei disegni tecnici e, quindi, del linguaggio fondamentale di comunicazione fra tecnici (Fig. 4) e l'introduzione dei logaritmi, ad opera di Nepero, base del regolo calcolatore che sarà lo strumento fondamentale di calcolo fino al 1970 (Fig. 5).

Il Collegio degli Ingegneri viene soppresso da Napoleone, che lascia all'Università di Pavia il compito di preparare gli ingegneri.

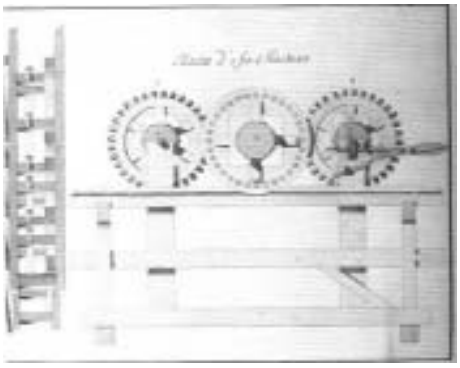


Fig. 4 - Disegno tecnico in proiezioni ortogonali (XVIII secolo).
Le proiezioni ortogonali, introdotte da Monge, sono la base dei disegni tecnici e, quindi, del mezzo di comunicazione fondamentale fra tecnici



Fig. 5 - Il regolo calcolatore, basato sui logaritmi, introdotti da Nepero, è lo strumento di calcolo fondamentale fino al 1970

L'Ottocento

Nella prima metà del XIX secolo, sulla spinta dei riflessi della rivoluzione industriale, si inizia ad avvertire l'inadeguatezza di tale sistema formativo. Sulla rivista "Il Politecnico" viene teorizzata da Carlo Cattaneo la figura dell'ingegnere moderno, in grado di far fronte alle esigenze imposte dai tempi in rapida trasformazione.

Nascono, allora, sulla scorta della preoccupazione con cui si inizia a vedere il nascere delle scuole tecniche un po' in tutta Europa, la Scuola di ponti e strade a Napoli nel 1811 e la Scuola per gli Ingegneri di Roma nel 1817.

Queste iniziative, pur valide ed interessanti, sono comunque "viziate" dall'equivoco del primato delle scienze pure su quelle applicate e sono quindi caratterizzate da una prevalenza di studi astratti che portano ad una preparazione eccessivamente teorica.

D'altra parte, le esigenze di formazione di personale tecnico da parte dell'industria sono pressanti e crescenti. Nell'arco del XIX secolo, solo limitandosi all'area della "grande Milano", nascono: Badoni (fine '700), Breda e Falck (1840), Riva Calzoni (1861), Tecnomasio Italiano Brown Boveri (1863), Filotecnica Salmoiraghi (1875), Franco Tosi (1876), Pomini (1886), Borletti (1895) (Fig. ***6***).

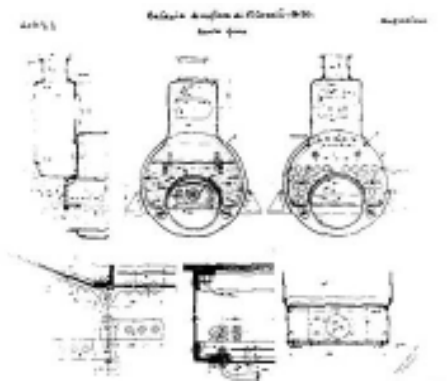


Fig. 6 - Esempio di disegno dell'industria (fine XIX secolo).

Si tratta di aziende attive nei più svariati settori della meccanica, dell'elettromeccanica, dell'energia, molto spesso produttrici di prodotti di eccellenza e di avanguardia nell'innovazione: proprio per tali ragioni, esse richiedono tecnici a tutti i livelli preparati ed aggiornati.

Un'importante iniziativa volta a soddisfare questa esigenza è la fondazione della Società di Incoraggiamento Arti e Mestieri, avvenuta a Milano nel 1838.

Nel 1859 la Legge Casati contempla l'istituzione a Milano di un "Regio Istituto Tecnico Superiore": nel dibattito che ne nasce, in cui una parte particolarmente attiva è rivestita da Francesco Brioschi, emerge la necessità che, accanto all'ingegneria civile, siano presenti altri indirizzi, a carattere squisitamente industriale.

Nel 1863 nasce l'Istituto (la denominazione "Politecnico", pur non ufficiale, viene usata da sempre ed ufficializzata solo nel 1937).

Fin dall'inizio, compaiono gli indirizzi seguenti:

- Ingegneria Civile
- Ingegneria Meccanica
- Normale per la formazione di insegnanti per le discipline scientifiche.

Nel 1865 compare l'Ingegneria Industriale, come evoluzione della meccanica, alla quale ultima si affiancano

nel 1887 l'Ingegneria Elettrotecnica e nel 1899 l'Ingegneria Chimica.

L'evoluzione dell'ingegneria industriale si lega ora, in larga misura, a quella del Politecnico di Milano.

Il Politecnico, grazie alla sua struttura amministrativamente più agile, può avviare immediati scambi con il mondo produttivo. Oltre all'ovvia destinazione dei laureati, che portano cultura e progettualità nelle aziende dove vanno ad operare (ed, in alcuni casi, ne fondano essi stessi di nuove) c'è da osservare che molti docenti collaborano con le imprese, stimolando innovazione e molti ingegneri delle imprese collaborano alla didattica, svolgendo seminari, esercitazioni e seguendo laureandi nell'elaborazione della tesi. Molte imprese, poi, finanziano laboratori del Politecnico: ad esempio, il cotoniere Eugenio Cantoni fa una donazione per l'istituzione di un corso di Economia Industriale, l'industriale Carlo Erba, nel 1886, dona 400.000 £ per l'Istituzione Elettrotecnica che prenderà il suo nome, gruppi di industriali lombardi nel 1893 fondano il Laboratorio di Meccanica Industriale, sul modello di quelli americani.

Un ruolo importante, per l'innovazione dell'ingegneria industriale italiana di questo periodo è svolto dai viaggi di studio che imprenditori e tecnici compiono, soprattutto nel periodo 1880-1890, in Francia, Belgio, Germania, Gran Bretagna, Stati Uniti. Essi, in questi Paesi, studiano la realtà produttiva, visitano imprese e laboratori, conoscono metodi di progettazione e di produzione e di organizzazione del lavoro.

Le loro esperienze, portate in Italia, si riveleranno preziose per lo sviluppo industriale del nostro Paese. Vale la pena di ricordare, a questo proposito, due esperienze:

- G.B. Pirelli, su spinta dei suoi professori Brioschi e Colombo, va in Germania, Belgio e Francia per studiare la nascente industria della gomma: tornato in Italia, nel 1872 fonderà l'azienda che porta il suo nome;
- Alberto Riva, subito dopo la laurea, nel 1870, compie un tirocinio nello stabilimento Caspar Honegger in Svizzera: l'esperienza acquisita lo porterà alla fondazione della Riva.

Il Novecento

Il nuovo secolo, il XX, è ormai alle porte. L'industria si sviluppa ed evolve. Nascono industrie nuove e quelle già esistenti si espandono, almeno inizialmente (Fig. 7).

Nascono Falck (1908), Alfa Romeo (1910), Aeronautica Macchi (1913), Grazioli (1919), Loro e Parigini (1921), Innocenti (1933). In esse, ed in moltissime altre, grandi, medie o piccole, gli ingegneri industriali del Politecnico di Milano portano il loro contributo progettuale e realizzativo.

Avvenimento molto importante a cavallo fra i due secoli, è la nascita della normazione. Ogni attività umana e particolarmente le attività tecniche, richiedono regole, norme che fissino criteri e modalità di svolgimento (Fig. 8).

Il XX secolo è segnato pesantemente dalle due guerre mondiali. Gli ingegneri industriali sono chiamati in prima

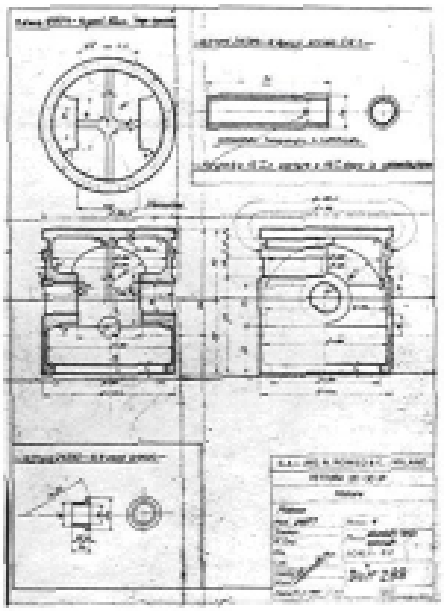


Fig. 7 - Disegno dell'industria (1910 ca.)

persona a contribuire allo sforzo a cui tutto il Paese è impegnato.

Essi hanno anche il grosso compito di contribuire ad affrontare la crisi dei due dopoguerra. Il secondo, in modo particolare, vede le industrie ed i servizi pesantemente colpiti.



Fig. 8 - Due delle prime norme tecniche emesse dall'Ente formatore italiano (UNI 1922-24)

I problemi sono, soprattutto, riconducibili ai seguenti:

- ricostruire gli stabilimenti, parzialmente o totalmente distrutti;
- riconquistare i mercati;
- aggiornare le tecnologie, in buona parte rimaste al livello anteguerra, mentre la guerra aveva portato innovazioni in ogni campo.

Gli anni dal 1950 al 1960 vedono un grande sviluppo in tutto il Paese e rendono la frase "miracolo italiano" non solo una frase fatta giornalistica. A tale miracolo, un grossa contributo è dato dagli ingegneri industriali, in tutti i campi produttivi e nei servizi.

Ormai siamo ai giorni nostri e la storia è diventata cronaca.

Il presente e il futuro

L'ingegneria industriale, in modo sempre più massiccio, acquisisce le nuove metodologie ed i nuovi strumenti ed affronta con essi i problemi dei tempi, dalla crisi energetica, alla progettazione sostenibile, dallo sviluppo del "virtuale" sul "reale", alla tendenza alle nano-tecnologie.

Grandi progressi sono stati compiuti da quando i primi "computer" si affacciarono sulla scena della ricerca scientifica e tecnologica.

Si trattava di macchine elettro-meccaniche, di dimensioni enormi e pesanti diverse tonnellate, che si evolsero dapprima nei calcolatori analogici e quindi in quelli digitali, che, grazie al progresso della tecnologia elettronica, sono divenuti quello che oggi chiamiamo computer.

Parallelamente all'evoluzione dell'"hardware", si sono sviluppati numerosi "software" applicativi che hanno aiutato e tuttora aiutano grandemente i progettisti nello svolgimento del loro compito. L'impiego di software sempre più evoluti su "macchine" sempre più potenti è ancora oggi fonte di continue rivoluzioni tanto nelle metodologie di sintesi progettuale, quanto nell'analisi di sistemi esistenti o comunque già definiti.

Molta strada è stata percorsa dai primi software CAD, semplici "sostituti" elettronici dei tecnigrafi, agli attuali modellatori tridimensionali parametrici, variazionali ed associativi in grado di rigenerare ed adattare automaticamente il modello dell'intero sistema al variare di alcune sue dimensioni e caratteristiche secondo leggi definibili dall'utente. A valle di tali software si collocano i sistemi CAM e CAPP, i primi tesi a stilare il programma di lavoro nel linguaggio delle moderne macchine utensili (anch'esse controllate da computer), i secondi utilizzati per definire l'intero ciclo di lavorazione di un prodotto.

Accanto ai sistemi di modellazione, anche se oggi sono sempre più frequentemente integrati in essi, si collocano i software dedicati alla simulazione della realtà, basati sull'implementazione di metodi analitici e numerici, che furono ideati nei secoli precedenti, ma che hanno avuto un grande impulso nelle ultime decadi.

Il più noto è sicuramente il metodo degli elementi finiti (Finite Element Method, FEM) sempre più ampiamente impiegato per la realizzazione di simulazioni di svariate categorie e tipologie di sistemi, anche molto complessi.

Si tratta, infatti, di un metodo nato per la soluzione di equazioni differenziali alle derivate parziali, per cui può essere utilizzato per lo studio della meccanica tanto dei continui, quanto dei fluidi, oltre che all'analisi di fenomeni di trasporto e diffusione ed allo studio di campi elettromagnetici.

Le richieste nate negli ambiti dell'industria e della ricerca hanno poi guidato lo sviluppo di software ed elementi specifici per la simulazione di situazioni tipiche per l'ingegneria industriale.

Trasversalmente o, forse, prima di tutti essi nella cronologia della nascita di un progetto, si collocano poi i software che aiutano il progettista a sviluppare nuovi "concept" mediante un approccio razionale alla progettazione (TRIZ e DfX sono tra i metodi più noti), i sistemi Knowledge Based, sviluppati per "catturare" la conoscenza del progettista per renderla poi disponibile per lo sviluppo del prodotto ed infine i sistemi PDM (Product Data Management) e PLM (Product Life-Cycle Management) destinati alla gestione di tutte le informazioni indispensabili per la gestione del prodotto non solo nelle fasi di progettazione e realizzazione, ma anche di impiego, dismissione e riciclaggio.

Come già accennato l'utilizzo dei computer si è ampiamente diffuso non soltanto nella fase progettuale, ma anche nelle macchine stesse, dando vita all'automazione sia degli impianti industriali destinati alla produzione di beni e servizi, sia alla nascita di prodotti sem-

pre più essi stessi automatizzati, fatto questo che ha portato l'ingegnere industriale a doversi "intendere" anche di elettronica, perlomeno da un punto di vista applicativo.

Conclusioni

Si può quindi concludere che l'ingegneria industriale affronta una ampia gamma di problemi con una visione decisamente trasversale. Essa si rinnova continuamente e si può a buon diritto affermare che è una scienza tecnica che porta molto bene la sua "età", ormai di alcuni millenni.

Note bibliografiche

AA.VV., *Il Centenario del Politecnico di Milano*, ivi 1963

AA.VV., *Il Politecnico di Milano. 1863-1914*, Catalogo della Mostra, Milano, Electa, 1981

V. Marchis, *Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*, Roma-Bari, Laterza, 1994

AA.VV., *Innovazione e sviluppo a Milano*, AIM (Associazione Interessi Metro-politani), 1996

Singer, *Storia della tecnologia*, Boringhieri

Giuliano Augusti, Claudio Borri, Paolo Spinelli

L'Ingegneria del Vento in Italia: dai primi passi alla maturità

La nascita della scienza dell'ingegneria del vento, nell'accezione moderna del termine, viene di solito identificata con la discussione della tesi di dottorato di A.G. Davenport nel 1961 presso l'Università di Bristol. Nella tesi e nei vari contributi scientifici dell'autore che l'hanno seguita[1] sono state poste le basi per lo sviluppo teorico di questa nuova scienza, essenzialmente basata sulla teoria probabilistica. Quasi contemporaneamente e parallelamente, gli studi di Jensen[2] [3] sulle gallerie del vento a strato limite hanno sviluppato le possibilità di studiare sperimentalmente gli effetti del vento sulle costruzioni civili.

È opportuno sottolineare che, per questi studi, è essenziale utilizzare non le usuali gallerie del vento aerodinamiche, caratterizzate da un "flusso laminare" ed utili per studiare gli effetti del moto relativo di un solido e un fluido, ma le gallerie "a strato limite sviluppato" (boundary layer wind tunnels), nelle quali si riproduce - in opportuna scala - il moto turbolento dovuto all'attrito dell'aria sul terreno, caratteristico del vento, per tutte le quote che interessano le costruzioni.

Numerose gallerie del vento di questo tipo sono quindi sorte in tutto il mondo e sono state il fulcro di centri di Ingegneria del Vento che hanno favorito un importante e talora impetuoso sviluppo delle ricerche, particolarmente in quei paesi in cui da una parte, per sviluppo urbanistico, gli edifici si sono sviluppati in altezza, e dall'altra la localizzazione geografica e le caratteristiche metereologiche delle regioni hanno condotto alla necessità di studi accurati su strutture alte e/o deformabili, e quindi sensibili al vento. Perciò tale sviluppo è stato particolarmente significativo in Nord America (USA, Canada): un contributo essenziale è stato dato dallo stesso A. G. Davenport con la fondazione e lo sviluppo del Centro di London Ontario, (Canada) che in quarant'anni e più di attività è stato all'avanguardia della ricerca in Ingegneria del Vento, sia sugli aspetti teorici che su quelli sperimentali.

In Europa la ricerca in Ingegneria del Vento parte negli anni '70 dalla Gran Bretagna ed investe la Francia e la Germania in particolare. In Italia invece, a causa anche del nostro clima relativamente mite (nei riguardi del vento in particolare), e dello sviluppo dell'edilizia che non ha finora prediletto l'altezza degli edifici, gli studi e le applicazioni tecniche di Ingegneria del Vento sono partite solo negli anni '80. Forse il primo contributo dell'Ingegneria del Vento in Italia può essere identificato con la relazione presentata dagli autori della presente memoria al Convegno dell'AIAS del 1984[4] che contiene un'introduzione

ai concetti fondamentali della disciplina ed un riassunto dei più significativi risultati raggiunti all'epoca.

Da allora la ricerca in Ingegneria del Vento si è sviluppata in maniera impetuosa anche in Italia. Tre nuclei ne hanno determinato l'impulso: il nucleo di Firenze, inizialmente costituito da G. Augusti (poi trasferitosi all'Università "La Sapienza" di Roma), P. Spinelli e C. Borri, e poi arricchito da numerosi brillanti allievi; il nucleo di Genova, fondato da G. Solari e D. Stura; il nucleo di Milano, guidato da G. Diana, che si sviluppa in un altro contesto scientifico, e soprattutto in vista dell'applicazione particolare al ponte di Messina, struttura che nel vento vede una delle azioni predominanti.

Due fatti hanno da quegli anni determinato lo sviluppo della ricerca italiana in Ingegneria del Vento.

Da una parte la nascita dell'ANIV, l'Associazione Italiana per l'Ingegneria del Vento, fondata nel 1987, che dal 1990 organizza sistematicamente ogni 2 anni il suo Congresso Nazionale "IN-VENTO" (Tabella 1): questi Congressi hanno costituito una palestra forma-tiva ed importante per il confronto scientifico dei ricercatori italiani, sia tra di loro che con gli "invited lecturers", scelti tra i più importanti ricercatori stranieri.

Un altro importante aspetto è stato il nascere anche in Italia di attrezzature e centri sperimentali. Il primo autore di questa memoria ricorda che i documenti presentatigli nel 1978 per il collaudo del nuovo ponte strallato sull'Arno includevano prove sperimentali su un "modello sezione" dell'impalcato svolte in una galleria del vento scozzese: oggi una situazione analoga non si ripeterebbe! Infatti dal 1993 è attiva a Prato una galleria del vento a strato limite sviluppato, costruita e attrezzata grazie a fondi di ricerca, ad un finanziamento ad-hoc del MURST, ed a finanziamenti diretti dell'Università di Firenze. Questa galleria fu costruita in un preesistente capannone nella sede di Prato dell'Università di Firenze, e nacque come prima iniziativa

Tab. 1 - Congressi IN-VENTO promossi dall'ANIV

Anno	*Sede*	*Invited Lecturers*
1990	Firenze[5]	B.J.Vickery H.Ruscheweyh
Chairman: P. Spinelli		
1992	Capri[6]	O. Fisher H.-J. Niemann N.J. Gimsing
Chairman: G. Augusti		
1994	Roma[7]	A. Damsgaard J. Gandemer
Chairman: G. Augusti		
1996	Trieste[8]	G.I. Schuëller D. X. Viegas
Chairman: P. D'Asdia		
1998	Perugia[9]	E. Simiu P.C.van Staalduinen
Chairman: A. Borri		
2000	Genova[10]	A. Kareem M. Matsumoto T. Tamura
Chairman: G. Solari		
2002	Milano[11]	Y.Tamura N.P.Jones A.Kareem T.Miyata M.Matsumoto
Chairman: G. Diana		
2004	Reggio Calabria[12]	C. Baker G. Larose
Chairman: F. Ricciardelli		
2006	Pescara	

del neo-costituito CRIACIV (Centro di Ricerca Interuni-versitario di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento). Si tratta di una galleria a circuito aperto, ad aspirazione, dotata di un ventilatore assiale con pale ad inclinazione regolabile, che permette di variare con continuità la velocità del flusso tra 0 e 35 m/s, utilizzando una potenza di circa 160 kW; i principali componenti della galleria sono: l'imbocco attrezzato con un pannello a nido d'ape dello spessore di 5 mm e uno schermo a maglia quadrata; il convergente che garantisce un flusso sufficientemente uniforme nella camera di prova; il tunnel lungo circa 8 m e con sezione rettangolare larga 2.2 m ed alta 1.6 m, che è leggermente divergente da monte verso valle per garantire una pressione pressoché costante lungo l'asse. Nel tunnel si sviluppa uno strato limite turbolento le cui caratteristiche possono essere variate modificando la scabrezza del pavimento. La camera di prova di lunghezza di 2.4 m ha sezione rettangolare larga 2.4 m ed alta 1.6 m. La velocità del vento viene controllata attraverso l'inclinazione delle pale del motore ed attraverso la frequenza di rotazione.

Le Università aderenti al CRIACIV sono via via aumentate: alle due Università che lo fondarono (Firenze, Roma "La Sapienza") si sono aggiunte prima Perugia e Trieste, e quindi Chieti/Pescara e l'IUAV di Venezia.

Questa aggregazione ha favorito la collaborazione e l'impegno personale di numerosi ricercatori, che ha prodotto fecondi risultati: sono nate in effetti una serie di iniziative di ricerca con progetti nazionali ed internazionali, oltre ad un notevole numero di convenzioni di ricerca per conto di enti, imprese costruttrici, studi professionali.



Fig. 1 – La galleria del vento del CRIACIV

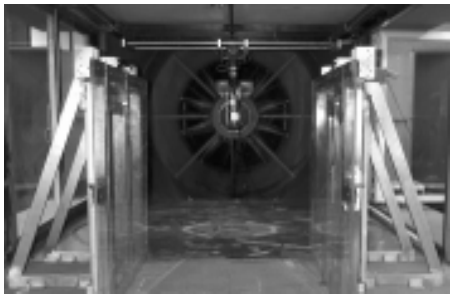


Fig. 2 – Vista del ventilatore

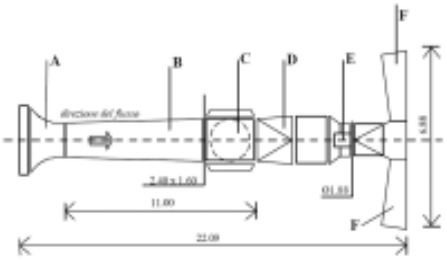


Fig. 3 – Schema galleria del vento: (A): contrazione iniziale;
(B) zona di sviluppo dello strato limite;
(C) sezione di prova (2.40 x 1.60 m);
(D) raccordo sezione;
(E) motore (circa 160 kW);
(F) divergente

Nella Tabella 2 sono riassunti i prin-

i rispettivi enti finanziatori. In particolare, è da ricordare la funzione di sviluppo iniziale svolta grazie al programma Beatrice, che ha raggruppato i principali laboratori europei del settore, coordinati dal CRIACIV, per uno scambio scientifico di esperienze e di armonizzazione delle procedure di prova. E' stato questo programma che ha permesso alla giovane galleria del vento del CRIACIV di diventare, per così dire, adulta, con lo scambio e la mutuazione delle esperienze dei tecnici delle principali gallerie del vento europee.

Anche gli altri poli dell'Ingegneria del Vento italiana hanno avuto importanti sviluppi e successi. Il polo di Genova, attraverso l'opera continua del prof. G. Solari, ha ottenuto numerosi riconoscimenti scientifici internazionali culminati con l'elezione di G. Solari a presidente dell'IAWE (International Association for Wind Engineering). Il Politecnico di Milano guidato da G. Diana ha attivato nel 2002 la seconda galleria del vento italiana a strato limite.

Nelle applicazioni della galleria del vento del CRIACIV, si può notare la particolare attenzione data fin dall'inizio a prove sul costruito monumentale,

Tab. 2 –Progetti/Contratti di ricerca del CRIACIV

Titolo	*Anno*	*Ente finanziatore*
BEATRICE Research Network	1992 - 1996	UE
BEATRICE Euroconferences	1993 - 1998	UE
COST Action C14 in "Impact of Wind and Storms on City Life and Built Environment"	2000 - 2004	UE
Ricerche scientifiche di interesse nazionale	1993-1995 (Coordinatore: G. Augusti)	MURST
Vento strutture e ambiente: progettazione, controllo e normativa	1995-1997 (Coordinatore: G. Augusti)	MURST
Ricerche e Sperimentazioni di Aerodinamica delle Costruzioni e Ingegneria del Vento (RESACIV)	1997-1999 (Coordinatore: P. Spinelli)	MIUR
Analisi controllo e riduzione del rischio eolico sulle costruzioni e sull'ambiente urbano (ACME-CUE)	1999-2001 (Coordinatore: C. Borri)	MIUR
Dominare il rischio eolico ed assicurare il funzionamento di impianti ed infrastrutture (WINDERFUL)	2001-2003 (Coordinatore: C. Borri)	MIUR
Prestazioni per l'intera vita, innovazione e criteri di progettazione di strutture ed infrastrutture a fronte dell'azione eolica e di altri eventi naturali (PERBACCO)	2003-2005 (Coordinatore: C. Borri)	MIUR

che costituisce una caratteristica di novità rispetto alle prove di altri centri di ricerca sperimentali internazionali.

Si citano a questo proposito le prove eseguite nel 1994 sul Mercato di San Lorenzo a Firenze, e nel 1998 sul Palazzo della Ragione[13] di Padova.

Più recentemente sono state svolte prove, sia con contratti o convenzioni di ricerca, sia con attività per conto terzi, su edifici, centrali tecnologiche, ponti, coperture; nelle seguenti immagini se ne riportano alcune.

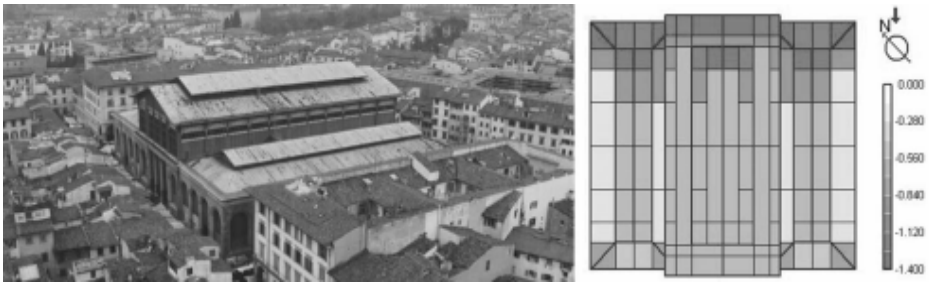


Fig. 4 – Mercato di S. Lorenzo, Firenze: foto della copertura e diagramma del coefficiente di pressione



Fig. 5 – Palazzo della Ragione, Padova

Da sottolineare anche la versatilità dell'attrezzatura che è stata sviluppata anche per prove ambientali di diffusione di inquinanti, oltre che per la verifica del comfort in abitati urbani. Lo studio della dispersione di inquinanti gassosi emessi in atmosfera da sorgenti di vario tipo (ciminiere, impianti di produzione di energia, inceneritori e complessi industriali) è un argomento attuale e di

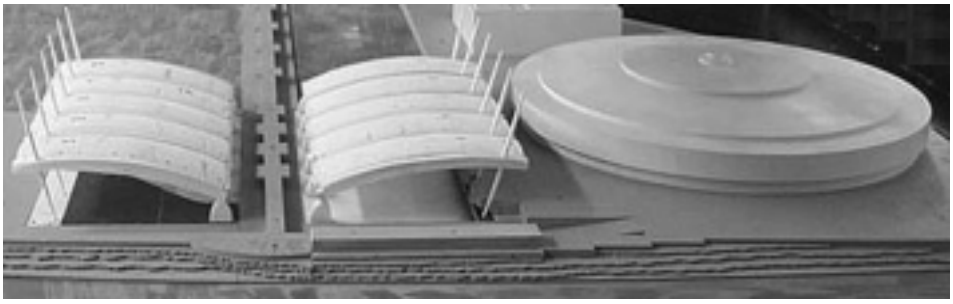


Fig. 6 – Prove in galleria sulla tensostruttura di copertura della Nuova Darsena del porto di Genova[14]. (2002)

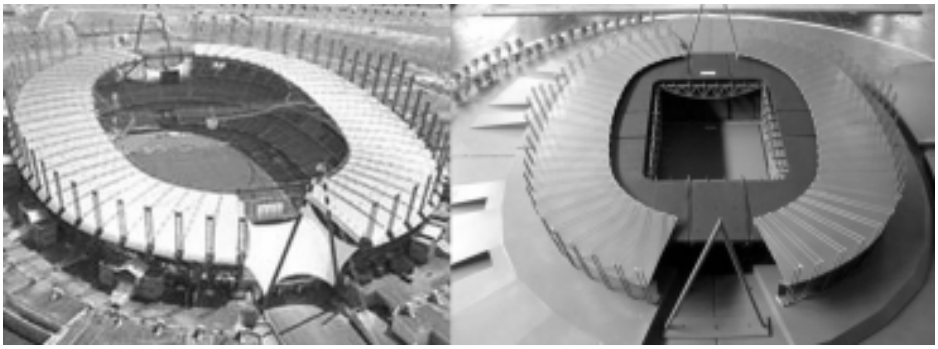


Fig. 7 – Copertura dello stadio delle Alpi di Torino: prove in galleria del vento per la determinazione dei coefficienti di pressione; foto dell'opera e del plastico[15] . (2004)

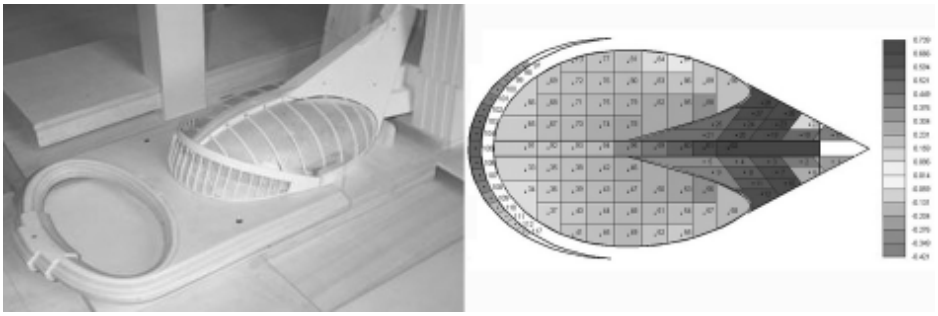


Fig. 8 – Aquapark di Mosca: prove in galleria del vento per la determinazione di pressioni e forze in campo dinamico; foto del modello e diagramma del coefficiente di pressione sulla copertura. (2003)

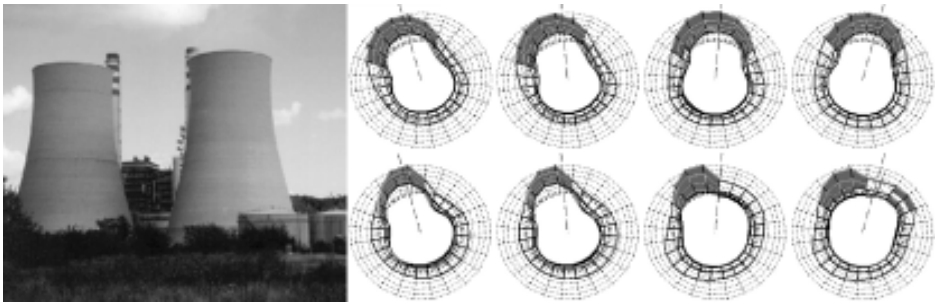


Fig. 9 – Analisi teorico-sperimentale della distribuzione di pressioni sulle torri di raffreddamento della centrale ENEL di Santa Barbara; foto delle torri e diagrammi del coefficiente di pressione in funzione della direzione di provenienza del vento[16] .[17] (1996-1998)

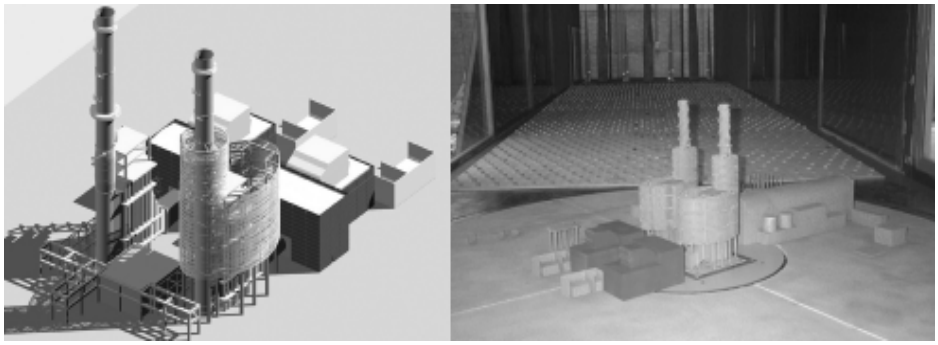




Fig. 11 – Analisi sperimentali della risposta aeroelastica sul ponte sul Rio Higuamo, Santo Domingo; foto dell'opera realizzata e del modello sezione. (2000-2001)

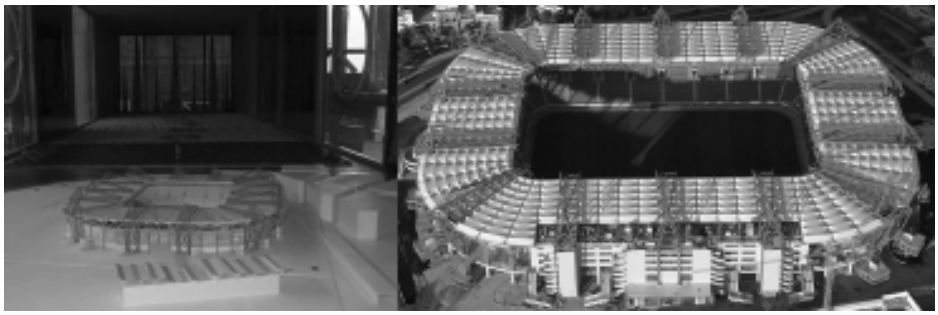


Fig. 12 – Stadio Olimpico di calcio Karaiskaki del Pireo, Grecia: prove in galleria del vento per l'analisi delle pressioni indotte dal vento; modello in galleria del vento e foto dello stadio[18]. (2003)



Fig. 13 – Prove in Galleria del Vento per la copertura delle tribune dello stadio di Manfredonia; foto dell'opera e modello per le prove in galleria del vento. (2003)

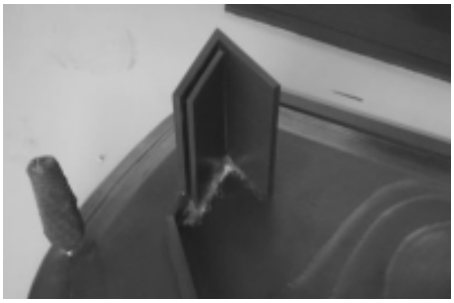


Fig. 14 – Prove in galleria del vento su modello per la determinazione della distribuzione delle pressioni sul monumento di Padova progettato dall'arch. D. Libeskind per la commemorazione di Ground Zero. (2004)

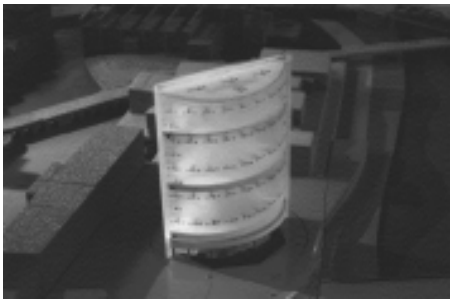


Fig. 15 – Analisi sperimentale delle pressioni indotte dal vento su edifici a torre in loc. Fiumaranuova, Genova (1999-2000)

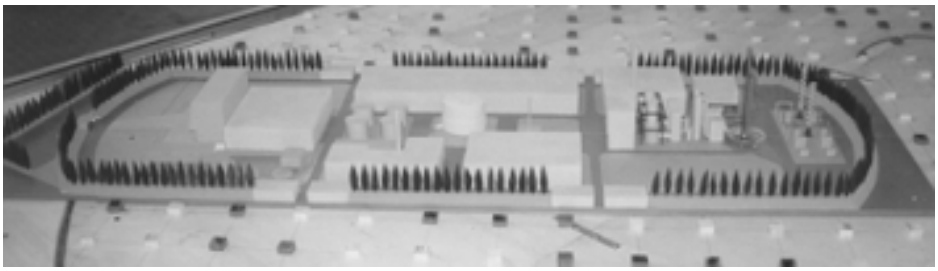


Fig. 16 - Modello in scala 1:400 dell'inceneritore RSU di Ca' del Bue (VR) per la valutazione dell'impatto ambientale dovuto all'emissione di fumi dei due camini. (1998)

notevole importanza nelle valutazioni di impatto ambientale. La modellistica in scala in galleria del vento permette sia lo studio, lo sviluppo ed i test di nuovi codici di calcolo per la simulazione della dispersione, sia, tramite opportune regole di scalatura, l'analisi di situazioni estremamente difficili da simulare quali, ad esempio, l'effetto degli edifici posti nelle vicinanze delle sorgenti di inquinante o i siti ad orografia complessa[19].

Per il futuro non c'è che da attendersi un ulteriore importante sviluppo anche a causa di progetti in varie parti d'Italia che vedono l'aumento delle luci per grandi coperture o l'aumento delle altezze per gli edifici (basti pensare agli edifici in progetto per la zona Fiera o Garibaldi a Milano che arrivano al di sopra dei 150 m).

L'Ingegneria del Vento Italiana è ora in grado di recitare la parte matura di una scienza e tecnica che, in possesso delle conoscenze scientifiche e di attrezzature tecniche di livello internazionale, può assistere i progettisti ed i costruttori nella realizzazione di strutture molto alte, o molto snelle, o molto leggere che costituiscono le espressioni dell'architettura moderna.

[1] A.G. Davenport, *Wind loads on structures*, «National Research Council of Canada, Division of Building Research, Technical Paper», 88, 1960. Id., *The application of statistical concepts to the wind loading of structures*, «Proc. Instn Civ. Engrs», 19, 449-472, 1961. Id., *The spectrum of horizontal gustiness near the ground in high winds*, «Journal of Royal Meteorological Society», 87, 194-211, 1961. Id., *The response of slender, line-like structures to a gusty wind*, «Proceedings of the Institution of Civil Engineers», 23, 389-408, 1962.

[2] M. Jensen, *The model law for phenomena in the natural wind*, «Ingeniøren, International Edition», 2, 121-128, 1958.

[3] M. Jensen, *Model-Scale Tests in Turbulent Wind,* Copenhagen, The Danish Technical Press, 1965.

[4] G. Augusti, C. Borri, P. Spinelli, *Interazione dinamica vento-strutture: impostazione del problema ed alcuni risultati*, Atti del XII Convegno Nazionale dell'AIAS (Associazione Italiana per l'Analisi delle Sollecitazioni), (Sorrento, 25 settembre 1984).

[5] Atti del 1° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento – IN-VENTO-90, (Firenze, 28-30 ottobre 1990), a cura di G. Augusti, C. Borri, P. Spinelli, Pitagora Editrice, Bologna.

[6] Atti del 2° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-92, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Roma "La Sapienza", (Capri 25-27 ottobre 1992),
a cura di G. Augusti, A.L. Materazzi, V. Sepe, Ed. Esagrafica

[7] Atti del 3° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-94, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università di Roma "La Sapienza", (Roma 19-21 ottobre 1994),
a cura di G. Augusti, A.L. Materazzi, V. Sepe, Ed. Esagrafica

[8] Atti del 4° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-96, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Trieste, (Trieste
22-24 settembre 1996)

[9] Atti del 5° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-98, Ist. di Energetica – Facoltà di Ingegneria, Università di Perugina, (Perugia, 13-15 settembre 1998) a cura di G. Augusti, A. Borri, A.L. Materazzi, Ed.

Esagrafica

[10] Atti del 6° Convegno Nazionale di Ingegneria del VentoIN-VENTO-00, DISEG – Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Università degli Studi di Genova, Genova (18-21 giugno 2000), a cura di G. Solari, L.C. Pagnini, G. Piccardo, Ed. Sge Padova

[11] Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del VentoIN-VENTO-02, Dipartimento di meccanica, Politecnico di milano, (Milano 15-18 settembre 2002) a cura di G. Diana, F. Cheli, A. Zasso, Ed. Sge Padova

[12] Atti dell'8° Convegno Nazionale di Ingegneria del VentoIN-VENTO-04, Dipartimento di Meccanica e Materiali, Facoltà di Ingegneria, (Reggio Calabria 21-23 giugno 2004), a cura di F. Ricciardelli, E.T. de Grenet, A.D. Pizzimenti, R. Pucinotti, Ed. Aracne

[13] C. BORRI, L. FACCHINI, *Wind induced loads on the monumental roof structure of the XII Century "Palazzo della Ragione" in Padova*, Proceedings 10th ICWE, (Copenhagen, 21-24 Giugno 1999), editors: A. Larsen, G.L. Larose, F.M. Livesey, Rotterdam, A.A. Balkema, 1999

[14] G. BARTOLI, C. BORRI, E. BOZZO, A. IMBRENDA, *Analisi sperimentale delle azioni del vento su una copertura di grandi dimensioni*, Atti del 7° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-02, (Milano, 15-18 Settembre 2002), a cura di: G. Diana, F. Cheli, A. Zasso, Ed. SGE Padova, 2002.

[15] C. BORRI, M. MAJOWIECKI, F. OSSOLA, G. BARTOLI, M. ORLANDO, L. PROCINO, *Il Nuovo Stadio delle Alpi di Torino: determinazione sperimentale (in galleria del vento) delle pressioni dinamiche di progetto sulla copertura e del comfort degli spettatori*, Atti dell'8° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-04, (Reggio Calabria, 21-23 Giugno 2004), a cura di F. Ricciardelli, E.T. de Grenet, A.D. Pizzimenti, R. Pucinotti, Ed. Aracne.

[16] C. BORRI, M. ORLANDO, P. SPINELLI, *Wind induced stresses on two neighbouring cooling towers*, Proceedings 10th ICWE, (Copenhagen, 21-24 Giugno 1999), editors: A. Larsen, G.L. Larose, F.M. Livesey, Rotterdam, A.A. Balkema, 1999

[17] M. ORLANDO, *Wind Induced Interference Effects on Two Adjacent Cooling Towers,* «Engineering Structures», Vol. 23/8, pp. 979-992, Elsevier Science Ltd, 2001.

[18] P. BIAGINI, C. BORRI, M. MAJOWIECKI, M. ORLANDO, L. PROCINO, *Prove sperimentali e carichi eolici di progetto sulla copertura del nuovo Stadio Olimpico del Pireo*, Atti dell'8° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-04, (Reggio Calabria, 21-23 Giugno 2004), a cura di F. Ricciardelli, E.T. de Grenet, A.D. Pizzimenti, R. Pucinotti, Ed. Aracne.

[19] A. IMBRENDA, C. PIANTINI, L. PROCINO, *Tecniche di visualizzazione del flusso in galleria del vento*, Atti del 5° Convegno Nazionale di Ingegneria del Vento IN-VENTO-98, (Perugia, 13-15 Settembre 1998), a cura di: G. Augusti, A. Borri, A.L. Materazzi, Roma, Ed. Esagrafica, 1998.

Luisa Dolza

Innovare e tutelare in Piemonte nell'800: i privilegi industriali e Carlo Ignazio Giulio

Introduzione

Dal Rinascimento, epoca connotata dalla consapevolezza della centralità del progresso tecnico nella crescita economica, gli stati europei si dotano di norme volte a premiare e tutelare l'innovazione[1]. In Piemonte come altrove, almeno inizialmente, per incentivare l'industria locale il governo utilizza lo strumento del "privilegio", atto formale dell'autorità sovrana che consentiva di dettare disposizioni caso per caso in deroga al diritto comune. Concessi per un limitato numero di anni, previo un esame che ne garantisse la novità sul territorio e l'utilità, come sancito dalla celebre legge veneziana della seconda metà del Quattrocento, essi furono utilizzati non solo per proteggere e incentivare le opere dell'ingegno locale, ma soprattutto per attrarre artigiani e tecnici stranieri in grado di avviare nuove manifatture.

Nel corso del Settecento, in assenza di una vera a propria normativa, in Piemonte furono i membri del Consiglio di Commercio, un organo creato nel 1733 per incentivare il commercio e l'industria, ad occuparsi delle, rare, domande di privilegio, esenzioni o remunerazioni per nuovi ritrovati. Dopo il periodo napoleonico, nella prima metà dell'Ottocento, nel 1826, mentre la maggior parte dei paesi in via di industrializzazione abbandonava il sistema dei privilegi a favore dei brevetti o del libero mercato, in Piemonte venne promulgata una legge in cui si stabilivano le regole per l'ottenimento dei privilegi e si sanciva la legittimità dell'Accademia delle Scienze come responsabile dell'istruttoria scientifica. Cent'anni dopo i *savants* dell'Accademia delle Scienze di Parigi, gli accademici torinesi, convinti, come ha messo il luce Marco Ciardi, del ruolo fondamentale della ricerca scientifica rispetto alla tecnica e in generale ai bisogni del commercio e dell'industria, si dedicarono allo studio delle domande di privilegio per il "progredimento dell'industria e del commercio", analizzando per ogni proposta l'opportunità della richiesta in relazione alle esigenze economiche e al livello tecnico-scientifico della produzione nello specifico settore"[2].

Dopo anni di confronti, di studio, di ricerche, e centinaia di pratiche esaminate, in un contesto economico profondamente diverso, negli anni Quaranta, anni fondamentali per lo sviluppo del paese, alcuni di essi proposero, senza successo, alcune modifiche, non sostanziali, alla legge del 1826. I più attivi nel tentativo di riformare il ruolo degli accademici furono due dei protagonisti della vita accademica, scientifica ed economica dello stato sabaudo, due "ingegneri": Carlo Ignazio Giulio, professo-

re di Meccanica all'Università e Luigi Federico Menabrea, professore di Matematica applicata. La proposta dei due "tecnici", in disaccordo con la maggioranza accademica, non venne accettata e fino alla legge del 1855 essi continuarono ad occuparsi dell'esame preventivo delle pratiche.

Questo contributo, dopo aver contestualizzato ed analizzato la peculiarità del caso piemontese, dove ancora nell'Ottocento l'Accademia è al crocevia dei saperi teorici e pratici al servizio dello stato, presenta un manoscritto inedito di Carlo Ignazio Giulio. In questo documento, conservato tra le carte del suo archivio, Giulio affronta due temi centrali del dibattito sui brevetti non solo dell'Ottocento, interrogandosi sulla necessità del ruolo discrezionale dell'esaminatore e l'opportunità o meno per un paese come il Regno Sardo di dotarsi di un sistema brevettuale.

Una brevissima storia dei privilegi

Nel XIV secolo, in tutta Europa ma in particolare nelle zone ricche di miniere come la Germania, inizia a essere utilizzato e a diffondersi lo strumento del privilegio[3]. Nonostante le varie differenze, esso è quasi sempre una "grazia" con cui l'autorità, su istanza di un privato o ben più raramente di sua iniziativa, concede a un singolo, in deroga alla legge comune, diritti, poteri, facoltà, esenzioni e o remunerazioni. Concesso a seguito di una richiesta ("supplica") motivata dall'interessato, e dopo una valutazione dell'utilità pubblica da parte dell'autorità, esso consiste nell'attribuzione di un diritto esclusivo limitato sia nel tempo sia nello spazio. Privilegi analoghi si diffusero un po' in tutta Europa e trovarono nella Repubblica di Venezia, non a caso contemporaneamente all'installazione delle prime stamperie, il terreno d'elezione per lo sviluppo di quelle che sono considerate dagli storici come le prime forme giuridiche di patenti o brevetti di invenzione. Proprio a Venezia, grazie alla sua peculiare tradizione giuridica e alla sua situazione socio-economica, nella seconda metà del XV secolo emerse una tutela diversa dalle regalie precedenti, connessa a una nuova visione dell'invenzione e della sua importanza. Dotata di apparati amministrativi più evoluti del resto della penisola, di organi di governo con competenze specifiche e di un sistema normativo più elastico, Venezia fu la prima ad adottare, a larga maggioranza, un provvedimento del Senato destinato a disciplinare l'intera materia delle innovazioni. Un procedimento, per essere "privilegiato" per alcuni anni, doveva essere giudicato "ingegnoso", "utile", nuovo sul territorio, e che "se possi usar et exercitar"[4]. Questi termini condizioneranno a lungo non solo la concessione dei privilegi, ma circolando in Europa come e con gli artigiani, il significato stesso della tecnica[5].

Negli ultimi decenni del Cinquecento, iniziò la progressiva decadenza della Serenissima e il graduale spostamento dell'asse commerciale verso l'Atlantico, a vantaggio dei futuri attori della rivoluzione industriale, l'Inghilterra, la Francia e i Paesi Bassi. Proprio in In-

ghilterra, per una serie di ragioni tra cui la protesta per l'arbitrarietà della concessione dei privilegi all'*entourage* della Corona e la ricaduta della concessione di monopoli sui prezzi dei beni di primo consumo per la società, venne promulgato lo *Statute of Monopolies*, approvato nel 1623 durante il regno di Giacomo I[5]. In questo celebre documento venne sancita l'inefficacia di ogni tipo di monopolio o privilegio, da "utterly avoid" con l'eccezione delle "first importation patents", relative alla introduzione nel regno di nuove manifatture, e delle "new inventions" rilasciate al loro primo inventore contro una semplice ma onerosa registrazione.

Il decisivo balzo in avanti e il superamento dell'idea di privilegio si ebbe sul finire del secolo successivo con il *Patent Act* americano del 1790 e soprattutto con la rivoluzionaria, in tutti i sensi, legge francese del 1791. La legislazione americana è, cronologicamente, la prima legge che stabilisce che il diritto dell'inventore sull'invenzione non può essere concesso come "atto di magnanimità" ma deve essere riconosciuto in quanto tale. La legge del 1790 in cui si sanciva che potesse ottenere un brevetto chiunque avesse "invented or discovered useful art, manufacture, engine, machine, or device, or improvement therein not before known or used" venne modificata a più riprese[7]. La modifica più sostanziale venne apportata nel 1836 quando venne aggiunto un esame preventivo delle richieste, ma nelle sue linee essenziali il *Patent Act* è ancora alla base del diritto brevettuale americano. La decisione di regolamentare con i brevetti le invenzioni e non lasciare libero corso al mercato non fu, neanche all'epoca, unanime. Madison, anticipando un tema su cui dibatte ancora, nel 1788, chiese al Congresso se non fosse meglio per il progresso del paese prevedere l'abolizione dei brevetti. Jefferson rispose che il diritto alla protezione della propria invenzione era scritto nella "natural law", in quel diritto naturale su cui si fonderà la legge francese[8].

In Francia, come perfettamente descritto da Liliane Hilaire-Perez, prima della legge del 1791, e anche dopo di essa anche se in misura minore, la situazione era estremamente complessa per la miriade di attori che entrano in gioco e soprattutto per il ruolo che lo stato voleva giocare nello sviluppo tecnico ed economico del paese. A partire dal Seicento dei privilegi si occuparono infatti varie istituzioni, a volte separatamente, a volte interagendo. La creazione dell'Accademia delle Scienze negli ultimi decenni del secolo complicò ulteriormente la situazione ed aggiunse un ulteriore attore alla complessa scacchiera dei poteri pubblici fortemente interessati allo studio dei privilegi. Nel corso del Settecento fino alla rivoluzione l'Accademia -che doveva avere un numero minimo di esperti di meccanica tra i suoi soci- divenne un referente fondamentale per la concessione dei privilegi e, al loro scadere, della loro diffusione e divulgazione[9]. Come a Venezia, i criteri su cui si doveva basare il giudizio erano la novità e, soprattutto

l'utilità per il paese. Inutile sottolineare come stabilire quest'ultima potesse essere oggetto di contrasti. Per tutto il secolo non è infrequente trovare dei privilegi ottenuti da alcune istituzioni e non da altre, o, come nel caso di Claude Berthollet, trovare la stessa persona concedere un privilegio in quanto relatore per il *Bureau de Commerce* e rifiutarlo in quanto accademico. Nella seconda metà del secolo diversi sono i giudizi sul ruolo dei privilegi nello sviluppo industriale del paese e vivace la polemica che accompagna la stesura delle varie leggi fino a quella fondamentale del gennaio 1791. La legge sui brevetti del periodo rivoluzionario è la prima legge, in ambito europeo, che non solo disciplina completamente la materia del brevetto industriale, ma anche quella che demolisce l'idea stessa di privilegio grazie all'idea di "proprietà" naturale[10]. Partendo dallo stesso principio, ma arrivando a conclusioni diametricalmente opposte alla legge americana, i francesi proclamano l'abolizione dell'esame preliminare, un punto controverso per tutta la prima metà dell'Ottocento. La legge rivoluzionaria verrà accolta nella successiva legislazione napoleonica del 1806 e con le truppe dell'Imperatore penetrerà anche nella Penisola.

Nei primi decenni dell'Ottocento, la maggior parte dei paesi europei adotta delle leggi sul modello di quelle citate. Con l'industrializzazione, le esposizioni internazionali e con la ricerca di nuovi mercati iniziò a rendersi necessaria, nella seconda metà del secolo, una cooperazione giuridica per la tutela dell'inventore a livello internazionale, i cui primi germi sono individuabili sin dal Congresso di Vienna del 1873 e dalla Convenzione di Parigi del 1884.

Il caso piemontese: luci e ombre

I Savoia governarono in Piemonte a partire dal Quattrocento. Nel 1404 fondarono l'Università e nel corso del secolo trasformarono la città nel polo amministrativo ed economico dei loro domini italiani. La scelta di Emanuele Filiberto di portare la capitale a Torino, nel 1563, dopo il trattato di Chateau-Cambresis, che gliene ridava il possesso al termine di una lunga guerra, fu strategica. Torino era meno esposta di Chambery agli attacchi della Francia, e rispondeva meglio all'intenzione del duca di spostare verso l'Italia gli interessi della dinastia. Signore di un ducato devastato da guerra e carestie, con una popolazione stremata e immiserita, privo di strutture funzionanti e non senza rischio di guerre di religione, Emanuele Filiberto decise di riorganizzare lo Stato.

Uno dei primi passi fu la pubblicazione di un editto in cui il duca prometteva privilegi ed esenzioni a tutti gli esperti nelle "arti meccaniche" che si fossero trasferiti nel suo territorio per dare vita a nuove industrie[11]. Il ricorso agli stranieri e ai privilegi che avrebbero dovuto attirarli in Piemonte è una costante nella politica industriale dei Savoia. Vittorio Amedeo, una figura chiave a cavallo tra il Sei e Settecento, e colui che porterà il ducato al rango di regno, in più riprese farà ricorso alla

manodopera e alle maestranze straniere per rendere competitive le poche industrie locali[12]. Scorrere la lista dei privilegi concessi durante il suo regno è un'affascinante viaggio in Europa, un modo per ripercorrere la storia delle relazioni economiche e diplomatiche del ducato. Le alleanze si modificano, e da Torino passano spagnoli, milanesi, inglesi, moldavi, olandesi, ma soprattutto tanti francesi, la maggioranza degli imprenditori e dei tecnici specializzati. Durante il regno di Vittorio Amedeo, per cercare di costruire un ducato indipendente dalle esportazioni, vi è inoltre la fondazione del Consolato, e poi del Consiglio di Commercio, due organismi che avrebbero dovuto studiare delle strategie imprenditoriali e proporle al duca, controllare ed eventualmente migliorare lo sviluppo delle manifatture locali, e quindi occuparsi dello studio delle pratiche di privilegio[13].

Per tutto il Settecento i funzionari del Consiglio assolsero questo compito con dedizione, studiando per ogni pratica i benefici che lo stato ne avrebbe ricavato e cercando per ogni caso di trovare le soluzioni più indicate, in genere proponendo somme di denaro, di fatto l'acquisto immediato dell'invenzione. Soluzione che spesso era preferita dagli inventori stranieri, costretti altrimenti a lunghi soggiorni e alla formazione di manodopera locale. Questa politica, condivisa con molti altri regnanti europei, continuò durante il regno del successore di Vittorio Amedeo, Carlo Emanuele III, considerato dagli storici un regnante retrogrado e oscurantista, a differenza del figlio Vittorio Amedeo IV sotto cui venne fondata l'Accademia delle Scienze di Torino.

Il 25 luglio 1783, dopo laboriose negoziazioni, il Re Vittorio Amedeo III aveva autorizzato, con Regie Patenti, la fondazione dell'*Accademia Reale delle Scienze*, formata da venti membri residenti e finanziata da un lascito reale proveniente dal soppresso ordine dei Gesuiti. Questo atto, che sanzionò l'Accademia come istituzione pubblica, era il punto di arrivo di un processo già iniziato con la nascita di una Società scientifica di carattere privato, fondata nel 1757 dal conte Giuseppe Angelo Saluzzo insieme a Luigi Lagrange e Giovanni Cigna, a cui si aggiunsero negli anni successivi altri studiosi piemontesi[14].

La Società, che inizialmente si riuniva in casa Saluzzo, e si occupava di matematica, di meccanica e di fisica; già nel 1759 aveva pubblicato una *Miscellanea philosophico-mathematica Societatis privatae Taurinensi*, che conteneva tra l'altro due "memorie" del giovane Lagrange. A questo primo volume fecero seguito altri quattro volumi con una collaborazione estesa a studiosi stranieri, quali il matematico Leonhard Euler e il naturalista Albert Haller. Nello stesso periodo alla Società aderirono come Soci le maggiori personalità della cultura locale e figure eminenti dell'Illuminismo francese, come d'Alembert e Condorcet. La formazione come Accademia dell'ambiziosa Società diede ai suoi soci uno statuto migliore, con tutto quello che comportava, una sede degna di un'istituzione reale, dei fondi

di ricerca, e una rete ancora più ampia di rapporti con studiosi stranieri. Al governo la formazione dell'Accademia dette un organismo su cui poter contare, molti soci erano anche membri del governo, per lo studio e il miglioramento di tutti i problemi tecnico-scientifici del regno. In risposta a questa esigenza, e per sottolineare allo stesso tempo le loro capacità e intenzioni, i soci scelsero come motto dell'Accademia *Veritas et utilitas*. Una saggia scienza, alla ricerca della "verità", basata sull'esperimento, avrebbe perseguito l'utilità pratica e quindi dispensato le sue conoscenze a una giovane e inesperta tecnica.

L'*utilitas* programmata dallo stato sabaudo fu perseguita soprattutto nei primi anni, quando agli accademici venne chiesto di occuparsi di temi fondamentali per l'economia del paese quali l'illuminazione della città, il problema della conservazione dei grani, della seta e della disoccupazione dei suoi operai, e infine del miglioramento dell'arte tintoria, uno dei grandi progetti di fine secolo. Inoltre, come la sua *alma mater*, sin dalla sua fondazione nel 1773 si occupò anche di privilegi, ma del tutto informalmente, e parallelamente al Consiglio di Commercio.

Con l'invasione napoleonica e la partenza di Carlo Emanuele per la Sardegna, il Piemonte venne annesso alla Francia. Man mano la legislazione francese fu introdotta nella penisola e nel 1806 fu adottata, non senza difficoltà, la legge per i brevetti industriali con il suo principio fondamentale del non esame preventivo. Con la disfatta di Napoleone e il successivo Congresso di Vienna del 1815, torna al potere non Carlo Emanuele che aveva abdicato nel 1802, ma il fratello Vittorio Emanuele I. Tra i primi provvedimenti il nuovo Re abolì le leggi napoleoniche e ripristinò gli antichi privilegi, tra cui quelli industriali, che non avevano ancora una loro forma giuridica. Per tutto il suo regno sia l'Accademia sia il Consiglio di Commercio si occupano delle richieste di privilegio, giungendo anche a giudizi contrastanti, come vedremo tra poco. Tra il 1820 ed il 1821, in seguito al trionfo rivoluzionario dei "costituzionali" in Spagna, i Carbonari delle Due Sicilie passarono all'azione. L'agitazione si estese a Napoli, costringendo il Re a concedere la costituzione spagnola, ritenuta la più democratica. Le potenze della Santa Alleanza decisero l'intervento armato contro i rivoluzionari ed il 7 marzo 1821 i costituzionalisti di Napoli furono sconfitti. Mentre fallisce la rivoluzione napoletana, inizia quella piemontese. L'8 marzo 1821 si mossero i liberali del Regno Sardo, che chiesero al re la costituzione spagnola. L'insurrezione coinvolse anche Torino, e Vittorio Emanuele I decise di abdicare in favore del fratello Carlo Felice. In assenza del nuovo re, che si trovava temporaneamente a Modena, la reggenza venne affidata al giovane Carlo Alberto, principe di Carignano, che concesse la Costituzione con la riserva dell'approvazione regia, che non arriverà.

Il 1825 è un anno chiave. Fino a quel momento si erano occupati di privilegi anche i membri del Consiglio di Com-

mercio. Nel 1825 i nodi vengono al pettine e i giudizi su un caso specifico fanno emergere la grande differenza di vedute tra i due organismi. Giuseppe Prandi, speziale di Casale, supplica Sua Maestà affinché gli conceda un privilegio esclusivo per la fabbricazione "della colla forte con un metodo di sua particolare invenzione a cui è pervenuto dopo molti esperimenti chimici e con l'uso di una macchina da esso formata"[15]. Il giudizio redatto dai due responsabili accademici della pratica, Giobert e Carena, pieno di lodi per le capacità chimiche del supplicante, è favorevole. Il privilegio può essere accordato, per dieci anni. Parallelamente, della stessa pratica si erano occupati anche i responsabili del Consiglio, che avevano deciso che il richiedente non avrebbe dovuto avere il privilegio richiesto.

La loro posizione è perfettamente espressa nella lettera scritta alla Regia Segreteria di Stato per gli Affari Interni, in reazione al giudizio positivo dell'Accademia. L'Accademia, secondo il Consiglio, aveva tutti i diritti di esprimersi, ma solo sull'aspetto scientifico della pratica, senza entrare in merito a temi su cui non aveva la necessaria competenza ed esperienza. Anche se dal punto di vista scientifico il procedimento presentato avrebbe meritato un privilegio, i membri del Consiglio avevano deciso che sarebbe stato meglio negarlo sulle basi della loro lunga esperienza. La tesi di fondo, espressa nelle ultime righe di questo prezioso documento, è che "l'esperienza giornaliera deve convincere che le privative, invece di creare vantaggio, tendono a nessun altro scopo che a paralizzare l'industria, ed a rovinare il commercio con vantaggio di pochi e danno evidente di molti"[16]. La frattura era evidente e non poteva essere sanata se non con una vera e propria legislazione sul tema. Il Primo Segretario di Stato per gli Affari Interni domanda dunque formalmente all'Accademia di realizzare un progetto di legge che ponga fine agli abusi e regoli la procedura.

Due mesi dopo, la commissione che si era incaricata della stesura della legge presenta le sue *Osservazioni in materia di patenti di privilegio*, articolata in 11 punti. La legge che ne scaturirà, il 28 febbraio del 1826 (e le successive modifiche) non riconosce alcun diritto soggettivo all'inventore, rifiutando principi ormai consolidati oltralpe. In base al primo articolo, il sovrano concederà il "favore" di un privilegio previa valutazione, e controllo, compiuti dall'Accademia, unico referente, non solo dell'invenzione in quanto tale ma della sua maggiore o minore utilità pubblica.

Quello che premeva al sovrano era regolamentare il settore a vantaggio della produzione, seguendo in un certo senso la logica del Consiglio, quello che interessava gli accademici era sovrin-tendere il processo, essere gli unici arbitri e i tutori dello sviluppo economico e tecnologico del Piemonte e, nel caso di Avogadro, controllare che le invenzioni proposte fossero adeguate ai principi generali della fisica. Nella loro visione del progresso scientifico e tecnologico, gli avanzamenti nel campo delle appli-

cazioni pratiche erano possibili infatti solo grazie al loro collegamento con le conoscenze teoriche. I privilegi volevano essere, nell'ottica di questo gruppo di accademici "lo strumento per cercare di gettare un ponte tra scienza e sviluppo tecnologico, impossibile da attuare, almeno per il momento, in ambito universitario. Il riconoscimento dei diritti esclusivi su un'invenzione non intendeva rappresentare un ulteriore vincolo protezionistico, quanto una garanzia sulla qualità e utilità delle invenzioni"[17]. La "proprietà" morale e naturale dell'inventore, oltre al suo interesse economico, non furono tenuti in alcun conto.

Entrata in vigore nel 1826, la legge rimarrà invariata -tranne lievi modifiche apportate durante il regno di Carlo Alberto (salito al trono nel 1831) per ridurre la possibilità di abusi- fino a quando, nel 1855 Scialoja presentò al Parlamento Subalpino una nuova legge che chiuse questo lungo capitolo. Un caso e una serie di documenti, unici in Europa.

I trent'anni che separano la legge del 1826 dalla riforma del 1855 sono anni importanti per l'Europa e il Piemonte. Le pratiche passano da poche decine per anno a molte, le richieste, sempre più articolate richiedono competenze sempre più specifiche, nuove generazioni più aggressive si fanno avanti e, conquistati posti di responsabilità cercano di apportare cambiamenti, frenate da una vecchia guardia ancora solida al potere. Tutti questi cambiamenti, per quello che riguarda l'Accademia delle Scienze, sono stati perfettamente descritti negli ultimi anni da Marco Ciardi nei suoi preziosi lavori. Per quello che riguarda i privilegi, la frattura ora non è più tra gli accademici e i membri del Consiglio, ma all'interno stesso dell'Accademia. Chi erano i nuovi arrivati e quali gli attriti, per quello che riguarda i privilegi, con i loro colleghi?

Qualche anno dopo la sua ascesa al trono, Carlo Alberto inizia una fase di riforme tese a una cauta modernizzazione delle strutture economiche, sociali, politiche e culturali dello stato. In questo cammino il sovrano trovò la collaborazione di una nuova classe dirigente tra cui Carlo Ignazio Giulio, che diverrà uno dei suoi consulenti di fiducia e uno degli accademici più influenti, oltre che uno dei più convinti sostenitori della necessità di un rinnovamento scolastico e della formazione di scuole tecniche nel regno.

Carlo Ignazio Giulio e Federico Menabrea

I fermenti rinnovatori, anche se spesso contradditori di questi anni, riguardarono direttamente anche il mondo scientifico[18]. Intenzione precisa di Carlo Alberto era quella di coinvolgere gli intellettuali e gli scienziati nei processi di trasformazione politica, civile ed economica.

Carlo Ignazio Giulio, professore di meccanica razionale all'università, e Federico Menabrea, professore di matematica applicata, i due firmatari della proposta di modifica della legge sui privilegi del 1845, non si tirarono indietro.

Giulio, che secondo Luigi Einaudi fu un "economista non abbastanza stimato"[19] - giocò un ruolo chiave nel Piemonte degli anni Quaranta del secolo. Membro, insieme a Eandi e Cavour della Commissione di Statistica del 1840, accademico, preside di facoltà, rettore dell'università, nel 1844 fu nominato "relatore centrale"dell'Esposizione industriale di Torino. Nel suo celebre *Giudizio*, affiancato da una serie di *Notizie sulla patria industria*, scritto per presentare l'Esposizione d'Industria e Belle Arti torinese del 1844, voluta da Carlo Alberto per dare una dimostrazione della trasformazione produttiva in atto, Giulio presentò la sua visione dei legami tra scienza, tecnica e industrializzazione. Liberista, era convinto che solo il libero mercato e la libera concorrenza potessero portare sviluppo e competizione:

"I fabbricanti non cessano di domandare protezione, privilegi, esenzioni, proibizioni per altrui, dazi, rigori, regolamenti. Ma il commercio che in queste strettezze non può vivere grida libertà, libertà."[20]

Tali idee non potevano che trovare l'accordo di Cavour, che in quegli anni cercava di portare il Piemonte sulla via delle riforme. Nello stesso anno Cavour gli scrisse una lettera in cui espresse tutta la sua ammirazione per le sue "eccellenti dottrine politiche":

"Monsieur,

Je ne vous adresse pas les deux brochures ci-jointes afin de vous faire perdre à les lire un temps précieux. Ce serait de ma part une indiscrétion ridicule. Mon unique désir est que vous en agréiez l'hommage comme le seul témoinage d'admiration et de sympathie qu'il soit en mon pouvoir de rendre à votre talent d'écrivain de premier ordre et à vos excellentes doctrines économiques. Ce témoinage a bien peu de valeur auprès de tous ceux que vous a valu votre dernier ouvrage; veuillez néanmoins l'accueillir avec bienveillance, car, si vous en avez reçu d'infinitament plus précieux, aucun, j'ose le dire, n'a été inspiré par un sentiment plus sincère ou plus vif"[21].

La stima di Cavour per le idee economiche di Giulio è confermata da un commento manoscritto apposto dallo statista alla sua copia sulla Esposizione organizzata e commentata da Giulio:

"Ce livre d'un rare mérite, ouvrage du chevalier Giulio, est un événement marquant dans l'historie économique du pays. Pour la première fois, il fais connaître au public l'état de l'industrie, les causes de ses progrès, les dangers qui la menacent et les conditions de ses futur succès. A cette titre seul, le rapport de Mr. Giulio est digne de fixer l'attention de tous les membres de l'association agricole. […] Je dois ajouter d'abord qu'il possède un haut mérite littèraire, et que dans son genre c'est un modèle de lucidité, de précision et d'élégance. Je dirai ensuite qu'on y trouve mêlés avec un à-propos parfait, aux récits les plus exactes, des conseils et des préceptes d'une haute valeur. Mr Giulio a su tirer de l'histoire de notre industrie de précieux enseignements qui jettent un jour éclatant sur les principes trop

souvent méconnus de la saine économie politique. C'est ce qui fait que, sous un titre modeste, son ouvrage est un véritable manuel scientifique qu'on ne saurait trop recommeer à la méditation non seulement des agriculteurs mais encore à celle des administrateurs, des hommes publics, de tous ceux enfin qui par leur position peuvent contribuer à un degré quelconque au développement de la richesse nationale, et aux progrés intellectuels et moraux des classes les plus nombreuses de la société"[22].

Un secolo dopo, Luigi Einaudi scrisse che "il Giudizio resta un bellissimo e ineguagliato esempio di rapporto ufficiale e "la" fonte per uno studio della storia economica piemontese prima del Risorgimento"[23].

La strada per rendere competitivo il sistema produttivo era per Giulio non solo la scienza ma la qualità dell'istruzione. La questione delle scuole tecniche era emersa anche all'Accademia, nello stesso anno in cui Giulio, insieme a Menabrea, pochi mesi dopo aver ricevuto i complimenti di Cavour, iniziò a proporre una riforma del regolamento accademico sulla concessione dei privilegi[24]. Durante l'adunanza accademica del 18 maggio 1845, Giulio e Menabrea lanciarono un primo, timido tentativo di modifica della regolamentazione della legge sui privilegi:

"Affinchè un ritrovato o una importazione sian degni di privilegio sono necessarie due condizioni sulle quali generalmente delibera l'Accademia; la prima, che la cosa inventata od importata sia utile o conveniente; la seconda ch'essa sia effettivamente nuova: se trattasi d'invenzione, o non ancora usata ne' Regi Stati, né divulgata, o se d'importazione. Rispetto alla utilità, ed alla convenienza l'Accademia può essere in grado di pronunziare poiché un tal giudizio dipende in parte dal ragionamento, e da cognizioni scientifiche che trovasi radunate in questo consesso.

Ma sulla novità della cosa l'Accademia non è generalmente in posizione di poter emettere un incontrastato parere, poiché gli elementi necessari per appoggiarlo mancano in massima parte. Infatti chi potrebbe essere informato del risultato delle ricerche che si fanno sulle cose industriali anche nella sola Europa? A Parigi e a Londra (che son pure i due grandi centri delle cognizioni umane) la cosa si riconobbe impossibile, e come nol sarà a fortiori per Torino privo di tanti mezzi di ricerche? Sembra dunque cosa prudente e necessaria che, l'Accademia, salvo poche eccezioni, limiti suoi giudizi alla sola questione di utilità e di convenienza. Al ricorrente si lascerebbe la responsabilità delle sue asserzioni rispetto alla novità, col prescrivere ch'esso verrebbe deluso del favore ottenuto, qualora si riconoscesse che la invenzione fosse di un altro, o già in qualche paese resa di pubblica ragione, o che l'importanza fosse prima da altri effettuata ne' Regi Stati. In questa maniera i pareri dell'Accademia essendo ristretti nel cerchio di sua competenza non verrebbero esposti ad essere intaccati di errore, e chi tentasse di rapire un immeritato privilegio, sarebbe abbastanza trattenuto dal timore di doverlo perdere

senza compenso delle spese fatte per acquistare questo illegittimo favore"[25].

I due accademici non osarono o vollero intaccare le basi della legge. L'Accademia sarebbe rimasta il giudice dell'utilità e della convenienza dell'invenzione, principi rimossi dalla legge francese sui brevetti. Solo il loro giudizio sulla novità, troppo difficile da attestare data la velocità del progresso tecnologico, era messo in discussione. Secondo la loro proposta, l'autocertificazione dei ricorrenti avrebbe reso la procedura molto più spedita e avrebbe alleviato gli accademici evitando una perdita di tempo che non garantiva neanche la sicurezza della novità. Pur non essendo certo rivoluzionaria, la proposta ricevette un'accoglienza alquanto tiepida. La sezione di scienze fisiche e matematiche, presieduta da Amedeo Avogadro, accolse favorevolmente la proposta dei due soci, ma sottolineò anche che non era certo compito dell'Accademia modificare le leggi[26].

La scissione in seno all'Accademia è evidente. Per molti dei suoi membri il tempo dedicato allo studio dei privilegi era parte integrante dei loro doveri e soprattutto, la sola garanzia della qualità scientifica delle invenzioni proposte. Giulio e Menabrea, in minoranza, non poterono che dichiararsi soddisfatti delle reazioni dei loro colleghi.

L'ultimo documento sul coinvolgimento di Giulio nella riforma del sistema dei privilegi a cui gli storici fanno riferimento è quello citato del 1845. Successivamente Giulio si occupò di scuole tecniche, e continuò con successo la sua carriera scientifica e politica, senza più occuparsi, apparentemente, del tema. Qualche anno fa, tra i documenti del ricco archivio Giulio, è stato reperito un interessante documento. Scritto su carta intestata della Regia Segretaria di Stato e datato 1848, questo manoscritto composto da una ventina di fogli, è una proposta di Giulio, lunga ed articolata, per una riforma, anche se non radicale, della legge sui privilegi[27]. La prima parte del manoscritto cerca di definire un tema complesso come quello delle definizioni, in particolare la differenza tra una invenzione e un perfezionamento:

"ogni miglioramento o perfezionamento apportato ad un prodotto noto o ad uno meno noto di produzione, costituisce infatti una nuova invenzione. Non sussiste dunque teoricamente la distinzione tra invenzione e perfezionamento: si può tuttavia ammettere questa distinzione mercé le definizioni seguenti:

1-Ogni miglioramento introdotto dall'inventore nella sua invenzione costituisce un perfezionamento.

2-Ogni miglioramento introdotto in una invenzione altrui costituisce una nuova invenzione."[28]

Un'altra precisazione è su quelle invenzioni che sono conosciute altrove ma nuove sul territorio e non descritte, o descritte in modo da non poter essere comprese, nell'amplia bibliografia dedicata alle invenzioni. Secondo Giulio anch'esse avrebbero dovuto essere considerate invenzioni e quindi degne di ricevere un privilegio. Lo stesso principio si applicava anche a quelle inven-

zioni straniere, di cui alcuni elementi scientifici o tecnologici erano poco noti in Piemonte o avrebbero richiesto per la loro preparazione troppo tempo e denaro. In ogni caso, ogni invenzione, miglioramento o introduzione, per ottenere un privilegio doveva essere, in questo senso, nuova sul territorio.

A questo punto Giulio deve affrontare un problema "morale". Se è il governo il responsabile di che cosa è nuovo, e decide quindi se offrire o meno una protezione giuridica, deve anche assumersi la responsabilità connessa alla decisione. In pratica, il rischio dell'errore. La lunga esperienza di Giulio come esaminatore gli aveva insegnato le difficoltà del giudizio, difficoltà a cui a più riprese nel corso del testo lo studioso fa riferimento. Come nella proposta del 1845, anche in questo studio Giulio ribadisce l'impossibilità nello stato attuale dell'industria di conoscere ogni cosa e poter giudicare la novità e bontà di ogni ritrovato. Inoltre, sottolinea, non solo vi è una difficoltà oggettiva di conoscenza, ma anche l'ulteriore difficoltà di trovare giudici disinteressati.

Per trovare un rimedio, suggerisce, si potrebbe considerare il privilegio non come il risultato di un giudizio, ma come un semplice atto amministrativo. Questo sistema, simile a quello adottato altrove, avrebbe offerto una serie di vantaggi incontestabili tra cui la minore onerosità, una maggiore semplicità e infine una velocità impensabile nel caso di una istruttoria. Inoltre, non essendoci una partecipazione attiva del governo a garanzia della novità e della utilità dell'invenzione, esso non avrebbe avuto alcuna responsabilità *vis-à-vis* del pubblico e del richiedente. Eppure, nonostante l'innegabilità di questi vantaggi, secondo Giulio, essi non erano che un lato della medaglia. La popolazione, secondo lo scrivente, era abituata a tenere in conto il giudizio dell'autorità, a fidarsi di essa. Erano troppo pochi coloro che conoscevano la legge così bene da capire che essa era cambiata e come e quindi da non esserne tratti in inganno. La maggioranza, incapace di decidere autonomamente se un'invenzione era nuova e utile, avrebbe considerato positivamente ogni privilegio, convinta che il semplice fatto di possederlo fosse una garanzia di per sé, come era stato per secoli. Inoltre gli inventori, in buona o cattiva fede, avrebbero teso ad magnificare i loro ritrovati e le persone si sarebbero trovate perdute, senza i loro abituali punti di riferimento.

Inoltre questi rischi sarebbero stati ancora maggiori quando alcuni autoproclamatesi inventori, in assenza del giudizio, avessero agito in cattiva fede, sia vendendo dei privilegi senza alcun valore, sia convincendo a contribuire finanziariamente a progetti rischiosi. Un ulteriore rischio era quello, secondo lo studioso, che in assenza di una vera e propria istruttoria, più di un privilegio potesse essere concesso alla stessa invenzione, dando origine a una serie di litigi costosi e difficili da gestire. Il rischio, la confusione, la ricaduta sul popolo secondo Giulio erano troppo grandi per essere assunti dallo stato. Di fatto, secondo Giulio, l'esame preventivo

rimaneva utile e necessario. Dove lo studioso è innovativo è nella sua proposta di dare la responsabilità del giudizio, non all'Accademia che non viene neanche menzionata nel manoscritto, ma a un gruppo formato da artigiani, mercanti, avvocati e funzionari. Le richieste avrebbero dovuto essere chiare, motivate ma concise. E infine studiate da questo gruppo del quale, per assicurarne l'indipendenza, Giulio proponeva una struttura con cariche permanenti e altamente rappresentativa delle professioni interessate. Caso per caso, il presidente eletto avrebbe dovuto, come nell'Accademia, scegliere tre membri chiamati a studiare i meriti di ogni richiesta. La proposta di Giulio rimase sulla carta, anche se è molto probabile che di questa proposta del 1848 Giulio abbia discusso con un caro amico, quel Scialoja che nel 1854 redigerà la nuova legge sulle privative industriali. A supportare questa teoria, oltre all'amicizia tra i due e gli interessi comuni, vi è la composizione della commissione proposta allo studio non dell'esame preventivo, che verrà abolito, ma della sua notificazione giuridica[29]. L'esame dei brevetti venne infatti affidato inizialmente ad una commissione composta da quindici membri, di cui almeno tre dovevano appartenere alla Magistratura o alla facoltà di Legge, mentre gli altri potevano essere scelti tra gli universitari, gli accademici o i professori di quegli istituti tecnici tanto voluti da Giulio[30].

Tra il manoscritto del 1848 e la legge del 1855 vi è l'ascesa di Camillo Benso conte di Cavour. Grazie ai suoi studi, alla sua conoscenza sul campo e ai suoi soggiorni all'estero che gli avevano permesso di conoscere realtà politicamente e socialmente più avanzate di quella italiana, Cavour era un convinto sostenitore della necessità di riforme economiche, dello sviluppo industriale del Paese e dei principi della libera concorrenza e della libera circolazione delle merci. Grazie all'intelligenza, conoscenza e alla verve dimostrata nei dibattiti su temi finanziari e militari, Cavour assurse ad un ruolo di *leadership* nella maggioranza che sosteneva il governo di Massimo d'Azeglio. Nell'Ottobre 1850 gli venne offerto il dicastero dell'Agricoltura e presto divenne il membro più attivo e influente del gabinetto. Nel novembre del 1852, Cavour, grazie al "connubio" con il centro-sinistra di Rattazzi diventò il Presidente del Consiglio del governo costituzionale del Regno di Sardegna. Dall'accordo derivò che Cavour dovette scendere a dei compromessi, prendendo delle decisioni non in linea con il suo pensiero liberale che gli attirarono spesso le critiche di Giulio, nominato Senatore nel 1851[31].

Intanto, le forze che spingevano per l'abolizione della legge del 1826 si rafforzavano di giorno in giorno. Secondo l'*Annuario storico-statistico*, del 1852, per esempio:

"Una buona legge che assicuri agli inventori la proprietà temporaria delle loro scoperte senza assoggettarli ad un giudizio impossibile a darsi equamente, e lascino che il merito stesso delle invenzioni ne limiti il valore ed il pre-

mio, come si fa in tutti gli illuminati paesi, contribuirà senza fallo a dar coraggio a tentare nuovi passi di avanzamento".

Più duro ancora è il giudizio espresso nello stesso anno alla voce "Privilegi" del *Dizionario di Diritto Amministrativo*:

"Se dovessimo trattare dei difetti delle leggi considerate nei rapporti coll'ordine pubblico, ed in quanto riguardano il migliore interesse della nazione, noi porremmo tostamente in primo ordine i 'privilegi' ossia quelle leggi che accordano speciali diritti o speciali esenzioni ad una classe di cittadini con l'assoluta esclusione di quelli che non tengono alla classe verso cui i governi, in virtù di formali sanzioni o di vecchie costumanze, largheggiano favori personali e reali".

Come nell'Inghilterra del Seicento, i privilegi erano visti come dei favori, spesso personali. Il 29 marzo 1854 Scialoja, allora Ministro delle Finanze, presenta la "Relazione sulle privative per invenzioni e scoperte industriali"[32]. Il progetto, viene approvato in Parlamento con poche modifiche il 12 marzo 1855.

Il fatto che proprio Giulio fosse stato nominato relatore della commissione dell'Ufficio centrale del Senato, dovette aver agevolato non poco la fase conclusiva dell'iter del progetto[33]. Con l'unificazione della penisola sotto l'egemonia piemontese, la legge verrà estesa gradualmente in tutta Italia. Due mesi dopo l'approvazione del progetto di legge, il ministero notificò all'Accademia, dopo trent'anni di collaborazione, che d'ora in poi le invenzioni per cui era chiesto un privilegio "non erano più sottomesse dal governo ad un preventivo esame"[34]. I verbali delle sedute accademiche non registrano alcun commento. Era finita, nel bene o nel male, la stagione dei privilegi, e del controllo dell'Accademia sulla ammissibilità e utilità delle invenzioni in Piemonte.

Conclusioni

La legge del 1855 era sicuramente molto più al passo con i tempi delle proposte di Giulio. Se la prima proposta, quella avanzata con Menabrea nel 1845 aveva dovuto tenere in conto le reticenze e le volontà di un gruppo importante in seno all'Accademia, quella del 1848, libera dai legami accademici, rispecchia il pensiero dell'economista. In essa Giulio non si distacca dalle basi del diritto del 1826, che vedeva la necessità di un giudizio, e modifica solo i referenti, spostando l'interesse da una valutazione "scientifica" a una che prendesse in conto gli aspetti pratici, legali e commerciali locali. La preoccupazione di uno dei più spinti sostenitori del libero commercio, per quello che riguarda i privilegi industriali, non è quella di tutelare l'inventore, o il libero mercato, ma il popolo. Rimarcando il ruolo del governo nella concessione dei privilegi, l'economista rivela una visione paternalistica dello stato e del suo rapporto con un tema fondamentale e ancora in discussione come quello della proprietà intellettuale e industriale. Einaudi, a proposito di un saggio di

Giulio sul pane, scrisse che le sue argomentazioni, lungi dall'essere quelle che ci si sarebbe aspettati da un neoliberista, erano dettate piuttosto dal buon senso e dalla logica. Lo stesso può essere detto in questo caso.

[1] Questo articolo, rivisto e parzialmente modificato, è basato su un lavoro scritto con Andrea E. Goldstein e presentato alla prima riunione dell'EPIP (Parigi, novembre 2003).

[2] Cfr. il fondamentale M. Ciardi, *La fine dei privilegi. Scienze fisiche, tecnologia e istituzioni scientifiche sabaude nel Risorgimento*, Firenze, Olschki, 1999.

[3] La letteratura sulla storia del privilegi è alquanto vasta. Per un primo approccio, cfr. L. Dolza, V. Marchis, M. Vasta, *I privilegi industriali come specchio dell'innovazione nel Piemonte Preunitario Torino,* La Rosa, 1992. Per una storia del diritto cfr. E. Fusar Poli, "La disciplina delle invenzioni industriali dalla Serenissima al Regno d'Italia", in Tecnici, Empiristi, visionari, a cura di M. Belfanti, Grafo, Brescia, 2002, pp. 7-30. Per una storia delle Patents inglesi cfr. C. MacLeod, Inventing the Industrial Revolution, Cambridge, CUP, 1989. Per una storia della proprietà industriale in Francia cfr. L. Hilaire-Perez, L'invention technique au siècle des Lumières, Parigi, Albin Michel, 2000.

[4] Per il testo integrale, conservato in Archivio di Stato di Venezia, Senato Terra, reg. 7, c.32 e ASV, Provv. Comun. B.1, cfr. R. Franceschelli, La prima legge generale in materia di invenzioni industriali, in "Rivista di diritto industriale", 1955, fasc. I, pp. 371-372. Per le patenti veneziane cfr. L. Mola, The silk industry of Renaissance Venice, Baltimora, and London, Johns Hopkins University Press, 2000.

[5] M. Popplow, Protection and Promotion: Privileges for Inventions and Books of Machines in the Early Modern Period, "History of Technology", 1998, vol. 20, n. 1, pp. 103-124.

[6] Cfr. C. Macleod, op. cit.

[7] La legge del 1790 decise che il responsabile per la concessione dei brevetti era il Department of State. I suoi membri, il Secretary of State, il Secretary for the Department of War, e l'Attorney General dovevano esaminare se un'invenzione era "sufficiently useful and important". Cfr. E. Walterscheid, Thomas Jefferson and the Patent Act of 1793, "Essays in History", 1998, vol. 40.

[8] *Ibidem*.

[9] Oltre al citato Hilaire-Perez, per il ruolo dell'accademia cfr. anche R. Hanh, Anatomy of a Scientific Institution, The Paris Academy of Science, 1666-1803, Berkeley and Los Angeles, University of California Press, 1971; e R. Briggs, The Académie Royale des Scienz and the Pursuit of Utility, "Past and Present", 1991, n. 131, pp. 38-88.

[10] Per l'evoluzione della legge francese da un punto di vista giuridico cfr. il citato E. Fusar Poli.

[11] F.A. Duboin, XVI, 1848-69, p.11 (20 Aprile 1561) e XV, p.1 (Agosto 1566). L'importanza delle migrazioni per lo sviluppo tecnologico è un tema vasto e importante, affrontato in molti e validi studi che sarebbe troppo lungo riportare. Cfr. i recenti International Technology Transfer in Historical Perspective, a cura di D.J. Jeremy, Londra, 1991 e B. E. Seely, Historical Patterns in the Scholarship of Technology Transfer, Comparative Technology Transfer and Society, vol. 1, Num. 1, Aprile 2003, pp. 7-48.

[12] G. Symcox, Vittorio Amedeo II. L'assolutismo sabaudo, Torino, SEI, 1985, in particolare pp. 263-264.

[13] G. Caligaris, Arti, manifatture e privilegio economico nel Regno di Sardegna durante il XVIII secolo, in "Corporazioni e gruppi professionali nell'Italia moderna", a cura di A.Guenzi, P. Massa, A. Moioli, Bari, Franco Angeli, 1999, pp. 171-200.

[14] V. Ferrone, Tecnocrati militari e scienziati nel Piemonte dell'Antico Regime. Alle origini della Reale Accademia delle Scienze di Torino, "Rivista Storica Italiana", 1984, II, pp. 414-509.

[15] Cfr. Archivio di Stato di Torino, Corte, Mat. Economiche, Commercio, m.1 cat. V, da inv.
[16] *Ivi*. Lettera del 6 giugno 1825 a Sua Reale Maiestà, firmata da sette membri del Consiglio.
[17] M. Ciardi, op. cit., p. 161
[18] *Ivi*. e N. Nada, P. Notario, Il Piemonte sabaudo dal periodo napoleonico al Risorgimento, Torino, Utet, 1993.
[19] L. Einaudi, Di un economista e statistico piemontese non abbastanza pregiato, "La Riforma Sociale", 1935, I, pp. 98-106.
[20] C.I. Giulio, Quarta esposizione d'industria e di belle arti al Real Valentino. Giudizio della Regia Camera di Agricoltura e di Commercio di Torino e notizie sulla patria industria, Torino, Stamperia reale, 1845, p. 377.
[21] C. Cavour, Epistolario, vol. III, 1844-1846, a cura di C. Pischedda, Firenze, Olschki, 1973, lettera n. 154, febbr. 1845.
[22] C. Cavour, Scritti inediti e rari, 1828-1850, a cura di R. Romeo, Fondazione Cavour, Santena, 1971,pp. 146-147.
[23] Einaudi, op. cit.
[24] M. Ciardi, op. cit. p. 249 e in generale il Cap. IV.
[25] Archivio Storico dell'Accademia delle Scienze di Torino (ASAS), Verbali delle Adunanze, mazzo 22, pp. 177-179.
[26] Verbali, SFM, 1840-1851, pp. 177-178.
[27] C.I. Giulio, Mss. "Brevetti d'Invenzione. Note prese nella primavera del 1848", Provincia di Torino, Archivio Giulio, faldone 45 "invenzioni".
[28] *Idibem*, sua sottolineatura.
[29] Sul fecondo rapporto fra Scialoja e Giulio e sulla comunione d'idee su alcune tematiche cfr. Romani, L'economia politica del Risorgimento italiano, Torino, Bollati Boringhieri, 1994., pp. 179-182.
[30] Giulio ideò e promosse la fondazione della Scuola di Meccanica applicata alle arti, inaugurata il 15 dicembre 1845, di cui fu direttore. Fra i frequentatori vi erano rappresentanti di tutte le classi sociali; sul successo ottenuto dalla scuola A. Garino Canina, Il pensiero politico-economico di Carlo Ignazio Giulio, in Id., Scritti vari di economia e di finanza, Torino, G. Giappichelli, 1952, pp. 338-343.
[31] R. Romeo, Vita di Cavour, Bari, Laterza, 1984, p. 240.
[32] Su Scialoja e il suo ruolo nella proposta di legge sui brevetti cfr. M. Gallifante, Antonio Scialoja e le riforme legislative in Piemonte negli anni preunitari: la legge sulle privative industriali, "Il Risorgimento", LV, 2003, 3, pp. 369-406.
[33] *Ibidem*.
[34] Verbali SFM, 1851-1858, p. 244, riportato da M. Ciardi, op. cit., p. 283.

Cesare Rossi

Una breve rassegna sugli automi: la meccanica che ha preceduto i robot

1. *Introduzione*

Nel 1900, al largo dell'isoletta greca nell'Egeo di Anticitera, a bordo di un relitto di nave risalente al I secolo a.C. venne ritrovato un "oggetto misterioso". Solo successivamente venne riconosciuto che tale oggetto (noto oggi come meccanismo di Antikytera) era un meccanismo molto complesso costituito da molte ruote dentate, alcune delle quali montate su assi mobili in modo da costituire rotismi epicicloidali, questi ultimi inventati "ufficialmente" molti secoli dopo. La funzione del meccanismo in questione era probabilmente quella di calcolatore astronomico. Questo (ed altri) ritrovamenti costituiscono oggi il "cavallo di battaglia" di quanti sostengono sia esistita una (o più) civiltà antichissima e molto progredita che si sarebbe estinta circa 12000 anni or sono. Senza entrare nel merito della correttezza della datazione ufficiale della storia della civiltà umana, è indubbio che almeno due millenni fa già si conosceva la cinematica dei rotismi differenziali ed il modo di costruire ruote dentate, di piccole dimensioni, in grado di assicurare la trasmissione del moto con dolcezza e continuità. Questo aspetto non è banale: chiunque si occupi di cinematica sa che i profili di oggetti materiali che soddisfino al requisito sopra ricordato devono essere coniugati;

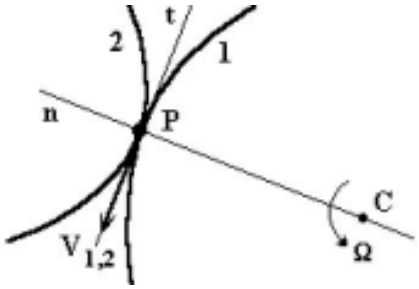


Fig.1- Profili coniugati

in fig.1 sono mostrati i due profili, indicati con 1 e 2: loro forma deve essere tale che, durante il moto relativo, la velocità relativa tra di essi sia ortogonale alla normale comune *n*.

Se ciò non avviene, esiste una componente della velocità relativa tra i profili in direzione della normale comune n che tende a far distaccare i due profili o a farli compenetrare. Il meccanismo di Anticitera dimostra, anche, che già venti secoli fa si era compreso e risolto questo problema per costruire i profili dei denti di piccole ruote dentate. Quanto appena detto è solo uno dei tanti possibili esempi che mostrano che conoscenze ed idee comunemente ritenute recenti, sono semplicemente "riscoperte" di idee e concetti già posseduti da tecnici e studiosi vissuti anche molti secoli prima di noi. Per questo motivo sembra possa essere interessante una panoramica su un particolare tipo di realizzazione meccanica: gli automi.

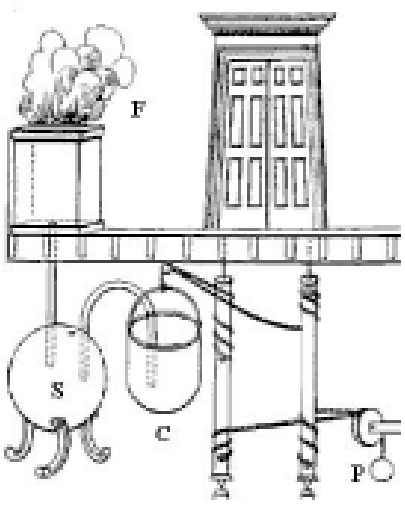


Fig. 2 – Azionamento delle porte di un tempio

2. *Breve panoramica sulle più significative realizzazioni*

In questo paragrafo si riportano, fra quelle delle quali si ha notizia, quelle realizzazioni nel campo degli automi che sono sembrate più significative.

L'idea (o il desiderio) di costruire macchine automatiche si è affacciata nella mente umana in tempi molto più remoti di quanto non si possa credere comunemente. A tal proposito basta ricordare che nella mitologia Greca (v. ad es. Iliade libro XVIII vv. 519-525) Efesto, il dio del fuoco, aveva costruito alcuni "automi" (forse oggi diremmo: androidi) ai quali faceva svolgere alcuni compiti.

Le prime realizzazioni di figure animate da un motore non animale, storicamente, possono essere fatte risalire alla Scuola Alessandrina (III ÷ I sec. a.C.); si comincerà, allora, da alcune realizzazioni di tale epoca.

2.1 *La scuola alessandrina*

Il più famoso realizzatore di automi della scuola alessandrina è senz'altro Erone di Alessandria. La sua data di nascita è molto incerta: è probabile che l'eclissi di luna da lui osservata sia quella verificatasi il 13 marzo del 62 d.C. Anche le sue origini sono incerte forse fu greco o forse egiziano.

In alcuni suoi trattati (La Pneumatica; Sugli Automi), Erone ha descritto statue con sembianze umane (automaton) che si muovevano in un teatro, animali che bevevano, uccelli che cantavano, porte di templi che si aprivano e chiudevano; tutti mossi dall'azione dell'acqua o del vapore.

Il meccanismo per la apertura e chiusura delle porte di un tempio è illustrato in fig. 2.

L'aria calda prodotta dal fuoco F metteva in pressione l'acqua nel serbatoio S che andava a riempire il recipiente mobile C; il peso di questo, agendo su due corde avvolte su due rulli, faceva ruotare i rulli stessi cui erano collegate le porte di un tempio che così si aprivano. Se il fuoco veniva spento la pressione nel serbatoio diminuiva ed in esso ritornava l'acqua dal recipiente mobile; quindi il peso P provocava la chiusura delle porte. Un famoso automa di Erone raffigurava Ercole che colpisce un drago con la clava, una ricostruzione del quale fatta da Giovanbattista Aleoti nel 1589 è riportata in fig. 3. Una serie di pesi e contrappesi costituiti da serbatoi riempiti dal getto d'acqua di una fontana muovevano le braccia di una statua raffigurante Ercole che così

colpiva il drago sulla testa e quest'ultimo emetteva getto d'acqua dalla bocca che investiva Ercole.

Moltissimi sono gli automi attribuiti ad Erone, tra i quali ricordiamo ancora un teatro nel quale gli attori erano automi mossi meccanicamente dalla forza dell'acqua o del vapore. Si tramanda che anche altri alessan-drini (Archita di Taranto, Ctesibio, Filone di Bisanzio) abbiano realizzato sistemi automatici, spesso aventi forma di figure umane o di animali, mossi dalla pressione dell'acqua o del vapore. In particolare Ctesibio (probabilmente il fondatore della scuola alessandrina), costruì (tra l'altro) un orologio ad acqua la cui precisione fu superata solo molti secoli dopo dagli orologi a pendolo.

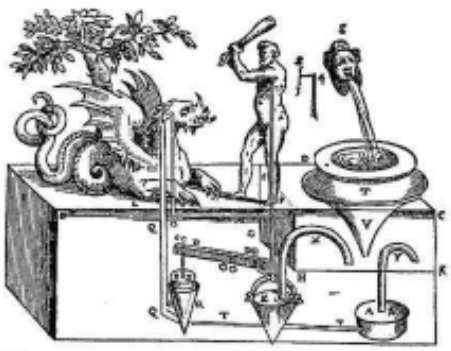


Fig. 3 – Ercole ed il drago

2.2 *Il medioevo*

Nel medioevo progressi furono fatti soprattutto nei meccanismi a camme e nella programmazione del movimento mediante funi avvolte su cilindri. Alcuni di essi sono riportati in fig. 4. In particolare nella fig.4,a è mostrato un meccanismo a camme mentre nella fig. 4,b sono mostrati dei cilindri sui quali è avvolta una fune con passo e verso di avvolgimento variabili; tirando la fune a velocità costante, la legge del moto con la quale ruota il cilindro dipende dal passo e dal verso di avvolgimento della fune sul cilindro stesso. È possibile così "programmare" la legge del moto del cilindro. Si racconta che Papa Silvestro II (salito al Soglio Pontificio nel 999) abbia inventato il meccanismo a scappamento sulla base del quale sono costruiti i moderni orologi meccanici, e la leggenda vuole che questa controversa figura di Papa abbia costruito anche statue semoventi ed una testa parlante che funzionava grazie al vapor acqueo.

Un'altra legenda vuole che Alberto Magno (1204-1282) abbia costruito un servitore meccanico, forse per liberarsi da incombenze materiali e poter dedicare più tempo allo spirito.

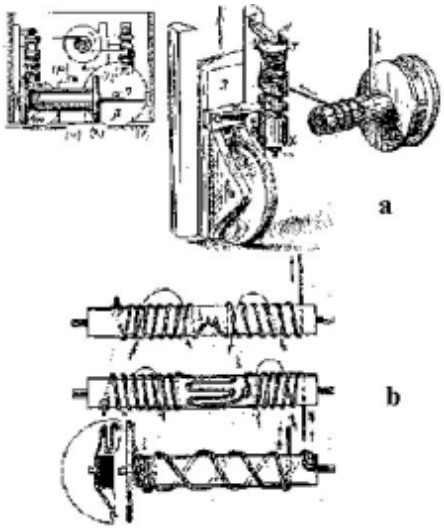


Fig.4 Meccanismi a camme e funi



Fig.5 – Il "robot" di Leonardo

2.3 *Il Rinascimento*

Per trovare esempi documentati di applicazione dell'automatica occorre attendere il Rinascimento.

Leonardo da Vinci si occupò (anche) di questa disciplina disegnando e probabilmente costruendo nel 1495 quello che potremmo definire il primo esempio di androide a tutti gli effetti; esso costituisce uno sviluppo dei suoi precedenti studi sulla anatomia e sulla cinematica. La scoperta del "robot di Leonardo" e la spiegazione del suo funzionamento è dovuta all'ingegnere nordamericano Mark E. Rosheim. Il robot umanoide di Leonardo (v. fig.5) che rispettava, naturalmente, le proporzioni vitruviane e rappresentava un cavaliere medioevale in armatura, era costituito da due metà indipendenti.

Le gambe avevano le articolazioni dell'anca del ginocchio e della caviglia mentre, per la parte superiore erano dotate di articolazioni le spalle, i gomiti il polso e le mani. Le membra erano mosse da corde che simulavano i tendini ed i muscoli. I movimenti delle braccia erano regolati da un controllore programmabile mentre le gambe erano mosse da una manovella esterna collegata alla caviglia al ginocchio ed all'anca; la modernità della realizzazione di Leonardo consiste proprio nella programmabilità. Anche se non erano precisamente automi, devono essere ricordate alcune protesi realizzate dal chirurgo francese Parè Ambroise (1510-1590) tra le quali è particolarmente notevole la mano meccanica (v. fig.6) descritta nel suo trattato "*Dix livres de chirurgie"* (Parigi 1564); essa fu costruita per un ufficiale francese che aveva perduto una mano in battaglia.

Come si può osservare il livello di perfezione degli "attuatori" e delle articolazioni delle dita è davvero sorprendente per l'epoca. È davvero un peccato che gli studi del chirurgo francese siano state abbandonati per alcuni secoli. Una spiegazione verosimile è che, in quei secoli, la realizzazione di congegni che riproducessero molto realisticamente quelli della natura fosse ritenuta da molti una attività sospetta.

Un impulso alla realizzazione dei meccanismi che muovevano figure di esseri umani o di animali fu dato nel secolo XVI dall'utilizzo della molla a spirale; essa è essenzialmente costituita da una lamina metallica avvolta a spirale che può immagazzinare lavoro meccanico per poi restituirlo nel tempo ed è ancor oggi impiegata negli orologi meccanici. Mediante la molla a spirale fu possibile dotare gli automi di un motore interno, mentre, fino ad allora, essi erano mossi da una fonte di energia esterna, salvo rarissime eccezioni.

Nel secolo XVI furono così realizzati da maestri orologiai di Augusta e Norimberga piccoli orologi da tavolo con figure umane che si muovevano grazie al meccanismo ad orologeria. Nello stesso secolo furono realizzati inoltre un buon numero di figure mobili installate sui campanili e sugli orologi delle chiese. Tra tutti si ricorda il gallo meccanico montato nel 1574 sull'orologio della cattedrale di Strasburgo che, a mezzo giorno, appariva, batteva le ali e, dopo aver aperto il becco cantava tre volte.

2.4 *Il XVIII secolo*

Nel XVIII secolo, accanto al grande sviluppo delle scienze, si verifica uno sviluppo senza precedenti della tecnica e dell'artigianato. In particolare sono notevoli i progressi della meccanica di precisione per la costruzione di orologi. È questo un contesto molto favorevole allo sviluppo di meraviglie meccaniche da donare a re ed imperatori e da esibire presso le corti europee.

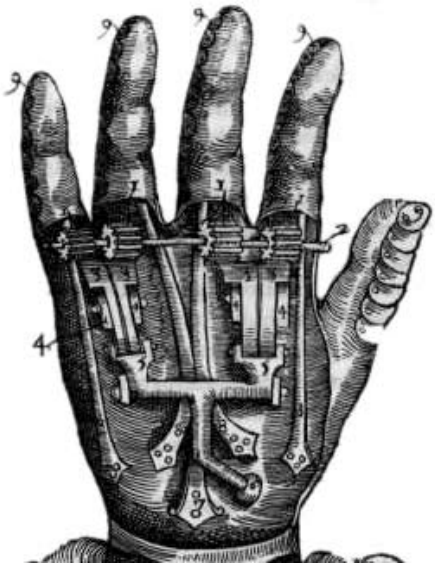


Fig.6 – Mano meccanica

Uno dei più noti ideatori e costruttori di automi fu Jacques de Vaucanson (1709-1782) che dal 1737 al 1741 realizzò alcuni automi il più famoso (ed il più sorprendente) dei quali è certamente l'anatra (v. fig. 7) che è andata perduta ma è riportata nella *Encyclopédie* di Diderot e d'Alembert (1751). Con questa realizzazione, probabilmente per la prima volta, un progettista tenta di riprodurre, con la meccanica, non solo il movimento ma anche le funzioni degli organi interni di una creatura appartenente al regno animale. L'anatra del de Vaucasson era composta da oltre mille pezzi e le ali da sole contenevano circa 400 parti mobili per riprodurre al meglio possibile i movimenti di un anatra in carne ed ossa. La macchina imitava molto realisticamente i movimenti principali di un'anatra ed inoltre beveva e beccavachicchi di grano.

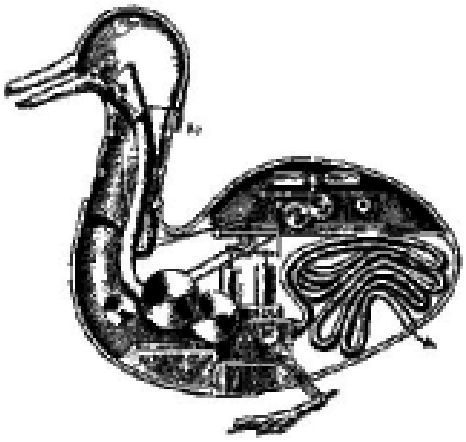


Fig.7 – Interno dell'anatra di de Vacuasson

All'interno del corpo dell'anatra sono celati particolari sorprendenti: l'acqua ed i chicchi di grano, triturati dal becco, venivano aspirati in un sacchetto che simulava lo stomaco nel quale avveniva una specie di digestione, al termine della quale si verificava l'evacuazione.

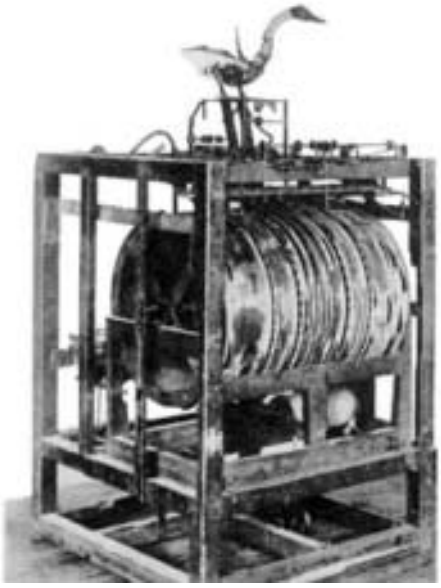


Fig. 8 – Meccanismo anatra di de Vaucasson

Non si conoscono descrizioni accurate sul come avvenisse questa pseudo digestione ma il celebre prestigiatore Robert-Houdin affermò di aver riparato l'anatra e che l'evacuazione fosse stata realizzata con un abile "trucco" utilizzando mollica di pane bagnata e colorata di verde. Non è noto se il "trucco" sia stato da attribuire al de Vaucasson o a Robert-Houdin; pare che dell'automa fossero state realizzate copie più o meno fedeli e quindi il prestigiatore potrebbe aver riparato una copia e non l'originale. Ogni movimento dell'automa era codificato mediante cilindri dentati od opportunamente sagomati (v. fig.8).

Automi molto celebri e per molti versi straordinari furono costruiti da due orologiai svizzeri: Pierre ed Henri-Louis Jaquet Droz, rispettivamente padre e figlio. I due orologiai, coadiuvati da Jean-Frédéric Leschot, tra il 1768 ed il 1774 costruirono bambole meccaniche davvero stupefacenti. Al padre si deve *Lo Scrivano* ed al figlio *Il Disegnatore* e *La Suonatrice*, ancor oggi visibili (v. fig. 9) presso il Museo dell'arte e della Storia di Neuchatel in Svizzera.



Fig. 9 – Automi dei Jaquet Droz

I tre automi sono mossi da motori ad orologeria e, mediante un complicato meccanismo a camme, lo scrivano scrive un messaggio, il disegnatore riproduce un disegno e la suonatrice esegue un breve brano musicale su di una vera tastiera.

Il compito che ognuno di loro esegue può essere scelto fra alcuni possibili; in qualche misura si può quindi parlare di una specie di riprogrammabilità.

In fig.10 è mostrato il dorso del disegnatore aperto in modo da rendere visibile parte del meccanismo. Esso è composto di due parti: la prima, situata superiormente, agisce su di un cilindro con tre gruppi di camme; la seconda, posta al di sotto della prima, muove il cilindro verticalmente. Il movimento della mano è dato dalla combinazione di due spostamenti ortogonali tra loro.

Ad ogni camma corrisponde un tratto del disegno che viene realizzato dall'azione delle camme una dopo l'altra.

Verso la fine del '700 il barone ungherese Wolfgang von Kempelen realizzò un giocatore di scacchi meccanico costituito dal busto con braccia di un Turco che muoveva i pezzi su di una scacchiera. La "macchina" batteva molti giocatori di scacchi ma era un falso: all'interno di essa era occultato molto ingegnosamente un uomo di piccola statura.

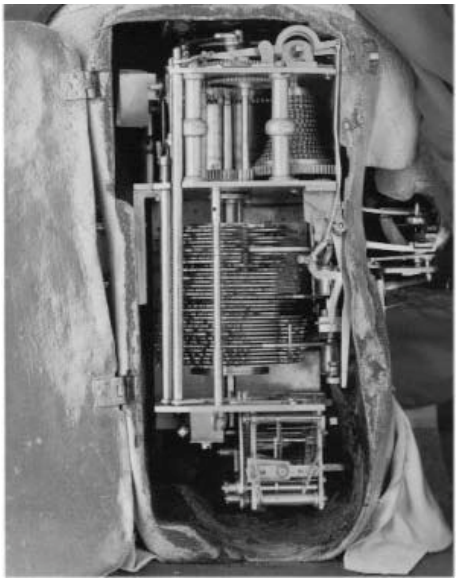


Fig. 10 – Meccanismo del "Disegnatore

2.5 *Il XIX secolo*

All'inizio del XIX secolo furono realizzati gli automi dei fratelli Maillardet (Jaques-Rodolphe, Henri e Jean David); essi furono prima apprendisti e poi soci dei Jaquet-Droz e continuarono il lavoro dei loro maestri. L'automa in fig.11 riproduce un adolescente ed è in grado di scrivere una poesia (v. fig.12) oppure di riprodurre un disegno scelto tra



Fig. 11 – Lo "scrivano" dei Maillardet



Fig. 12 – Poesia dello "scrivano"

quattro possibili, uno dei quali è mostrato in fig. 13.

Come si può osservare dalla figura 13, la qualità del disegno è davvero sorprendente specialmente se si pensa che per realizzare ogni singolo tratto del disegno stesso è necessaria una camma del meccanismo che muove il braccio dell'automa. Con la rivoluzione industriale si registra un notevole aumento del numero di inventori di automi e della produzione di questi ultimi che però sono di solito di livello più basso di quelli costruiti nel secolo precedente. Ciò può spiegarsi col fatto che tanto l'inventiva quanto la mentalità dei tecnici della metà dell'ottocento era rivolta verso aspetti e realizzazioni più pratiche. Gli automi che furono realizzati nel secolo precedente erano capolavori sia dell'ingegneria che della fantasia, tanto da sembrare quasi sospesi tra il mondo reale e quello delle fiabe, ma appartenevano, ormai, ad un tempo irrimediabilmente passato.

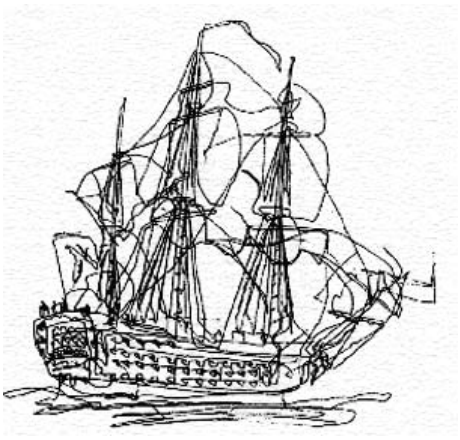


Fig. 13 – Disegno dello "scrivano"

Negli anni successivi molti degli automi furono ideati o utilizzati da prestigiatori o da progettisti comunque interessati all'illusionismo che a quella epoca era molto di moda. Tra questi ricordiamo Jean Eugene Robert-Houdin e Stevenard. Il motore a vapore era ormai giunto alla sua maturità e consentiva di realizzare macchine in grado di muoversi su percorsi relativamente lunghi esercitando sforzi di trazione notevoli. Furono costruiti così automi semoventi che rimorchiavano carri; questi ultimi avevano la funzione anche di assicurare l'equilibrio dell'automa durante la deambulazione. Un esempio di questi automi semoventi è lo Steam Man MKII costruito nel 1875 da Frank Reade Sr., mostrato in fig.14.

L'avvento dell'elettricità consentì di disporre di un motore molto più versatile sia del motore ad orologeria che di quello a vapore; Frank Reade Jr., figlio dell'inventore sopra ricordato, nel 1885 costruì una sua versione della macchina del padre dotata di motore elettrico: l'Electric Man mostrato in fig.15.

La grande guerra segna il tramonto definitivo dell'era degli automi.

2.6 *Gli automi in oriente*

Il desiderio, le conoscenze tecniche e le abilità degli inventori europei nel costruire automi erano patrimonio anche dei loro colleghi in Oriente, principalmente in Giappone, Cina ed India. La sensibilità e la cultura di quei popoli spinse i loro inventori a sviluppare principalmente bambole meccaniche nelle quali l'estetica era particolarmente curata, quali ad esempio i burattini semoventi Karakuri Ningyo (meccanismi in forma umana); fra questi ricordiamo la bambola che serve il tè mostrata in fig.16. La bambola, alta circa 36 cm, è dotata di un meccanismo mosso da una stecca di balena che la fa avanzare verso l'ospite al quale porge una tazza di tè; non appena la tazza viene tolta dal vassoio che è nelle mani della bambola, essa si arresta.



Fig. 14 – Lo "Steam man MKII"

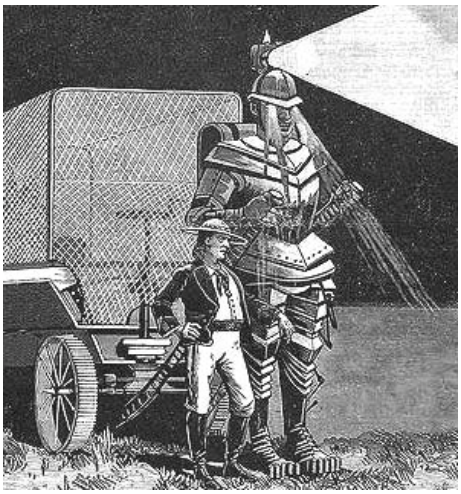


Fig. 15 – Lo "Electric man"



Fig. 16 – Bambola che porta il te

2.7 *A cavallo del nuovo millennio*

L'avvento del calcolatore elettronico ed i progressi di tutta l'elettronica di potenza hanno consentito di realizzare, dalla fine degli anni 40 in poi, sistemi di azionamento e di controllo per catene cinematiche aperte a più gradi di libertà. Cioè, meccanismi costituiti da elementi rigidi ciascuno dei quali è collegato con alcuni degli altri elementi ed è mosso, rispetto ad essi, da un proprio servomotore (in genere elettrico) in modo indipendente. La possibilità di controllare e di "coordinare" i movimenti degli elementi di tali meccanismi ha consentito di realizzare i moderni robot industriali, definiti dal Robot Institute of America (R.I.A.) come: "ma-

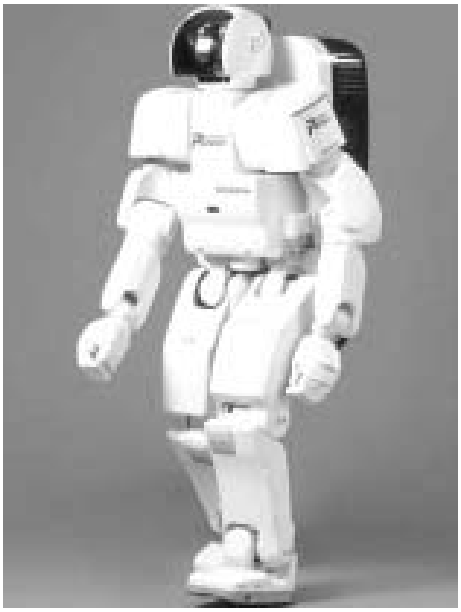


Fig.17 – P3 Honda

nipolatori riprogrammabili, multifunzionali, progettati per spostare materiali, parti, utensili o apparati specializzati per mezzo di un moto variabile e programmato a seconda del compito da svolgere". Dunque sembra che il robot di oggi poco abbia in comune con l'automa. È però da osservare che, in questi ultimi anni, molte industrie hanno realizzato macchine che, in un certo modo, potrebbero indicare un "ritorno" alla costruzione degli automi. Tra tutte, si ricordano gli "androidi" P3 ed ASIMO della Honda, gli androidi Toyota e Fujitzu, gli androidi ed il cagnolino AIBO della Sony.

Il P3 della Honda ha la figura di un uomo, alto circa 160 cm, che indossa tuta e casco da astronauta (v. fig.17); esso può camminare mantenendosi in equilibrio sulle proprie gambe (perfino



Fig.18 – AIBO

salire e scendere per le scale) e può compiere alcune operazioni con le braccia e le mani. Tutte le sue membra hanno, praticamente, le stesse possibilità di articolazione di quelle umane. Lo ASIMO è molto simile al P3 ma ha dimensioni minori essendo alto circa 120 cm.

Il cagnolino AIBO (v. fig. 18) si muove sulle sue quattro zampe, ed è capace di individuare una palla e di dirigerla in un dato punto.

Queste macchine, per ora, svolgono essenzialmente funzioni di dimostratori tecnologici e di strumenti di ricerca, ma alcune hanno anche funzioni di svago e ricreative. Da questo punto di vista, pur discostandosene per molti aspetti, potrebbero esser considerate l'ultima evoluzione degli automi del passato.

Macchine semoventi, molto meno complesse di quelle appena ricordate, ma comunque molto versatili, oggi, possono essere acquistate e realizzate (a partire da scatole di montaggio o con componenti acquistati separatamente) praticamente da chiunque abbia un minimo di conoscenze o anche solo di buona volontà, con una spesa molto conte-

nuta. Molte di esse possono esser considerate dispositivi multifunzionali e riprogrammabili essendo dotate di eeprom programmabile tramite personal computer. Per inciso, l'autore di questa rassegna ne impiega una per scopi didattici ed anche per proprio divertimento.

Da questo punto di vista si può affermare che la diffusione ed il basso costo dei componenti elettronici di oggi consentono a molti di realizzare quasi dei "pronipoti" degli automi del settecento. E' però da osservare che questi ultimi "giocattoli" moderni ai quali si è appena accennato non hanno la perfezione meccanica degli automi del passato e non posseggono, neanche lontanamente, il loro fascino.

3. *Conclusioni*

Una rassegna sugli automi, per poter essere considerata esauriente, richiederebbe almeno lo spazio di un libro. Lo scopo di questa panoramica è solo quello di presentare alcuni esempi di automi costruiti nell'arco di duemila anni così che percorrendo, per sommi capi, lo sviluppo della tecnica e della meccanica applicate a queste macchine, si possa cogliere anche un poco dello sviluppo del pensiero degli uomini che le hanno ideate.

In tutti i campi della scienza e della tecnica, lo sviluppo non avviene con andamento linearmente crescente essendo spesso legato all'inventiva ed alle intuizioni di singoli uomini; a volte accade che alcune conquiste siano dimenticate per poi essere riscoperte anche dopo secoli. Ciò si è verificato anche nel campo degli automi, macchine forse particolarmente interessanti perché testimoniano nei secoli il desiderio dell'uomo di riprodurre esseri animati tentando quasi, con mezzi meccanici, di essere in qualche modo simili al Creatore. Questo desiderio non appare però mai blasfemo perché sembra trasparire sempre nell'inventore un profondo rispetto ed una profonda ammirazione per l'Opera della Creazione.

Si è dibattuto spesso sulla questione se gli automi siano antenati delle macchine che oggi chiamiamo robot. A tal riguardo a chi scrive pare siano da considerare due aspetti: uno tecnico ed uno che si potrebbe definire "concettuale".

Dal punto di vista tecnico, tutte le definizioni di robot attualmente accettate fanno riferimento ad una macchina riprogrammabile e multifunzionale. Sebbene alcuni automi abbiano posseduto, in una certa misura, caratteristiche di riprogrammabilità, certamente nessuno di essi può essere definito multifunzionale. Come si è detto, negli attuali robot industriali, il braccio meccanico è costituito da un insieme di elementi rigidi, collegati tra loro in modo da formare una catena cinematica aperta e dotati ciascuno di un proprio servomotore che fa muovere il segmento stesso rispetto a quello che lo precede; si tratta quindi di un meccanismo a più gradi di libertà. Il movimento delle parti che costituivano un automa, invece, era realizzato mediante una serie di camme che muovevano le articolazioni

tramite un sistema di leve e tiranti più o meno complesso; tutte le camme erano montate su di un albero o su più alberi collegati tra loro e mossi da un unico motore. Tutto il meccanismo dell'automa era quindi ad un solo grado di libertà: nota la posizione dell'albero sul quale erano montate le camme, era univocamente determinata la posizione di tutti gli elementi che costituivano l'automa stesso. Prima dell'avvento del calcolatore elettronico non era possibile controllare il movimento di più motori azionanti i segmenti di una catena cinematica aperta. Per quanto detto, quindi, da un punto di vista tecnico, non sembra che gli automi si possano considerare antenati dei moderni robot a tutti gli effetti.

Da un punto di vista concettuale occorre osservare che i moderni robot sono progettati e costruiti con uno scopo preciso, generalmente essi servono per sostituire o potenziare il lavoro manuale in tutte le operazioni nelle quali esista una convenienza nel farlo. Gli automi invece furono ideati e costruiti per puro diletto. Anche se non mancano esempi in cui sia stato ricavato denaro dalla loro esibizione o vendita, appare chiaramente che il fine principale degli inventori di automi fosse quello di appagare un proprio desiderio o la voglia di stupire e di stupirsi, forse il desiderio di realizzare un sogno. Anche da questo punto di vista quindi, più che mai, gli automi non sono degli antenati dei robot industriali. D'altra parte sembra significativo il fatto che il loro tempo finisca, quasi del tutto, con il XIX secolo.

Ma è giusto riconoscere che nei secoli passati sono esistiti uomini le cui conoscenze di meccanica erano molto superiori a quello che si pensa comunemente ed è giusto ricordarli. In questo senso gli automi costituiscono dunque interessanti esempi della evoluzione delle conoscenze dell'uomo e, forse principalmente, delle sue capacità di inventare nuove cose.

È forse eccessivo dire che in molte di queste macchine la scienza e la tecnica abbiano sposato l'arte e la poesia. Forse lo è, però si è tentati dal farlo.

Bibliografia

M.G. Losano, *Storie di Automi*, Einaudi, 1990, ISBN-88-0612224-X

V. Marchis, *Storia delle macchine* – Laterza, 1994, ISBN-88-420-4417-2

S. Barbacci, *From the Golem to Artificial Intelligence: science in the Theatre for an existential Reflection*. – Jekyll comm. 3 - Sept.2002

P.B. Scott, *La Rivoluzione Robotica*, IAR Franco Muzzio Editore, 1987 ISBN 88-7021-290-4

J. Cohen, *I robot nel mito e nella scienza*, De Donato, 1981, CL 07-0492-X.

M.E. Rosheim, *Leonardo's Lost Robot* – Springer, 2006, ISBN: 3-540-28440-0

Informazioni ed immagini interessanti (alcune delle quali riportate nel testo) possono essere trovate nei siti Internet che seguono:

www.systems.tuc.gr/ieeecss/Heron_of_ Alexandria.pdf http://www.mlahanas.de/Greeks/Heron Alexandria.htm www.geocities.com/Athens/Acropolis/6 914/ero.htm

www.history.rochester.edu/steam/hero/index.html robotics.megagiant.com/history.html www.thocp.net/reference/robotics/robot ics.html www.control.uni-paderborn.de/heron. html www.z-kat.com/company/adv research/ leonardo.shtml music.calarts.edu/~sroberts/ articles/De Vaucanson.duck.html en.wikipedia.org/wiki/Shitting_duck_of _France www.gimpnet.com/adn/ngallery/autom at2.html www.miralab.unige.ch/subpages/autom ates/ eightennth/jaquetdroz_uk.htm www.nyu.edu/pages/linguistics/courses / v610051/gelmanr/cult_hist/text/p312.h tml fi.edu/pieces/knox/automaton/ www.bigredhair.com/robots/ www.cjn.or.jp/ karakuri/index.html www.honda-robots.com/ english/html www.eu.aibo.com/ http://digilander.libero.it/ time.out/robot/ robot.htm www.robot.deagostini.it/Index.html

Sandra Marini, Giuseppe Pelosi, Stefano Selleri

Cenni di telegrafia senza elettricità

Introduzione

L'uomo nella sua costante evoluzione ha sempre avuto la necessità di comunicare con i suoi simili e per questo sin dai tempi più remoti ha escogitato stratagemmi sempre più elaborati per poterlo fare rapidamente anche a notevoli distanze.

Questa necessità nasce essenzialmente dal bisogno di conservazione: difesa dai nemici e da eventi naturali. La nascita della comunicazione a distanza si confonde con la nascita stessa del linguaggio e della parola scritta. Desideriamo però distinguere fin d'ora due tipi di comunicazione a distanza, una caratterizzata da un trasferimento di massa preponderante sulla trasmissione di informazione stessa ed uno dove invece è la trasmissione dell'informazione a prevalere. Alla prima categoria appartengono i corrieri e i servizi postali, alla seconda le telecomunicazioni propriamente dette.

La telecomunicazione come oggi la conosciamo è intimamente e indissolubilmente legata all'elettricità e alla capacità di generare, modulare e rilevare onde elettromagnetiche sia condotte sia radiate. Questo non significa che le telecomunicazioni siano nate con l'elettricità. Sistemi rudimentali (tam tam, segnali di fumo) delle popolazioni primitive si svilupparono fino a divenire veri e propri sistemi di telegrafia ottica che raggiunsero il culmine poco prima dell'introduzione della telegrafia Morse dopo la scoperta dell'elettricità. Dopo una breve introduzione storica questo lavoro si concentrerà sui telegrafi ottici di Claude Chappe d'Auteroche (1763-1805) e di Abraham Niclas Clewberg-Edelcrantz (1754-1821), che furono gli ultimi e i più raffinati esempi di telegrafia senza elettricità.

Primi rudimentali sistemi

Le comunicazioni a distanza nell'antichità potevano avvenire in diversi modi: inviando corrieri a cavallo o piccioni viaggiatori. Come già detto non classificheremo queste tra gli esempi di vere e proprie telecomunicazioni. Altresì si poteva utilizzare sistemi di telecomunicazione piuttosto semplici: suoni di corni, suoni ritmati di tamburi, colpi di cannone o segnali luminosi, fumo, bandierine. Questi segnali, in forma binaria (il segnale c'è o non c'è), potevano comunicare in tempo quasi reale attraverso stazioni situate a distanze definite, spesso torri di avvistamento.

Eschilo nella sua tragedia ci racconta che la caduta della città di Troia fu annunciata attraverso enormi falò che si potevano vedere fino a 400 km di distanza in linea d'aria.

Il re persiano Dario I nel IV secolo a.C. per trasmettere informazioni dalla capitale in ogni parte del suo vasto



Fig. 1 – Piccioni viaggiatori, litografia, 1481[1]

impero utilizzava una catena formata da uomini urlanti situati su alture e questo mezzo era di gran lunga più veloce dei tradizionali corrieri a cavallo.

Già nel 336 a.C. il greco Enea il Tattico inventò l'arte di trasmettere frasi. Il sistema era costituito da due o più vasi cilindrici perfettamente uguali posizionati in punti orograficamente elevati. Questi vasi venivano riempiti d'acqua e avevano un galleggiante al centro e un foro sul fondo. Sull'asta del galleggiante erano tracciati dei segnali convenzionali o intere frasi. Quando si doveva comunicare un messaggio l'addetto alla prima stazione sventolava una bandierina e liberava il foro facendo uscire l'acqua e altrettanto facevano gli uomini alla stazione ricevente. Quando l'acqua nel vaso della stazione trasmittente raggiungeva il livello desiderato veniva sventolata di nuovo la bandierina e il foro veniva chiuso sia nella stazione trasmittente, sia nella ricevente. Essendo i vasi esattamente uguali alla fine della procedura le due stazioni presentavano il galleggiante al medesimo livello e quindi lo stesso segno.

Nel 150 a.C. lo storico greco Polibio utilizzava dei segnali alfabetici con l'aiuto di due gruppi di cinque torce distanti tra loro. L'alfabeto veniva diviso in cinque gruppi di lettere. Le torce di sinistra indicavano il gruppo di lettere che si sarebbero utilizzate (per esempio, 2 torce accese significava il secondo gruppo di lettere) le torce di destra indicavano la lettera che bisognava prendere (per esempio, una torcia designa la prima lettera del gruppo).

I Romani utilizzavano sia messaggeri a cavallo con la tecnica della staffetta, sia un sistema permanente di torri vigilate da militari stanziali tutt'intorno al Mediterraneo. Queste torri comunicavano fra loro attraverso torce e



Fig. 2 – Telegrafo di Enea il tattico, ca. 350 a.C.[2]

ne sono state contate 1197 in Italia, 1200 in Gallia, 306 in Ispagna, 500 in Asia, formando una rete di non meno di 1400 leghe di lunghezza. L'immagine di una di queste è scolpita sulla colonna traiana.

Si usava il fuoco durante la notte, mentre di giorno si utilizzava il fumo o gli specchi riflettenti come sembra abbia fatto Archimede riuscendo non solo ad inviare messaggi in codice ma anche ad incendiare le navi romane.

Ritroviamo sistemi simili anche nelle cinte di mura delle città Assire, presso le porte delle città greche, sulle mura etrusche, lungo le strade e i confini costruite durante l'impero romano, ma anche sulla grande muraglia cinese, nella città di Loulan e ancora in Tibet.

Passeranno comunque molti anni prima che i metodi per la comunicazione a distanza diventino più sofisticati. Il vero limite era la capacità non tanto di fare segnali, quanto di vederli. Per comunicare lontano era infatti necessario che la stazione ricevente fosse in grado di vedere i segnali della trasmittente. Per tutto l'Evo Antico e l'Evo Medio non vi furono invenzioni in grado di migliorare l'acutezza visiva umana, e quindi di distanziare le torri di avvistamento.

Solo l'invenzione seicentesca del cannocchiale dette nuovo impulso alle telecomunicazioni ottiche. L'invenzione del tedesco Franz Kessler (1580-1650) del telescopio per la telegrafia ottica nel 1616, si rivelò di fondamentale importanza per arrivare ai sistemi sei-settecenteschi più avanzati. Kessler stesso suggerirà di piazzare i segnali in una botte annerita con un cerchio incandescente all'interno allo scopo di migliorarne la visione da lontano e di inquadrarli con l'aiuto di un cannocchiale.

Nel 1672 l'inglese Robert Hooke elabora un sistema di segnali complessi costituito da una base munita di uno



Fig. 3 – Telegrafo a torce di Polibio, ca. 150 a.C.[3]

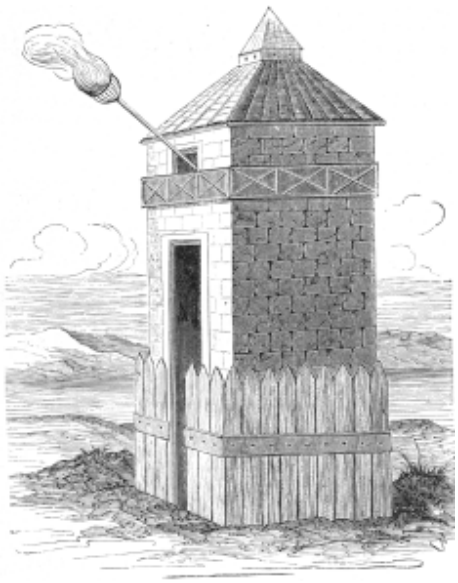


Fig. 4 – Stazione telegrafica romana, presa da un bassorilievo della colonna Trapana a Roma[4]

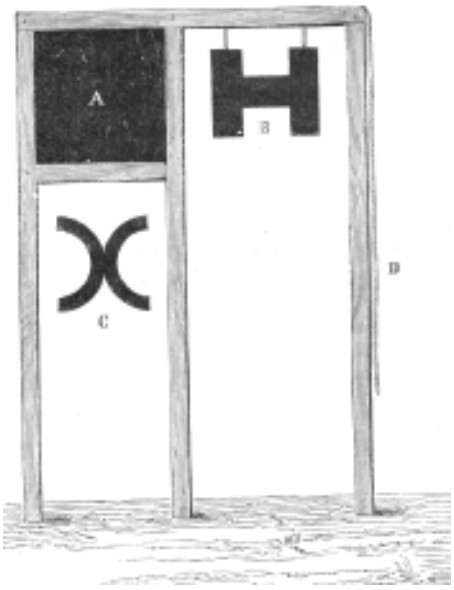


Fig. 5 – Il dispositivo ottico di Hooke[5]



Fig. 6 – Claude Chappe,[6]

schermo per la metà della sua larghezza che nascondeva dietro di sé dei segnali che potevano essere fatti scivolare nell'altra metà, in modo da renderli visibili sullo sfondo chiaro del cielo. I simboli potevano rappresentare delle lettere dell'alfabeto o delle espressioni.

Nei decenni successivi si ha un progressivo raffinamento tecnologico che porterà, alla fine del settecento e agli inizi dell'ottocento a vasti sistemi di telecomunicazione nazionali.

Non potendo rendere conto di tutti i singoli sistemi ideati e di tutte le innovazioni introdotte, nella successiva sezione ci si concentrerà su due dei maggiori sistemi realizzati, tra gli ultimi del genere, la cui fine venne decretata dall'introduzione del telegrafo elettrico Morse.

Claude Chappe

Verso la fine del 1700 durante gli anni della rivoluzione francese e dei primi governi della nuova repubblica, il fisico francese Claude Chappe e lo studioso svedese Abraham Niclas Edelcrantz danno vita agli ultimi progetti per instaurare le ultime reti di telecomunicazione ottica della storia.

Sulla spinta delle ambizioni militari del giovane Napoleone Bonaparte Claude Chappe, dopo aver invero cercato un sistema finalizzato ad individuare i fenomeni elettrici idonei alla costruzione di un trasmettitore di impulsi a distanza, optò per l'attuazione di un sistema di comunicazione ottico e, nel marzo 1791, diede una dimostrazione pubblica di un sistema composto da due stazioni ad una distanza di 16 km.

Purtroppo non abbiamo una descrizione esatta del funzionamento dei pendoli usati in questo primo esperimento perciò possiamo semplicemente fare riferimento a quanto scritto da Ignace Chappe: "Le stazioni erano costituite da due grandi orologi a pendolo e da due pannelli dipinti di bianco su un lato e di nero sull'altro, i quadranti degli orologi erano divisi in dieci settori per poter indicare dieci diverse cifre, una lancetta compiva due giri ogni minuto sui settori del quadrante e la stazione trasmittente ruotava il proprio pannello dal lato bianco a quello nero ogni qualvolta la lancetta del ricevente aveva raggiunto il settore corrispondente alla cifra da trasmettere. Il ricevente leggeva tale cifra sul settore del quadrante indicato in quel momento dalla lancetta del proprio orologio e la interpretava attraverso una codifica stabilita a priori che associava numeri a lettere, parole o frasi permettendo così la trasmissione di messaggi complessi. La prima comunicazione richiese circa 4 minuti e la frase trasmessa fu: Se riuscirete sarete presto coperto di gloria."[7] Chappe chiamò il sistema "tachigrafo" e decise di proporlo al governo francese per un impiego nazionale e questi non tardò a prendere in considerazione il progetto per costruire linee di comunicazione ottica. Si cambiò anche il nome che da tachigrafo (scrittore veloce) passò a telegrafo (scrittore a distanza).

Comunque lo stesso Chappe non era troppo soddisfatto del sistema a pendolo e dopo alcune altre comunicazioni sperimentali progettò un nuovo trasmettitore che aveva una struttura di legno rettangolare con cinque pannelli scorrevoli che potevano essere visualizzati individualmente o oscurati con le pulegge. I cinque pannelli davano vita ad un codice binario con 32 combinazioni possibili, più di tre volte i codici usati con il vecchio sistema.



Fig. 7 – Rappresentazione ottocentesca, di dubbia verosimiglianza, del primo telegrafo di Chappe[8]

Ma anche dei pannelli non fu soddisfatto poiché si rese conto che oggetti più lunghi sarebbero stati più visibili a distanza.

Nell'estate del 1795 stesso anno Chappe mise a punto un nuovo dispositivo che funzionava sulla base di codifiche completamente diverse. Il nuovo sistema detto anche semaforo ottico consisteva in un certo numero di torri in muratura sulle cui sommità venivano sistemata una trave verticale fissa a cui era imperniata una trave orientabile (regolatore); alle estremità di quest'ultima erano imperniate due travi più piccole (indicatori). Sia il regolatore sia gli indicatori potevano modificare la loro posizione reciproca ruotando sui rispettivi perni. Chappe stabilì che tali

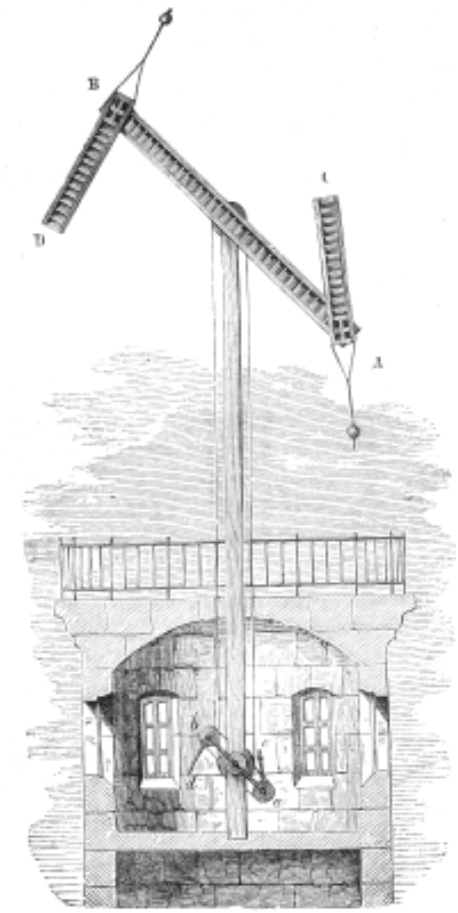


Fig. 8 – Semaforo di Chappe, con particolare del meccanismo interno[10]

rotazioni avvenissero di 45° in 45° gradi, definendo così 4 orientamenti per la trave principale e otto per le secondarie, per un totale di 256 simboli diversi mediante la manovra di determinati comandi. Le torri erano costruite ad una distanza di 10-15 km l'una dall'altra e formavano linee che si estendevano fino ad una distanza di 2000 km. La trasmissione avveniva alla velocità di un segnale al minuto.

Nel frattempo la Francia visse gli eventi della Rivoluzione.

Gli studi di Chappe sul sistema semaforico erano ben visti dall'assemblea, ma osteggiati dal popolino, che arrivò a distruggere le installazioni sperimentali nel parco di Mélimontant nel 1792, vedendovi una qualche macchinazione monarchica. Chappe pensò bene di porre le proprie attrezzature sotto la protezione dell'Assemblea (11 settembre 1792):

"M'impegno d'eseguire il mio esperimento entro dodici giorni, se l'assemblea vuole assecondare il mio zelo, accordandomi l'indennità necessaria alla riparazione delle mie macchine, e soprattutto prendendo le misure convenienti per la mia sicurezza e quella de' miei collaboratori."[9]

La sostituzione dell'Assemblea Legislativa con la Convenzione Nazionale (21 settembre 1792) e Ignazio Chappe, fratello di Claude, non ne fu incluso. Solo nella seduta del 1° aprile 1793 si tornò a parlare di finanziare l'esperimento. Il 12 Luglio 1793 ebbe finalmente luogo la dimostrazione del telegrafo semaforico, alla presenza dei membri della Commissione nominata dalla Convenzione.

Chappe venne nominato ingegnere telegrafico e gli venne assegnato uno stipendio mensile per i suoi servigi presso il Telegrafo di Stato. Pubblicò quindi il primo manuale di codifica dei segnali trasmessi nelle sue linee telegrafiche.

Il manuale conteneva 8464 differenti messaggi che potevano essere trasmes-



Fig. 9 – Dimostrazione del 12 luglio 1793 – litografia[11]



Fig. 10 – Dimostrazione del 12 Luglio, dipinto del 1793[12]

si con una linea telegrafica inviando coppie di segnali interpretati con una ingegnosa decodifica.

Avendo notato le difficoltà durante le trasmissioni dovute all'erroneo riconoscimento di quei segnali corrispondenti a posizioni del regolo o degli indicatori simili fra loro, era giunto ad utilizzare solo le posizioni orizzontali o quelle verticali ed aveva escluso le posizioni degli indicatori che li vedevano posti come prolungamento del regolatore centrale: riducendo così a soli 98 i possibili segnali che un semaforo era in grado di trasmettere.

Per arrivare alla cifra di 8464 messaggi, avendo solo 98 segnali, Chappe aveva adottato un manuale di codici composto da 92 pagine contenenti ciascuna 92 righe, venivano trasmessi due segnali, uno corrispondente al numero di una pagina e l'altro a quello di una riga, ed il sistema aveva così una capacità di 8464 differenti messaggi.

Il numero dei segnali era stato ulteriormente ridotto da 98 a 92 per eliminare possibili configurazioni che potevano ingenerare errori di comunicazione.

Intanto la rete di Chappe si andava ampliando sempre di più e raggiunse Strasburgo e Brest, cosicché nel 1799 la rete francese si serviva di 150 stazioni telegrafiche mentre Chappe aveva pubblicato altri due libri raggiungendo così le 25392 differenti voci che potevano essere trasmesse con i suoi telegrafi. Tutto ciò avveniva sotto la spinta



Fig. 11 – Massima estensione della rete telegrafica Francese col sistema Chappe Francia (in alto) e parte italiana dell'Impero napoleonico (in basso) tra il 1793 e il 1852[13]

espansionistica di Napoleone che intendeva invadere l'Inghilterra e che per questo commissionò ad Abraham Chappe fratello di Claude lo sviluppo di telegrafo ottico sull'acqua così da poter connettere, dopo la conquista, le linee telegrafiche inglesi con quelle francesi.

Alle conquiste di Napoleone seguiva la gloriosa carriera di Chappe che divenne direttore della rete di telecomunicazioni più grande d'Europa e che partendo da Parigi si espandeva verso Lilla, Strasburgo, Brest e Torino.

Ma questa sua fama gli causò molti problemi e per paura di essere scavalcato nella notorietà e preoccupato dell'invidia dei colleghi finì per ammalarsi e togliersi la vita nel gennaio del 1805.

Abraham Niclas Edelcrantz

In quegli stessi anni presso la corte svedese l'aristocratico Edelcrantz membro dell'Accademia svedese di Lettere ed Arti iniziò gli studi per la costruzione di un sistema di comunicazione telegrafica, sviluppò diversi disegni alcuni piuttosto simili a quello di Chappe altri completamente diversi.

Il primo sistema studiato era costituito anch'esso da una trave centrale, stavolta fissa, che presentava agli estremi due indicatori liberi di ruotare tra quattro posizioni possibili. Pur avendo solamente sedici configurazioni era comunque un sistema utile per trasmettere messaggi a distanza.

La sua prima presentazione avvenne di fronte al re nel novembre 1794 e copriva una distanza di 12 km utilizzando tre stazioni attraverso il centro di Stoccolma, si trattava dell'invio di un piccolo poema dedicato al re per il suo compleanno e il messaggio partito dal palazzo reale di Stoccolma arrivò al re a Drottningholm. Nel gennaio del 1795 Edelcrantz iniziava la costruzione della prima linea reale svedese dalla Chiesa di Santa Caterina a Stoccolma fino al castello di Vaxholm per una distanza di 35 km.

Nel 1796 Edelcrantz pubblicò un libro sulla telegrafia che a differenza di quello di Chappe non era solo un manuale di codici ma un vero e proprio "Trattato sui Telegrafi". Oltre a questo stava sviluppando un altro tipo di apparato completamente diverso dal semaforo di Chappe. Questo dispositivo aveva nove palette disposte lungo tre file



Fig. 12 – A. N. Edelcrantz[14]

verticali e una decima in cima a tutte, ogni paletta poteva assumere solo due posizioni: aperta e chiusa, si trattava così di una codifica binaria dell'informazione.

Con questo semaforo si avevano a disposizione 1024 possibilità di diversi segnali da trasmettere attraverso le possibili configurazioni delle palette. Edelcrantz, assegnando a ciascuna configurazione un particolare messaggio cifrato, potè trasmettere velocemente anche messaggi composti da molte parole. Utilizzando questo semaforo vennero costruite nel 1797 due nuove linee, la prima fra Stoccolma e Fredricsborg e la seconda fra Grisiehamn ed Eckerò.

Successivamente Edelcrantz realizzò un telegrafo sull'acqua per collegare Eckerò nelle isole Aland, e costruì inoltre una linea fino ad Helsinborg verso la Danimarca. Seppure in forma più modesta rispetto a Chappe anche Edelcrantz divenne piuttosto famoso in seguito alla creazione delle sue linee di comunicazione e nel 1808 allo scoppio della guerra contro la Russia le linee telegrafiche svedesi si estendettero velocemente secondo le direttive più strategiche sul litorale orientale e verrà formalmente istituita la Telegrafica Reale Svedese. Edelcrantz verrà nominato direttore e la pubblicazione e le traduzioni in lingua francese e tedesca del suo Trattato sui Telegrafi gli procureranno la nomina a membro dell'Accademia svedese delle Scienze. La sua rete aveva un'estensione di 200 km[16] e copriva quasi completamente la Finlandia allora facente parte del territorio svedese ma

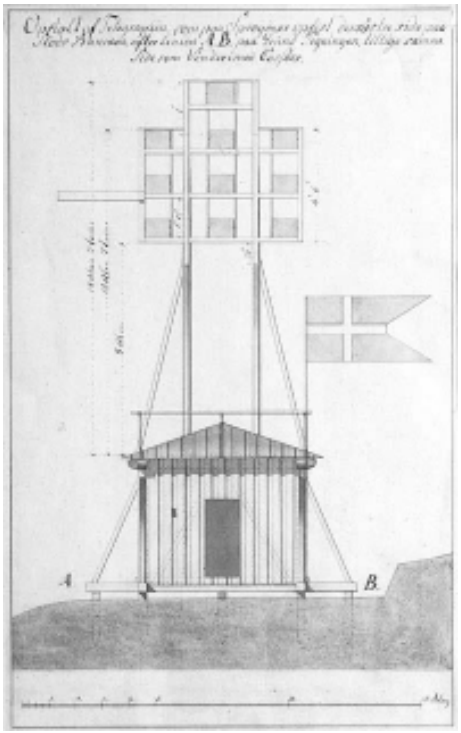


Fig. 13 – Stampa d'epoca del telegrafo sistema Edelcrantz[15]

con la pace del 1809 gli impianti finlandesi e svedesi non vennero sfruttati come si doveva e caddero in disuso e segnarono così la fine della carriera di Edelcrantz che morì nel 1821.

Conclusioni

Per quasi tutto il diciannovesimo secolo le reti di telecomunicazioni a segnalamento ottico continuarono ad espandersi anche dopo la caduta di Napoleone rallentando l'introduzione della tecnologia del telegrafo elettrico (Concepito da Morse nel 1932, sperimentato nel 1835) che già nel 1937 si faceva strada negli Stati Uniti ed in Inghilterra e che in Francia venne installato solo nel 1846.

Nel 1820, in Inghilterra, furono inaugurate linee telegrafiche ottiche che partivano da Londra e raggiungevano Portsmouth, Plymouth, Yarmouth e Deal. Nel 1832 si installarono linee ottiche che partivano da Berlino fino a Coibenza, Amburgo ed Altona, Berna e Bremerhaven. Ma già nella seconda metà del secolo queste linee di telegrafi ottici furono smantellati per lasciare il posto a quelli di tipo elettrico.

La rete di telegrafia ottica che resistette più a lungo fu quella svedese nonostante avesse subito un arresto di quasi 20 anni ed un disuso precoce. Nel 1830 la situazione politica europea era tale che il governo svedese ritenne necessario rinforzare le difese litoranee e così nel 1836 venne rimessa in funzione la linea Stoccolma Vaxholm e le linee di telegrafia ottica ricominciarono a crescere fino al 1854 quando l'introduzione del telegrafo elettromagnetico bloccò lo sviluppo delle reti di vecchia generazione che comunque per anni continuarono a convivere insieme a quelle di nuova concezione.

Nel 1864 esistevano ancora 24 stazioni ottiche affiancate da 174 stazioni elettriche. Quelle ottiche venivano impiegate dove era difficile posare i cavi elettrici. Solamente nel 1881 vennero smantellate le ultime tre stazioni a segnalamento ottico.

[1] Coll. Bibl. de Genève, Fabre 1963 p. 44
[2] L. Figurier, *L'Elettricità e le sue applicazioni*, Milano, Fratelli Treves, 1884, p. 477
[3] L. Figurier, *op. cit.* p. 480
[4] L. Figurier, *op. cit.* p. 485
[5] L. Figurier, *op. cit.*p. 493
[6] L. Figurier, *op. cit.*p. 513
[7] Ignace U.J. Chappe, Histoire de la télégraphie, *Parigi, L'Imprimerie de Crapelet, 1824, p. 123-124.*
[8] L. Figurier, *op. cit.*p. 505
[9] L. Figurier, *op. cit.*p. 519
[10] L. Figurier, *op. cit.*p. 557
[11] L. Figurier, *op. cit.,* p. 521
[12] Collezione Musée de la Poste, Paris.
[13] FNARH, *La télégraphie Chappe, Éditions de l'Est* – Nancy, 1988.
[14] National Museum of Science and Technology, Stoccolma, Svezia.
[15] Poste & Tele Museum, Copenaghen, Danimarca.
[16] J. Holzmann, B. Pershon, *Early History of Data Networks*, Wiley-IEEE Computer Society, 1994.

Massimo Guarnieri

La distribuzione dell'energia elettrica: nascita, affermazione e contributi italiani

Nascita dell'elettrotecnica

L'invenzione della pila voltaica, (fu resa pubblica nel 1800), stravolse il panorama delle conoscenze elettriche, svincolandole dall'ambito angusto dell'elettrostatica. Quale primo generatore di corrente continua, non solo permise le grandi scoperte elettromagnetiche di Oersted (1820), Ampére (1820-26), Faraday (1831-33-45-55), Maxwell (1861-64-73), Hertz (1887) e tanti altri, ma grazie ad essa nacque l'elettro-tecnica, ovvero l'applicazione ingegneristica dell'elettricità. Infatti nel giro di pochi decenni furono possibili applicazioni tecnologiche rivoluzionarie, quali i processi elettrochimici (Davy, 1806), i trattamenti galvanoplastici (Jacobi, 1838) ed elettrolitici (1844), l'arco elettrico persistente (Davy, 1808) e quindi la lampada ad arco (1842), il telegrafo elettromagnetico (Schilling, 1832).

La pila voltaica presentava però problemi, riconducibili alla durata e al costo. I primi furono mitigati dalle innovazioni tecniche introdotte da vari elettrochimici. Tra esse si possono citare la pila zinco-platino di Grove (1830), costosa ma più eficiente (fu ampiamente usata in telegrafia); la pila depolarizzata di Daniell (1836), molto più durevole e pure usata in telegrafia; la pila zinco-carbone di Bunsen (1841), molto meno costosa e quindi idonea ad applicazioni più articolate (elettroplaccatura, lampade ad arco); la pila zinco-manganese di Leclanchè (1877) dalla quale Thiebaut e Gassner derivarono la pila a secco (1881), che permise di alimentare apparecchiature portatili di piccola potenza e tuttora in uso; la pila alcalina di Kordesch (1959), oggi diffusissima a grazie a densità di energia e potenza nettamente superiori.

Ma anche queste innovazioni presentano, come le prime pile, il secondo problema: il costo dell'energia prodotta per via elettrochimica era (ed è) elevato. Esse sono infatti le pile primarie, ossia non ricaricabili. Tali erano tutte le prime pile, fino a quando non furono disponibili generatori diversi, capaci di fornire energia elettrica a costi inferiori.

Generatori elettromeccanici

La ricerca di una strada alternativa e più economica alla generazione di energia elettrica originò da un'intuizione di Faraday che usò "a rovescio" il *disco di Barlow*, scoprendo che, mantenuto in rotazione e sottoposto al magnetismo assiale di un magnete permanente fisso, sviluppava una forza elettromotrice tra asse e bordo, analoga a quella della pila (1831). Fu l'archetipo del generatore elettromeccanico.

A partire dall'idea di Faraday, lo sviluppo tecnologico fu lento e comples-

so. Il passo successivo lo compì Pixii, un giovane costruttore di strumenti che, ispirato da Ampère, realizzò un prototipo di generatore elettromeccanico (1832). Nella prima versione era un rudimentale alternatore, dato che nell'avvolgimento di indotto, sottoposto all'induzione alternata di un magnete permanente mantenuto in rotazione, si induceva una forza elettromotrice, e quindi una corrente elettrica, alternate. Ma la prestazione da riprodurre era quella della pila elettrochimica, che generava una forza elettromotrice costante. A tal fine Pixii, sempre su suggerimento di Ampère, dotò la seconda versione del primo rudimentale collettore che forniva tensione e corrente fortemente oscillanti ma comunque unidirezionali (1832).

La strada era indicata e si trattava "solo" di aumentare l'efficienza, la densità di potenza e, cosa non da poco, la qualità (ovvero la costanza) della forza elettromotrice. Ma il processo di sviluppo tecnico fu lento e articolato.

In effetti il passo significativo successivo fu un alternatore: la macchina a magneti permanenti di Nollet (1850), che per primo cercò di usare un generatore elettromeccanico, al posto delle pile elettrochimiche. Anche se assai poco efficiente, erogava livelli significativi di potenza elettriche senza esaurirsi, essendo mossa da una macchina a vapore. Per produrla fu fondata la compagnia anglofrancese *Alliance.* Da tale macchina fu derivato il generatore in continua (pesava 2 ton, produceva 1,5 kW ed era dotato di un commutatore di raddrizzamento), che alimentava la lampada ad arco del faro di South Foreland (1858). L'impianto, concepito da Faraday, si dimostrò poco affidabile e ancor meno efficiente.

Un miglioramento importante fu apportato da Hjorth, che realizzo il primo generatore elettromeccanico con eccitazione ad elettromagnete, alimentato da una pila elettrochimica (1851, il brevetto è del 1855). Ne risultavano induzioni magnetiche, e quindi forze elettromotrici, più intense di quelle ottenibili con i magneti permanenti.

Il primo generatore elettromeccanico con rotore massiccio in ferro (ad "armatura") dotato di cave alloggianti l'avvolgimento si deve a Werner Siemens (1856). Ne risultò un circuito magnetico ad alta permeanza e quindi un'induzione magnetica al traferro elevata; lo usò per alimentare i suoi telegrafi e lo chiamò generatore di elettricità dinamica, o dinamo.

Il contributo di Pacinotti è cosa nota, almeno in Italia. Grazie all'anello a collettore la sua dinamo, la prima ad avvolgimento chiuso, poteva produrre correnti elevate marcatamente costanti e senza dannosi scintillii (1860, ma la descrisse nel Nuovo Cimento dopo qualche anno).

I circuiti d'eccitazione furono svincolati dall'alimentazione con pile da Wilde, che introdusse la macchina duplice, dotata piccola dinamo eccitatrice (1866) e da Werner Siemens, che realizzò la dinamo ad autoeccitazione, con avvolgimenti alimentati dalla macchina stessa (1867); usata nei telegrafi Siemens, aprì una nuova nella telegra-

fia e non solo (in effetti precedette di un soffio un'analoga macchina di Wheatstone, che era pure alla ricerca di un tale generatore per i suoi telegrafi). Seguendo questa linea di sviluppo, nel 1873 Siemens introdusse anche il rotore a lamierini, più facile da produrre con miniori perdite elettriche.

L'ideazione di Pacinotti si fuse, in qualche modo, con quella di Siemens ad opera di un tecnico belga. Infatti le idee di entrambi vennero carpite (usurpate, disse Siemens) da Gramme, che a Parigi perfezionò le invenzioni dei due per costruire e brevettare la sua dinamo a collettore (1869). Le vicende di Siemens e Pacinotti furono però diverse. Il primo guidava, con i fratelli, un'azienda già florida. Fondata nel 1847 con Halske, la *Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske* era stata la prima azienda elettrotecnica e si era rapidamente imposta grazie alle innovazioni di Siemens. Dominava il mercato, florido ed in rapido sviluppo, della telegrafia, non solo in Europa. Dal 1856 aprì filiali in Gran Bretagna, Russia, Austria, … Siemens dunque difendeva una posizione di leadership in un ricco mercato. Per Pacinotti le cose stavano diversamente. Conscio delle potenzialità della sua invenzione come generatore elettrico (e anche come motore, la reversibilità era già stata stabilita da Siemens), poco più che ventenne aveva cercato un interesse industriale in patria. Ma il capitale di ventura italiano non si mostrò sensibile ad investire nelle sue idee, anche perché, all'indomani dell'unità nazionale, non esisteva un mercato unitario ed aperto. Si rivolse allora all'estero e a Parigi incontrò Gramme nelle officine Froment, dove presentò il suo anello, sperando in un interessamento, ma l'esito fu diverso. Va detto che la sua vicenda non fu tanto diversa da quella di altri scienziati e tecnici italiani, come Barsanti e Mattueucci con il loro motore a combustione interna. Segno, evidentemente, di una debolezza strutturale del sistema d'impresa italiano.

A fianco alla slealtà intellettuale, va riconosciuto a Gramme il valore tecnico, perché la sua fu la prima dinamo veramente efficace ed affidabile, capace di livelli di potenza elettrica superiori a quelli della macchina di Siemens. Per industrializzarla nel 1871 fondò con Fontaine la *Société des Machines Magnéto-Électriques Gramme* e da quel momento le dinamo sostituirono rapidamente i generatori elettrochimici, essendo in grado di produrre tensioni e correnti continue elevate (e quindi potenze elettriche elevate) in modo economico e virtualmente illimitato, essendo trascinate da macchine a vapore o da ruote ad acqua, se erano disponibili risorse idrauliche.

Divenne possibile utilizzare l'energia elettrica su vasta scala. Iniziarono ad apparire grandi impianti elettrici per illuminazione con lampade ad arco, come quelli della Gare du Nord e dei Grands Magasins di Parigi (1875). Nel 1876 *Tecnomasio* iniziò a produrre su licenza dinamo Gramme e illuminò piazza Duomo a Milano con una delle prime lampade ad arco italiane. Furono possibili processi industriali rivoluzio-

nari, come la produzione elettrolitica dell'alluminio (Hall e Hérolt, 1886) e la saldatura ad arco elettrico (Elihu Thomson, 1888); si aprì la strada per altre applicazioni, come la trazione elettrica. Si trattava comunque di impianti autonomi (stand alone, si direbbe oggi), ciascuno dotato della propria dinamo e quindi molto costosi e realizzabili solo in grandi strutture, o, al più, nelle residenze di facoltosi pionieri.

Reti di distribuzione in continua

Fu a quel punto che Edison intervenne nella storia dell'energia elettrica. Era già un giovane, acclamato e ricco inventore. Entrato come fattorino alla Western Union Telegraph Company, ne era divenuto abilissimo operatore e quindi, in una circostanza fortunosa, aveva potuto mettere in luce la sua fervida creatività di tecnico, poco più che ventenne e privo di qualsiasi formazione scientifica. Come ingegnere della compagnia ideò un sistema duplex e quindi il primo quadruplex (innovazioni di notevole valore economico, perché permettevano di duplicare e quadruplicare il traffico telegrafico senza posare nuove linee). I notevoli proventi che ne ottenne gli permisero di aprire un attività in proprio e anche in questo si dimostrò geniale: la sua azienda fu il primo laboratorio di ricerca industriale, a Menlo Park (1876), destinato a fare storia e scuola (e seguito da quello più grande di West Orange, nel 1887). Qui applicò la sua creatività in vari settori che oggi si direbbero high tech (fonografo, microfono, …). In tal contesto intuì la potenzialità economica dell'illuminazione elettrica, se fosse stata resa disponibile al vastissimo mercato delle utenze civili pubbliche e private. Ma per far questo servivano varie cose che ancora non esistevano. Anzitutto serviva una sorgente luminosa capace di produrre una luce blanda, a differenza dalle lampade ad arco, troppo brillanti per i piccoli ambienti chiusi; e tale sorgente doveva costare poco, per rendere l'illuminazione elettrica competitiva con quella a gas che, iniziando a diffondersi all'inizio del secolo, era oramai ampiamente affermata, seppur con vari inconvenienti (inquinamento dell'aria ad opera dei gas combusti, rischi di esplosioni, …).

Da tempo si stava sperimentando i filamenti ad incandescenza (il primo brevetto, di De Moleyns era del 1841) ma risultati soddisfacenti non erano ancora stati raggiunti. Nel 1876 Edison avviò una campagna di ricerche meticolosa e sistematica in tale direzione, nella quale in due anni sperimentò 6000 filamenti di diversi materiali. Nel 1878 realizzò la sua prima lampada ad incandescenza efficiente, a filamento in carbone racchiuso in un'ampolla di vetro a bassa pressione, che durava 40 ore. Nel 1880 ne realizzò da 1800 ore, sufficientemente economica. Era quella che gli serviva, ma non era tutto.

Se ogni utente avesse dovuto dotarsi di un suo generatore, come era scontato fare fino ad allora, l'illuminazione elettrica non sarebbe stata a buon prezzo e il vasto mercato dei piccoli utenti non sarebbe stato raggiunto. Edison pensò di costruire ed esercire una gran-

de centrale elettrica e da questa distribuire e vendere l'energia elettriche alle singole utenze tramite una rete elettrica, mutuando il modello delle centrali di distribuzione del gas.

Costruì una dinamo, mastodontica (da 27 ton, venne chiamata Jumbo; la prima dinamo statunitense affidabile era stata costruita da Weston, nel 1872, che la aveva usata per la placcatura elettrolitica), che, pur poco efficiente, poteva erogare la potenza desiderata. E ideò il primo contatore elettrico commerciale, necessario a contabilizzare la vendita di energia elettrica; si trattava in realtà di un grossolano dispositivo elettrolitico che misurava la carica transitata e non il lavoro elettrico erogato, ma per le esigenze immediate andava più che bene.

Ottenne il supporto economico dal banchiere e magnate Morgan, figura emblematica dello spietato mondo finanziario statunitense, ma anche acuto e lungimirante investitore, e venne creata la *Edison Electric Illuminating Company*, la prima società destinata alla produzione centralizzata e distribuzione pubblica commerciale di energia elettrica. Per inciso, acuto uomo d'affari oltre che inventore prolifico, Edison diede vita a circa un centinaio di diverse società, negli Stati Uniti ed all'estero, per sfruttare industrialmente le sue invenzioni. Ma era anche un abile comunicatore di massa, sicché, colta l'importanza di un adeguato impatto pubblicitario per il successo dell'impresa, scelse una collocazione strategica. Fu così che nel 1882 la prima storica centrale elettrica, dotata di sei dinamo Jumbo mosse da macchine a vapore entrò in servizio in Pearl Street, a Manhattan (NY), a pochi passi da Wall Street. Per mezzo di linee interrate serviva inizialmente circa ottanta clienti accuratamente selezionati (banche, uffici finanziari, il giornale New York Times, …) in un'area di un miglio quadrato.

Può essere interessante confrontare questa raffinata industrializzazione (tecnica, economica, finanziaria e pubblicitaria), con quella del pantelegrafo di Caselli (1856), il primo avveniristico e geniale sistema di trasmissione fac-simile, ove mancarono le capacità manageriali di sfruttamento, sicché, dopo gli entusiasmi iniziali, il sistema finì per fallire (e risorgere solo nel 1924, in una versione elettronica ideata da Nyquist alla AT&T).

Vale anche la pena di ricordare che contemporaneamente ad Edison, anche Swan, in Gran Bretagna, aveva messo a punto la sua lampada ad incandescenza efficiente (1878). Ma Swan la sfruttò in impianti autonomi: lo stesso anno illuminò la propria casa a Gateshead-on-Tyne e la residenza di Lord Armstrong, un ricco industriale del Northumberland, ove utilizzò il primo generatore idroelettrico britannico.

Tornando a Pearl Street, la centrale era posta in posizione baricentrica rispetto alle utenze, in modo che queste non distassero più di qualche centinaio di metri dai generatori. Infatti il livello di tensione era limitato a 110 V per ragioni di sicurezza (gli isolamenti non erano molto affidabili), cosicché la distribuzione avveniva ad intensità di cor-

rente relativamente elevata. Quindi, per garantire rendimenti complessivi tecnicamente ed economicamente accettabili, le resistenze di linea dovevano essere adeguatamente basse.

Il sistema fu presentato alle esposizioni internazionali in Europa da un trionfante Edison, che raccolse ricchi contratti in varie nazioni.

Per l'Italia l'opportunità fu colta da Colombo, autore del celebre *Manuale dell'ingegnere* (1877) e uomo di rara lungimiranza, che fondò con Edison il *Comitato per le applicazioni dell'elettricità -sistema Edison* -e realizzò in via Santa Radegonda a Milano il primo impianto europeo per la distribuzione commerciale dell'energia elettrica (1883), simile a quello di Pearl Street. Tramite varie riorganizzazioni (*Società Edison*, *Montedison*,…) la società creata da Colombo sarebbe divenuta uno dei grandi protagonisti del mercato energetico italiano, senza però mai assumere un ruolo primario nello sviluppo tecnologico. Semmai fu *Tecnomasio* a dare contributi di una certa rilevanza, perfezionando la dinamo Jumbo di Edison in un modello poi adottato anche da Gramme e Siemens (1885).

In Gran Bretagna, composta pacificamente una disputa legale sulla priorità dell'invenzione, fondò con Swan la *Edison and Swan United Electric Lighting Company*.

In Francia costituì la *Continental Edison Company*. In Germania con Rathenau fondò *Deutsche Edison Gesellschaft für angewandte Elektrizität*. Nel 1887, passando completamente sotto il controllo tedesco, la società divenne *Allgemeine Elektrizität Gesellschaft*, o più brevemente *AEG*, che Rathenau indirizzò a divenire uno dei massimi gruppi elettrotecnici mondiali.

Con gli impianti Edison in continua divenne possibile distribuire l'energia elettrica per illuminazione a prezzi competitivi con quelli del gas rendendo l'elettricità disponibile a chiunque. La distribuzione in corrente continua, erede degli impianti alimentati con pile elettrochimiche, presentava alcuni importanti vantaggi, quali la facilità di collegamento in parallelo di più dinamo in funzione delle esigenze d'esercizio e la possibilità di usare batterie tampone di accumulatori elettrochimici (sviluppati dal 1860, da Planté) quando le dinamo erano temporaneamente sconnesse.

Reti di distribuzione in alternata

Nuovi protagonisti portatori di nuove soluzioni intanto stavano emergendo. La mutua induzione elettromagnetica, individuata da Faraday (1831) e correttamente formulata da Maxwell (1864), aveva avuto inizialmente solo applicazioni di tipo pulsato, con i rocchetti di Callan (1836), Page (1838) e Ruhmkorff (1851). Ma nel 1881 Gaulard e Gibbs pensarono di utilizzarla in corrente alternata, con il loro generatore secondario, il primo rudimentale trasformatore di potenza, a circuito magnetico aperto. Ne diedero la dimostrazione decisiva in occasione dell'Esibizione Internazionale di Torino del

1884, con la prima linea dimostrativa in corrente alternata. Si estendeva per 34 km tra l'esposizione e la stazione di Lanzo e comprendeva più generatori secondari a rapporto di trasformazione unitario con i primari collegati in serie, mentre i secondari alimentavano circuiti di lampade ad incandescenza; il generatore primario era un alternatore Siemens da 2 kV a 130 Hz mosso da una macchina a vapore Tosi. L'impianto dimostrò, con le tempestive analisi teoriche di Ferraris, che i trasformatori permettevano di trasmettere l'energia elettrica in corrente alternata a grande distanza con rendimenti molto elevati, garantendo contemporaneamente alle utenze condizioni di esercizio sicure, perché a bassa tensione.

Fino a quel momento gli alternatori, costruttivamente più semplici, avevano avuto poca fortuna: presentavano un funzionamento non ancora chiaro (tra l'altro l'osservazione della variabilità delle grandezze alternate a frequenza di alcune decine di periodi al secondo non era ancora possibile) e il loro collegamento in parallelo era decisamente problematico. Ma i risultati ottenuti a Lanzo mutarono il quadro e nel frattempo la tecnica stava progredendo celermente. Oltre che da Siemens, alternatori affidabili erano realizzati da Zipernowsky e Déri alla Ganz in Ungheria (1882) e da un giovanissimo Ferranti, con Kelvin, in Inghilterra (1882). Intanto gli studi teorici iniziavano a rendere più accessibile il comportamento dei sistemi in alternata: la rappresentazione con vettori rotanti di Blakesley è del 1885.

D'altronde quel 1885 fu l'anno dei miracoli per la corrente alternata. Ferraris ideò il campo magnetico rotante (non è il caso di soffermarsi qui sull'opera di Ferraris, già celebrata pochi anni fa nel convegno in occasione del centenario della sua morte). Nello stesso anno Zipernowsky, Bláthy, e Déry alla Ganz realizzarono il sistema ZBD, con distribuzione derivata da una linea a 1400 V, con più trasformatori riduttori a circuito magnetico chiuso (ideato da Bláthy) collegati in parallelo, in modo da renderne indipendenti le condizioni di carico. Era di fatto il moderno sistema di distribuzione in alternata. Nel 1889 Bláthy realizzò anche il primo contatore ad induzione. E sempre il 1885 vide nascere il primo impianto in corrente alternata per illuminazione pubblica, realizzato a Roma, in via dei Cerchi, dalla Società per le Forze Elettriche; era alimentato da due alternatori Siemens da 30 Hp (22 kW) a 2 kV e 120 Hz e dotato di circa 200 trasformatori Gaulard, uno per ogni lampada a 20 V, da 2 kV/20 V con circuito magnetico chiuso e connessione in serie dei primari.

Il primo impianto britannico in corrente alternata fu realizzato nel 1886 a Grosvenor Gallery (Londra) da Ferranti; era alimentato da un suo alternatore da 400 kW a 2,4 kV e dotato di trasformatori 2,4 kV/100 V, uno per utente, con connessione dei primari in parallelo. Ferranti fu il pioniere della corrente alternata in Gran Bretagna: pure sua fu la realizzazione a Deptford, sul Tamigi

vicino a Londra, della prima centrale idroelettrica in corrente alternata; era a 10 kV, un record per il tempo, e dotata dei primi cavi in alta tensione (1889).

Italiano fu poi il primo impianto in alternata con potenza ed estensione rilevanti: nel 1892 la Società Anglo-Romana pose in servizio la centrale idroelettrica in corrente alternata monofase alle Cascate dell'Aniene a Tivoli, con sei alternatori Ganz da 1,2 MW complessivi a 5 kV e 42 Hz. Con un elettrodotto di 28 km riforniva l'impianto d'illuminazione pubblica di Roma, dotato di 32 trasformatori da 30 kVA.

Dunque l'emergere della corrente alternata fu una questione prevalentemente europea, fatto di solito ignorato dalla letteratura tecnico-storica d'oltreoceano.

Ma è anche vero che pure negli Stati Uniti qualcosa succedeva, in particolare ad opera di Westinghouse. L'invenzione dei freni pneumatici per carri ferroviari gli aveva procurato una notevole fortuna e si trovò nella condizione di poter investire nella corrente alternata, che, in seguito alla dimostrazione di Gaulard del 1884, intuì essere il futuro dell'energia elettrica. Nel 1886 fondò la *Westinghouse Electric Company* e realizzò a Buffalo la prima rete municipale statunitense in corrente alternata, per l'illuminazione con lampade ad incandescenza, utilizzando però tecnologia europea (un generatore Siemens e trasformatori di potenza con distribuzione primaria in parallelo, tipo ZBD). Il progetto complessivo fu di Stanley, che intanto perfezionò il trasformatore di Bláthy migliorandone la tecnica costruttiva e l'isolamento, per permetterne il funzionamento a tensioni più elevate. In tal modo Westinghouse poté, tra l'altro, aggirare i brevetti di Edison sulla corrente continua.

Sistemi in corrente alternata venivano testati anche dalla *Thomson-Huston Electric Company* (fondata nel 1880 da Elihu Thomson e Houston e ribattezzata nel 1883). Nel 1887, Elihu Thomson vi realizzò il primo trasformatore di potenza in olio, che permetteva migliori caratteristiche d'isolamento elettrico e di smaltimento del calore.

In America operava anche l'immigrato Tesla, altro grande sostenitore dell'alternata, ma finché lavorò per Edison gli rimase preclusa la possibilità di sviluppare tali interessi. Dopo la rottura con quest'ultimo, realizzò (1887) e brevettò (1888) il famoso primo motore ad induzione bifase. E fu ancora Westinghouse a cogliere la nuova opportunità. Acquistò da Tesla i diritti del motore ad induzione, per 70.000 $ più 2,5 $ per ogni Hp di unità costruita (corrisposti solo in minima parte) e da Ferraris quelli del campo rotante, per la cifra simbolica di 1.000 $, e nei mesi seguenti ne avviò la produzione. Fu un vero peccato che Ferranti non pensò allo sfruttamento industriale dell'idea, come in Inghilterra aveva fatto Kelvin con Ferranti. E che in Italia nemmeno in quell'occasione apparvero investitori capaci della lungimiranza imprenditoriale di Westinghouse.

Col motore ad induzione i sistemi in corrente alternata di Westinghouse era-

no pronti a dare battaglia a Edison e così si scatenò la Guerra dei Sistemi, che vide Edison caparbiamente ancorato alla corrente continua e deciso a difenderla senza esclusione di colpi: fuse le sue varie società in una unica grande compagnia, la *Edison General Electric Company* (1889), e non esitò a sfruttare a fini propagandistici la prima esecuzione capitale per elettrocuzione, nella quale era stato usato un alternatore (1890).

Ma la corrente alternata e Westinghouse erano più forti di tali tattiche. Così Edison, quando si rese conto che la distribuzione in corrente continua era destinata alla sconfitta, si accordò con Elihu Thomson: le loro compagnie si fusero nella *General Electric Company* (*GE*, 1892).

Reti trifasi

Nel frattempo in Europa emergevano i sistemi polifasi. I primi studi furono svolti da Hopkinson che, intuiti i vantaggi in generazione e trasmissione dell'energia elettrica in trifase, ne registrò un brevetto nel 1882. Le prime realizzazioni tecniche apparvero nel 1889, quando Dolivo-Dobrowolsky di *AEG* concepì e sviluppò con Brown di *Maschinenfabrik Oerlikon*, i primi motori asincroni trifase a gabbia (da 20 Hp) e a rotore avvolto (100 Hp). Poco dopo Dolivo-Dobrowolsky realizzò anche il primo trasformatore di potenza trifase (1990). Con essi, e con l'alternatore trifase di Brown (200 kW a 40 Hz), in occasione dell'Esibizione Internazionale di Francoforte del 1891, von Miller realizzò l'impianto dimostrativo trifase a 15 kV, che si estendeva per 175 km tra le cascate Lauffen sul Neckar e Francoforte, ove era collocato un motore asincrono trifase da 100 Hp; fu la dimostrazione che i sistemi trifasi potevano trasmettere elevate potenze elettriche a grande distanza con migliore rendimento. Diveniva possibile concentrare la generazione in grandi centrali elettriche poste in prossimità delle fonti energetiche primarie e distribuire l'energia ad un numero di utenti molto grande.

Per sfruttare tali possibilità, sempre nel 1891, nacque *Brown Boveri & Company* (*BBC*), che si affiancò a Siemens e AEG; nel 1893 a Soden, in Germania, entrò in funzione la prima centrale elettrica in corrente alternata trifase, per servizio regolare.

Intanto apparvero gli studi teorici: i primi (1992) furono di Boucherot e Blondel, che studiò anche il parallelo delle sincrone. Ferraris pubblicò il primo studio sistematico sul motore asincrono trifase (1993), e sul generatore sincrono trifase (1894).
Kennelly introduce il concetto d'impedenza (1893). Steinmetz presentò il metodo fasoriale (1893). Heyland introdusse il diagramma circolare della macchina asincrona (1894, poi resa famoso da Ossana nel 1899).

Il primo sistema polifase (bifase) dimostrativo americano fu presentato trionfalmente da Westinghouse e Tesla all'Esibizione mondiale di Chicago del 1993: era integrato (per illuminazione e trazione) in corrente alternata a 60 Hz (un compromesso tra le frequenze mi-

nori, ideali per il motore asincrono, e quelle maggiori, che evitano lo sfarfallio delle lampade ad incandescenza). Era alimentato da due alternatori monofasi progettati da Tesla e comprendeva vari trasformatori riduttori, oltre 96.000 lampade e una convertitrice rotante ac/dc a 500 V che alimenta una piccola linea ferroviaria elettrificata in corrente continua. Grazie ad esso Westinghouse, battendo la GE, ottenne la commessa per la prima centrale alle cascate del Niagara, (lo sfruttamento dell'enorme risorsa idrica era stato concepito da Kelvin nel 1879). Realizzato nel 1995, in corrente alternata bifase con alternatori Tesla per 3,5 MW a 25 Hz, fu il primo sistema polifase americano. Va detto che l'assegnazione del contratto a Westinghouse sulla più qualificata *BBC* non fu esente da motivazioni protezionistiche. La grande centrale trifase del Niagara entrò in servizio poco dopo, nel 1997. Da 50.000 Hp (36 MW) a 25 Hz, riforniva Buffalo che dista 35 km. Alle commesse partecipò anche *GE* che fornì i trasformatori, mentre gli alternatori erano di Westinghouse, su progettato di Tesla. Era la maggiore centrale elettrica mai realizzata e sancì il definitivo sopravvento della corrente alternata. La Guerra dei Sistemi era finita.

Da allora bacini di utenti sempre più vasti poterono sfruttare l'energia elettrica. E così l'energia elettrica stravolse il mondo industriale e iniziò ad incidere in modo sempre più profondo su fasce di popolazione sempre più vaste.

I grandi colossi mondiali che avrebbero saputo sfruttare quel mercato si erano già formati (l'*Allmanna Svenka Elektriska Aktiebolaget* o *ASEA* venne fondata nel 1890, la *Philips* nel 1891).

Invece nel nostro paese, nonostante alcune importanti realtà, mancò la capacità di sfruttare su scala internazionale le formidabili potenzialità offerte dal nuovo vasto mercato che si stava aprendo. In buona parte mancò il capitale illuminato disposto ad investire nelle nuove tecnologie. Causa forse di un'unità nazionale da poco conseguita e ancora debole, ma non solo. Infatti è un problema che, oltre un secolo dopo, il grande capitale nazionale non appare avere ancora risolto.

Bibliografia

M. Guarnieri, *Fatti e protagonisti dell'elettromagnetismo*, Roma, Aracne, 2005.

SALVATORE SOLIMENO

Contributi della Facoltà di Ingegneria di Napoli allo sviluppo e all'utilizzazione di laser di potenza

Laser di potenza

Lo stimolo all'origine dell'emis-sione laser può essere fornito da un fotone in arrivo che abbia la stessa energia di quello che il sistema si appresta ad emettere. Per minimizzare la produzione di entropia l'insieme degli emettitori (atomi, molecole o solidi) viene rinchiuso in una cavità ottica, che forza il sistema ad emettere fotoni di ben determinata lunghezza d'onda, riducendo il numero di gradi di libertà su cui l'energia elettromagnetica viene a distribuirsi.

Perchè sia significativo il processo di emissione stimolata richiede un gran numero di specie eccitate rispetto a quelle diseccitate (inversione di popolazione). Questa situazione si realizza iniettando energia nel sistema, procedura nota come pompaggio. Nei laser di bassa potenza, come quelli a Nd:YAG ed a gas, il pompaggio si realizza investendo le specie atte a laserare con un intenso fascio luminoso o sottoponendole a bombardamento elettronico in una scarica.

Purtroppo l'efficienza di queste sorgenti, intesa come rapporto tra potenza luminosa emessa e quella richiesta per il pompaggio è molto modesta. Inizialmente si riteneva che i laser più potenti sarebbero stati quelli a stato solido per la maggiore densità delle particelle atte a laserare. Nondimeno si riconobbe abbastanza pre-sto che i laser a stato solido presentano notevoli inconvenienti. La situazione cambiò radicalmente con l'avvento dei laser a gas molecolari, con i quali si rese possibile l'utilizzazione di tecniche di pompaggio diverse da quelle tradizionali.

Nel 1964 Patel[1] riuscì a produrre radiazione infrarossa (10.6 micron) usando la molecola lineare di CO_2 (v. Fig. 1).

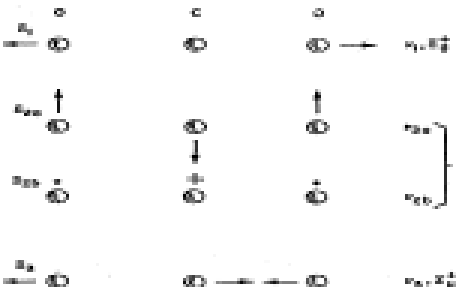


Fig. 1 – Modi normali di vibrazione della molecola lineare di CO2.
I livelli eccitati vengono indicati col simbolo (v1v2v3) in cui gli indici interi stanno ad indicare il numero di quanti del modo di stretching simmetrico v1, asimmetrico v3 e di bending

Veniva sfruttata la radiazione emessa nel decadimento (v. Fig. 2) dal primo livello eccitato di stretching asimmetrico (001) a quello simmetrico (100). Per portare il CO_2 in (001) si sfruttava il trasferimento risonante dell'azoto N*(v=1) eccitato in una scarica elettrica.

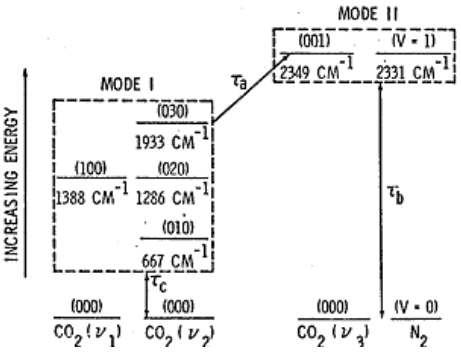


Fig. 2 – Modello di un laser a CO_2 in cui i modi 1,2 si trovano in equilibrio locale alla temperatura T_1 mentre il modo 3 si trova in equilibrio con quello vibrazionale dell'N_2.
L'emissione laser avviene nel decadimento da (001) a (100)

Anche se minima la produzione di entropia pone grandi problemi nei laser di potenza. Essa è prevalentemente associata a specie eccitate a livelli metastabili o semplicemente a calore. Il mezzo attivo di molti laser, sia a stato solido che a gas, si presenta in forma di lungo e sottile cilindro. Per un solido l'energia non luminosa prodotta diffonde verso le pareti da cui è rimossa con un opportuno sistema di scambio termico, in un laser a gas viene eliminata sfruttando la diffusione delle specie metastabili verso le pareti. Qualora si utilizzi il solo processo di diffusione per lo smaltimento di questa energia, si può contare su non più di 1 kw di potenza luminosa per metro di lunghezza di materiale attivo, qualunque sia il diametro del cilindro. Per superare questo limite fu suggerito da J. Wilson nel 1966 di espellere per convezione il calore prodotto facendo fluire il mezzo attivo ad alta velocità. Risultando il tempo di flusso indipendente dalla densità del gas questa poteva essere aumentata notevolmente rendendo così disponibili potenze ancora più elevate.

Riassumendo, pompaggio efficiente e flusso ad elevata velocità resero possibile negli anni '70 la realizzazione di laser di elevata potenza aprendo al tempo stesso interessanti prospettive di sviluppo nel campo della fusione controllata a confinamento inerziale, del trasporto di energia a grande distanza, delle comunicazioni spaziali, del monitoraggio ambientale, e dello stesso controllo di reazioni chimiche.

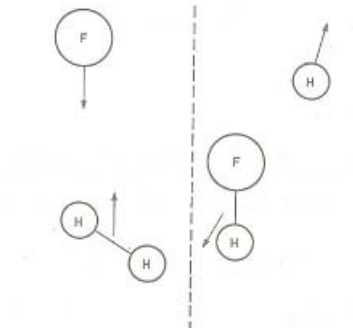


Fig. 3 – Rappresentazione schematica della collisione di una molecola di H_2 con F_2 con produzione di HF eccitato vibrazionalmente

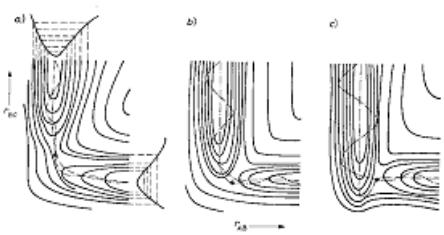


Fig. 4 – Curve a potenziale costante relative ad un sistema triatomico A,B,C. Le traiettorie oscillanti stanno a segnalare l'eccitazione vibrazionale delle molecole formate nella collisione reattiva

Laser chimici

In un laser chimico l'inversione di popolazione risulta direttamente dalla distribuzione dell'entalpia di reazione tra i gradi di libertà disponibili nel corso di un processo elementare di reazione (v. Figg. 3 e 4). Il pompaggio chimico potrebbe in linea di principio eccitare transizioni elettroniche, vibrorotazionali o semplicemente rotazionali. Le inversioni elettroniche sono difficili da ottenere in quanto richiedono energie abbastanza elevate, mentre quelle rotazionali sono difficili da mantenere per la rapidità con cui si ristabilisce l'equilibrio rototraslazionale.

L'eccitazione vibrazionale è la sola a non risentire di queste difficoltà. Sono richiesti valori modesti di energia e l'equilibrio vibrazionale può richiedere alcune migliaia di collisioni. Un laser chimico si realizza facilmente in un sistema a flusso. Un'azione di questo tipo fu cercata da Polanyi[2] fin dal '61, quando lo studio della fluorescenza infrarossa della reazione dell'idrogeno con cloro atomico rese evidente una inversione di popolazione nell'HCl prodotto.

Nel 1964 Kasper e Pimentel annunciarono di aver realizzato il primo laser chimico dissociando fotoliticamente del CF_3I e formando così iodio eccitato che

$$CF_3I + h\nu \rightarrow CF_3 + I\left(^2P_{1/2}\right)$$

decadendo radiativamente in $I(^2P_{3/2})$ produceva impulsi di alcuni kw a 1.315 mm.

Risultati analoghi furono ottenuti in quegli anni da De Maria e Ultee dell'United Technologies, Pollack dei Bell Labs, Deutch della Raytheon. Un

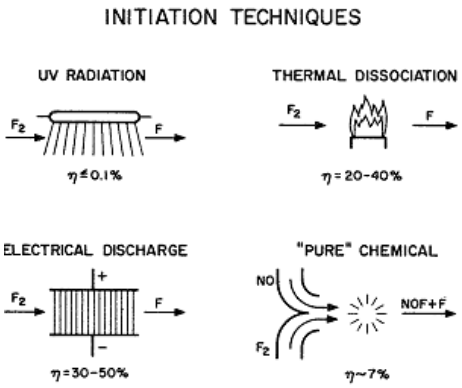


Fig. 5 – Tecniche di pompaggio per indurre un'inversione di popolazione in un mezzo gassoso di volume non trascurabile. In alto a sinistra è utilizzata radiazione UV per dissociare fotoliticamente un flusso di molecole di F_2. A destra lo stesso risultato è ottenuto agendo termicamente. In basso a sinistra si utilizza una scarica elettrica a bagliore mentre a destra si utilizza la reazione $NO+F_2$

laser particolarmente interessante risultò quello basato sulla reazione UF_6-H_2 in cui il F liberato reagiva con l'idrogeno produceva HF eccitato ai livelli v=2,3 che decadendo emetteva a 2.5÷3 μm.

La tecnologia dei laser ad HF continui si presentò subito molto complessa. Maneggiare fluoro in gran quantità poneva difficoltà notevoli, che potevano essere affrontate da laboratori particolarmente attrezzati. Tra questi quelli dell'Aerospace Corp. di Los Angeles riscì a realiz-zare una sorgente continua di alcune centinaia di kw utilizzante un sofisticato sistema di manipolazione dei gas (v. Fig. 6).

Un modo semplice di evitare questi problemi prevedeva l'uso di un gas particolarmente stabile come l'SF_6 (v. Fig. 7) prodotto in quegli anni in Italia dalla

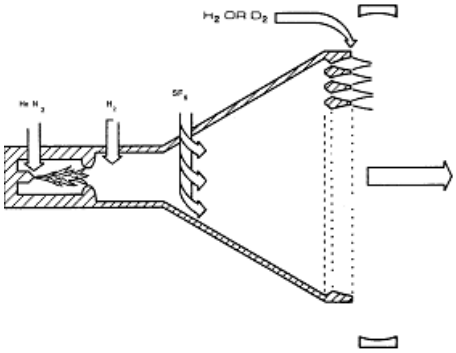


Fig. 6 – Schema del laser ad HF continuo sviluppato dall'Aerospace Corporation in cui un flusso di H_2 si mescolava reattivamente con F_2 in una schiera di ugelli producendo un flusso di HF eccitato vibrazionalmente

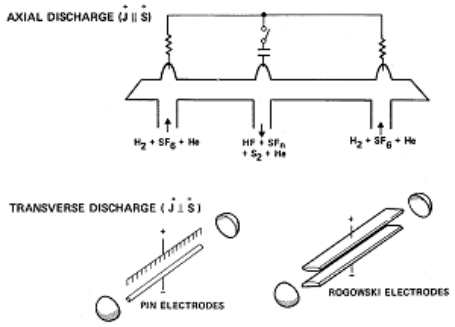


Fig. 7 – Schema di un laser ad HF basato sulla dissociazione elettrica dell'SF_6 e sulla reazione del fluoro prodotto con l'H_2. Nell'inserto in basso a sinistra è rappresentato un laser a scarica trasversa ottenuta applicando impulsi di tensione a delle resistenze ad impasto infilate lungo una generatrice del tubo laser

Montedison, che ne aveva fatto un proprio cavallo di battaglia per la sostituzione dell'olio come elemento isolante in macchine elettriche sia statiche che rotanti e negli interruttori.

Presso l'Ist. Ricerche sulla Combustione era attivo da diversi anni il gruppo di plasmochimica del Prof. M. Diana. Si deve alla lungimiranza del direttore Prof. Massimilla e del Prof. Molinari, Pres. del Cons. Scientifico, l'apertura di una linea di ricerca sui laser chimici a SF_6. Con l'aiuto dello scrivente e dei colleghi F. Beretta, M. Diana e A. D'Alessio fu realizzato in quegli anni il primo laser chimico italiano a scarica trasversa. Per aumentare il volume della scarica a bagliore fu realizzato e brevettato, coi Proff. L. Nicolais e L. Nicodemo, un particolare elettrodo resistivo a sezione circolare di 10 cm, basato sull'uso del polimero SAN caricato con bone coal.

Negli anni successivi questa attività venne trasferita all'Istituto Elettrotecnico, giovandosi tra l'altro della collaborazione del Prof. O. Bucci.

Laser gasdinamici

Se un sistema gassoso viene riscaldato rapidamente, si può ottenere una inversione di popolazione se la velocità con cui si popola un livello più basso è molto minore di quella con cui si popola un livello più alto.

Per produrre il richiesto rapido riscaldamento possono essere utilizzate onde d'urto o di detonazione. Un secondo sistema atto a produrre l'inversione di popolazione mediante rapido raffreddamento fu proposto da Basov e Oraevskij[3] e, indipendentemente, da Hurle e Hertzberg. Se un gas è inizialmente portato ad alta temperatura, i livelli di energia più elevati vengono ad essere eccitati.

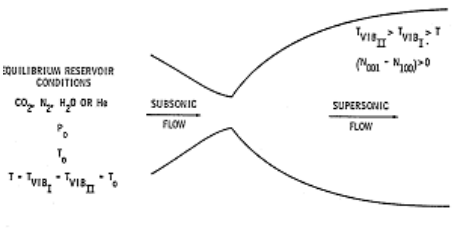


Fig. 8 – Schema di un laser gasdinamico con l'indicazione delle temperature vibrazionali a monte ed a valle dell'ugello

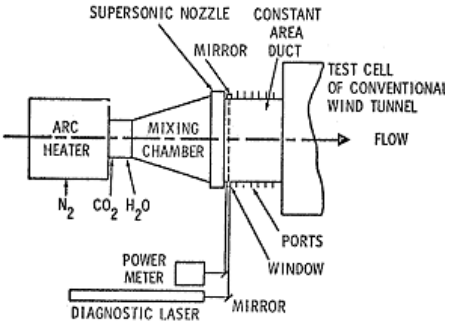


Fig. 9 – Schema del laser gasdinamico sviluppato dal Naval Ordnance Laboratories

Raffreddando rapidamente il sistema, si spopola un livello più basso (p.e. mediante trasferimento risonante di energia) più rapidamente di uno più elevato, realizzando in tal modo un'inversione (v. Fig. 8). La tecnica più efficace è quella basata sull'espansione attraverso un ugello. Con simili laser si sono prodotti al Naval Ordnance Lab. fasci di alcuni megawatts, ponendo seri problemi per i carichi termici delle ottiche adoperate (v. Fig. 9).

Modellistica laser a flusso a CO_2

Con l'avvento di queste sorgenti esplose l'interesse scientifico per la gasdinamica dei sistemi non in equilibrio, che coinvolse in Italia i gruppi dei Proff. Napolitano e Monti a Napoli, Onorato a Torino e successivamente il Prof. G. Carlomagno. Si debbono a Hertzfeld i primi studi sistematici sui processi di rilas-samento nei gas, basati sulla propagazione di ultrasuoni. Furono svilup-pati modelli più complessi basati sulle teorie di Landau e Teller. Crebbe anche l'interesse per lo studio delle sezioni d'urto dei vari canali di eccitazione nelle collisioni molecolari, e si svilupparono codici numerici per l'integrazione di equazioni di Boltzmann con collisioni a molti canali, sia elettronici che rotovibrazionali. Un contributo notevole fu dato dal compianto Prof. G. Braglia del Dip. di Fisica di Parma e dai Proff. R. Bruzzese, G. Mastrocinque e J. Quartieri della Facoltà di Ingegneria di Napoli.

Per combinare l'analisi fluidodinamica con la cinetica molecolare, divenne popolare un modello a 3 temperature, 1 traslazionale + 2 vibrazionali, che costituì la base di molti codici utilizzati per ottimizzare il fun-zionamento di molte sorgenti di grande potenza.

Progetto finalizzato laser di po-tenza e convenzione col CRF

Con l'avvento dei laser di potenza cominciò a consolidarsi l'idea di integrarli nelle trasferte flessibili, sviluppate al Praser Lab. del M.I.T., utilizzando sistemi centralizzati di distribuzione di fasci laser per saldare, tagliare e trattare

superficialmente gli elementi meccanici di una catena di montaggio senza interromperne il ciclo. Delle condotte simili a quelle dell'aria compressa dovevano rendere disponibili ad operatori manuali o a dei robot dei fasci di radiazione con cui "trattare" i pezzi in lavorazione. Alcuni impianti dimostrativi vennero realizzati per conto della GM dal Centro Ricerche dell'United Aircraft di East Hartford, Conn.

In previsione di questi possibili sviluppi il Centro Ricerche FIAT di Orbassano, che aveva commissionato al Praser molte ricerche sulle trasferte flessibili, acquistò una sorgente di grande potenza della AVCO-Everett, che fu istallata presso l'I.T.R.I. di Chicago.

Interpretando la crescente esigenza di un forte impegno nelle applicazioni dei laser nelle lavorazioni industriali ed in medicina, il CNR avviò nel 1974 su sollecitazione di diversi ricercatori e del Prof. L. Napolitano, Direttore dell'Istituto di Aerodinamica della Facoltà di Ingegneria di Napoli e membro del Comitato di Ingegneria del CNR, lo studio di fattibilità per un Progetto Finalizzato 'Laser di Potenza'.

Tale studio, presentato alla fine del 1975, individuava come argomenti di notevole rilevanza industriale, economica e sociale, le applicazioni dei laser alle lavorazioni dei materiali ed a quelle mediche.

Il Progetto ebbe inizio nel 1978 e si concluse alla fine degli anni '80, consentendo l'avvio e lo sviluppo di nuove attività produttive nei settori meccanico, elettronico ed elettrome-dicale. Il trasferimento dei risultati delle ricerche proseguì anche negli anni successivi che videro aumentare il numero di industrie interessate alla utilizzazione delle nuove tecnologie.

La Facoltà di Ingegneria di Napoli vi svolse un ruolo rilevante sia nell'avvio che nello sviluppo di diverse fasi di questa attività coinvolgendo gli Istituti di Aerodinamica, Elettrotecnica, Fisica, e l'Istituto Ricerche sulla Combustione associato all'Istituto di Chimica Industriale. Ruolo analogo fu svolto dalla Facoltà di Medicina con gli Istituti di Patologia, Chirurgia e Dermatologia ed il Centro CNR CEOS.

Gli Enti e le Industrie coinvolte finanziarono, direttamente o con fondi per la ricerca industriale, studi per applicazioni particolari presso i Centri.

In particolare nel 1976 fu stipulata una convenzione tra la Facoltà di Ingegneria ed il Centro Ricerche FIAT, che prevedeva tra l'altro una serie di studi sull' ottimizzazione della sorgente AVCO a CO_2 pompata con fascio elettronico ed installata presso il CRF di Orbassano e lo sviluppo di ottiche metalliche in rame/kanigen raffreddate ad acqua capaci di guidare e focalizzare fasci di grande potenza, dell'ordine dei 100 kW. Sia il gruppo dell'Ist. Elettrotecnico che quello di Aerodinamica, guidato dal Prof. R. Monti, contribuirono sia alla messa a punto della modellistica elettrofluidodinamica che allo sviluppo di ottiche metalliche adatte alle elevate potenze in gioco.

La convenzione risultò molto utile per il reclutamento rapido di giovani attraverso borse di studio offerte dall'Asso-

ciazione Tecnica dell'Automobile (ATA). In particolare ne usufruirono tre giovani laureati, A. Cutolo, P. Luchini e J. Quartieri, attualmente ordinari di Elettronica, Aerodi-namica e Fisica generale per i corsi di Laurea in Ingegneria dell'Università del Sannio, di Salerno e Benevento.

[1] C.K.N. Patel, *Phys. Rev. Letters*, vol. 13 p. 617 (1964); *Phys. Rev. A* vol. 136 p. 1187; *Appl. Phys. Lett*. vol. 7 p. 15 (1965).

[2] J.C. Polanyi, *Appl. Optics*, Suppl. vol. 2 (1965).

[3] N.G. Basov and A. N. Oraevskii, *Sov. Phys. JETP* vol. 17, p. 1171.

Paolo Pinto

L' evoluzione aerodinamica delle vetture di Formula Uno

In 55 anni il campionato del mondo di F1 ha visto l' avvicendarsi di numerose e diverse configurazioni aerodinamiche, dettate tanto dal progresso quanto dai regolamenti.
In questo articolo sono esposte le tendenze più significative ed i motivi che ne hanno decretato l' adozione e la talvolta repentina scomparsa.

L'istituzione del Campionato Mondiale di Formula Uno (o F1) risale al 1950.

All'epoca, la vettura tipica era, come oggi, una monoposto a quattro ruote scoperte e trazione posteriore.

Si tratta pressoché dei soli aspetti che non siano (quasi) mai cambiati lungo 55 anni di sviluppo.

Nel primo anno le auto erano dotate di motore da 1500 cc. a sovralimentazione meccanica posto anteriormente, che forniva potenze prossime ai 300 HP, scaricati attraverso pneumatici estremamente sottili.

Presto si passò a motori di 2500 cc aspirati, di simile potenza.

La preoccupazione principale consisteva nell'ottenimento della minima resistenza aerodinamica, soprattutto attraverso la riduzione della sezione frontale.

Le carrozzerie erano fusiformi, perturbate solo dall' abitacolo aperto (obbligatorio ancora oggi) e dalla presa d'aria del radiatore, posta anteriormente per sfruttare l' alta pressione del punto di ristagno. L'aria che aveva attraversato il radiatore fluiva senza particolari accorgimenti attorno al motore e veniva evacuata attraverso griglie laterali.

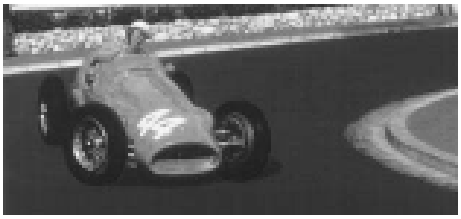


Fig. 1 – F1 anni '50

I test con fili di lana all' epoca erano pratica comune, ma ricerche in galleria del vento erano rare, e comunque mai condotte con modelli in scala 1/1[1].

Le vetture di allora generavano invariabilmente portanza aerodinamica.

Inoltre soffrivano di sovrasterzo ad alta velocità, causato dalle richieste trattive poste ai pneumatici.

L'origine aerodinamica del problema non era chiara; si ovviava cercando di costruire auto con un elevato momento polare, dalle reazioni relativamente lente e controllabili.

Nei primi anni della F1 non erano vietate le carrozzerie interamente chiuse; il limite al loro utilizzo (praticamente si videro solo sulla Mercedes W196) era posto da considerazioni di peso, visto che le carrozzerie erano in alluminio, e da difficoltà dei piloti ad ottenere una elevata precisione di guida senza osservare direttamente le ruote anteriori.



Fig. 2 – Mercedes W 196



Fig. 3 – Ferrari 312

Una notevole eccezione a questo clima di indifferenza verso l'aerodinamica fu il progettista della Vanwall Frank Costin, che condusse vari esperimenti tesi ad abbassare il Cx delle sue vetture e fu uso adottare altezze da terra molto elevate per le sue auto, onde diminuire gli effetti dell'interazione aerodinamica col suolo all' origine dei problemi di portanza esposti.

L'affermarsi delle vetture a motore posteriore-centrale, a partire dal 1959 (titolo iridato di J. Brabham con la Cooper) non cambiò molto le cose, anche se la riduzione della sezione frontale dovuta all' assenza dell' albero motore favorì la penetrazione aerodinamica.

Dal 1960 al 1965 il regolamento previde motori aspirati da soli 1500 cc.; l' enfasi rimase quindi sulla riduzione della resistenza aerodinamica.

Nel 1966, tuttavia, il ritorno a motori di elevata potenza (3000 cc aspirati in grado di fornire oltre 400 HP) pose dei problemi fino ad allora sconosciuti.

L'enorme coppia motrice causava pattinamento delle ruote perfino in quarta marcia, nonostante l' utilizzo di pneumatici progressivamente più larghi.

Così, nel Gran Premio del Belgio 1968, il giovane Ingegnere Mauro Forghieri, ispirato dagli esperimenti dello Statunitense Jim Hall, montò un'ala inversa a profilo Gottingen 702 subito dietro il roll-bar della Ferrari 312 di Chris Amon.

L'allungamento era di 3.8, e l'ala era priva di pareti di estremità, per cui non era particolarmente efficiente ad alti angoli di attacco.

La mancanza di un'ala anteriore rendeva il bilanciamento piuttosto critico, e l'ala fu utilizzata a bassa incidenza (circa 5°), fornendo circa 90 Kg di deportanza[2].

Funzionò, comunque, così bene che entro poche gare tutte le squadre principali montarono ali sulle loro vetture.

Le ali aumentavano la forza normale agente sui pneumatici, incrementando così la forza d'attrito senza aumentare la massa; ciò consentiva di controllare il pattinamento e percorrere le curve a velocità molto elevate. Scomparve il sovrasterzo ad alta velocità.

Va tenuto presente che il coefficiente d'attrito di un pneumatico diminuisce col carico, ma non tanto da impedire un notevole guadagno netto.

Queste prime ali erano, paradossalmente, le più razionali che mai siano apparse nella storia dello Sport: l'allungamento era elevato (intorno a 6), l'incidenza era variabile, consentendo di diminuire la resistenza in rettilineo senza

sacrificare frenata, accelerazione e tenuta di strada; i montanti che sostenevano le ali erano collegati direttamente alle sospensioni, così che la scelta della rigidezza delle molle fosse totalmente indipendente dal settaggio aerodinamico.

Infine le ali erano montate molto in alto (100-140 cm dal suolo), sfuggendo a qualunque significativa interferenza aerodinamica col corpo vettura .

Tutto questo finì però presto: nel 1969 ebbe luogo una terrificante serie di incidenti dovuti a rottura delle ali ad alta velocità.

Si trattava di difetti strutturali: in alcuni casi dell'ala, in altri dei supporti, che oscillavano fino a causare inversione del carico.

Di conseguenza la Federazione (allora CSI, oggi FISA) pose delle regole molto restrittive: larghezza massima per l' ala anteriore di 150 cm ; di 110 cm per la posteriore; altezza massima dal suolo di 80 cm.

Ciò poneva le ali in una zona di flusso estremamente perturbato, in parte addirittura separato.

Le ali avrebbero dovuto avere incidenza fissa ed essere collegate alla struttura principale, e non più alle sospensioni.



Fig. 4 – 1969, una Brabham in difficoltà

Da allora la messa a punto aerodinamica delle vetture di F1 è divenuta un difficile compromesso tra velocità di punta, aderenza alle alte velocità, aderenza alle basse velocità.

La prima mossa dei progettisti per recuperare efficienza aerodinamica consistette nell'adozione di ampie pareti di estremità, atte a contrastare la formazione di vortici (aumento dell'allungamento equivalente) onde ridurre la resistenza indotta ed aumentare leggermente la deportanza.

I profili aeronautici furono sostituiti da profili multiflappati a forte curvatura; carichi aerodinamici di oltre 300 Kg furono ottenuti da ciascuna ala.

In genere le vetture degli anni '70 avevano una distribuzione dei pesi molto spostata sul posteriore (dal 60 al 70%; considerazioni di stabilità portarono quindi ad avere ali posteriori notevolmente più cariche delle anteriori.

Va tenuto presente anche che in una F1 l'ala posteriore opera nell'upwash dell'anteriore; un'ala anteriore molto carica tende quindi a diminuire l'efficienza globale.

Fino al 1970 le vetture mantennero il radiatore dell'acqua in posizione anteriore.

Ciò era dovuto al desiderio di diminuirne la sezione: secondo il progettista Tony Rudd, l'efficienza comparata di un dispositivo aerodinamico, all'epoca, poteva essere valutata come 3 se posto davanti alle ruote anteriori, come 2 se era posto tra le ruote e come 1 se posto

dietro le ruote posteriori.

Era ormai visibile un certo studio dei flussi interni, con uso di condotti divergenti-convergenti.

La presa d'aria causava però una bolla di flusso separato sulla parte superiore del muso; le vetture soffrivano perciò di un fenomeno di portanza sull'asse anteriore, contrastabile solo con forti incidenze delle ali anteriori; soluzione come visto svantaggiosa.

Per ovviare a questa situazione Colin Chapman, probabilmente il progettista più innovativo della storia dello Sport, pose i radiatori della sua Lotus 72 sui fianchi, subito prima delle ruote posteriori.

Ciò consentì di adottare un muso a cuneo, leggermente deportante, e contemporaneamente di ottenere una distribuzione dei pesi molto spostata verso l'asse posteriore, con forti benefici in termini di frenata e capacità di accelerazione alle basse velocità. La 72 vinse i Campionati 1970 e 1972 e fu presto imitata da molti.

In quegli anni apparve anche l'airscoop, o "periscopio", una presa d'aria dinamica sopraelevata per il motore. L'airscoop produceva incrementi di potenza dell'ordine del 3%, ma schermava anche parzialmente il flusso d' aria destinato all'ala posteriore e causava resistenza aerodinamica.

Un effetto collaterale dell'airscoop era l'innalzamento del centro di pressione della vettura; si veniva così a produrre un momento che caricava le ruote posteriori scaricando quelle anteriori. Si trattava di un effetto particolarmente gradito, vista la scarsa efficienza delle ali dell' epoca, al punto che l' altezza della presa d'aria a periscopio raggiunse i 2 m; poi nel 1975 l'altezza massima della vettura fu limitata ad 1m e gli airscoop, per molti anni, scomparvero.



Fig. 5– Lotus 72, il cuneo

Una strada alternativa al muso a cuneo fu seguita dalla Brabham, e rapidamente imitata da altre scuderie. Queste vetture avevano un muso carenato in grado di generare una discreta quantità di carico e abbassare il Cx, grazie soprattutto ad una parziale schermatura delle ruote anteriori. In molti casi la carenatura ospitava anche i radiatori, la cui uscita poteva essere posta verso l'alto, generando carico aerodinamico grazie al reindirizzamento del flusso, oppure davanti alle ruote anteriori, in una zona già di per sé caratterizzata da forti turbolenze. Lo svantaggio principale era rappresentato da una certa difficoltà a regolare il carico aerodinamico, nonostante l'adozione di piccoli flaps.

La Brabham propose per molti anni anche una scocca di forma piramidale,



Fig. 6 – L' enorme airscoop della Ligier, 1976



Fig. 7– Tyrrell P34 : muso carenato e 6 ruote

atta a generare deportanza attraverso il reindirizzamento verso l' alto dei flussi che investivano le fiancate.

Nel 1974 la Tyrrell presentò la rivoluzionaria P34, che recava all'anteriore 4 piccole ruote in tandem.

La 6 ruote avrebbe dovuto consentire di disporre di una maggiore impronta a terra rispetto a una vettura tradizionale; inoltre le piccole ruote anteriori potevano essere facilmente schermate dalla carenatura frontale.

La P34 vinse una corsa, ma incontrò presto problemi di sviluppo dovuti al mancato aggiornamento degli speciali pneumatici anteriori, che la squadra era la sola ad utilizzare.

La vettura, man mano che l'aderenza dei pneumatici posteriori veniva migliorata, mostrava un sottosterzo crescente, cui si tentò di ovviare aumentando la carreggiata anteriore. Ciò fu insufficiente, e annullò l'effetto della schermatura aerodinamica.

La strada delle 6 ruote fu tentata anche da March (Modello 2.4.0 del 1977, presto accantonata per mancanza di fondi) e Williams (1982, non più sviluppata a causa di cambiamenti regolamentari), sdoppiando però le ruote posteriori. Lo scopo era avere più trazione e ridurre la resistenza aerodinamica. Si tenga presente che una buona metà della resistenza aerodinamica di una F1 (elevata, con Cx tra 0.6 e 0.9 contro lo 0.3-0.5 di una vettura a ruote coperte) deriva dalle ruote.



Fig. 8– March 2.0.7, Williams FW08B

Nel caso della Williams, vettura ad effetto suolo, le 6 ruote avrebbero anche permesso un più efficace sfruttamento dei canali Venturi.

Nel 1970 Peter Wright diede alle fiancate della sua March 701 una forma ad ala inversa, nella speranza di ottenere così una certa quantità di deportanza. La cosa non funzionò, a causa del limitatissimo allungamento di queste "ali" laterali. Quando però nel 1976 Wright si trovava con Chapman alla Lotus, decise di fare un nuovo tentativo questa volta con l' aiuto di una galleria del vento.

I risultati mostrarono che la deportanza aumentava quando le ali erano molto vicine al suolo; soprattutto, immensi benefici venivano dall'aggiunta di una parete laterale atta a sigillare lo spazio tra pista e fiancata, impedendo fughe di pressione.

In queste condizioni, più che di un'ala, si era in presenza di un tubo Venturi. La deportanza quadruplicava. L'era delle Wing Cars era cominciata.

Un sigillo efficace doveva però essere sufficientemente flessibile da svolgere la sua funzione anche in presenza di irregolarità del manto stradale e scuotimenti delle sospensioni; per questo la fiancata della Lotus 78, la prima

Wing Car, terminava, in basso, con delle corte spazzole in carbonio, dette minigonne (skirts).

La 78 generava circa 250 Kg di carico dai suoi Venturi, e vinse alcune gare nella stagione 1977; il carico passò a 500 Kg sulla Lotus 79 (Campione del Mondo 1978 con Andretti), che utilizzava delle paratie scorrevoli verticalmente, rigide, per ottenere un sigillo più efficace, e beneficiava di una generale opera di ripulitura aerodinamica.

L' enorme vantaggio ottenibile da uno studio aerodinamico attento fu finalmente percepito da tutte le squadre; le gallerie del vento, seppure in scala (da 1/8 a ¼) divennero di uso comune.

Si manifestò la necessità assoluta del tappeto mobile, senza il quale la simulazione dell' effetto suolo risulta fortemente falsata.

Entro il 1981 le vetture divennero capaci di sviluppare circa 2000 Kg di deportanza dai Venturi, cui si aggiungeva il carico generato dalle ali. Queste erano divenute ormai di corda ridotta e poco cariche, venendo utilizzate principalmente per regolare la distribuzione di carico tra anteriore e posteriore. In molti casi l' ala anteriore era assente, in quanto peggiorava l'efficienza dei Venturi; ciò era possibile grazie al fatto che il centro di pressione aerodinamica generato da questi ultimi si trovava in una posizione piuttosto avanzata, a circa ¼ della lunghezza delle fiancate.

L' avvento dell' effetto suolo portò allo sviluppo di telai estremamente stretti, per dare spazio ai canali laterali; ciò accentuò l'importanza di costruzioni

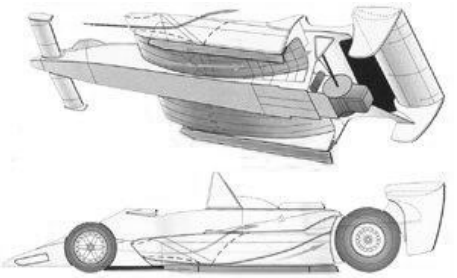


Fig. 9 – Wing Car: la Lotus 79

atte ad ottenere anche in queste condizioni delle buone rigidità torsionali. All'inizio degli anni '80 furono quindi introdotti, dalla McLaren, i primi telai in fibra di carbonio.

Per ampliare la sezione dei canali Venturi si generalizzò l'adozione del cambio longitudinale, nonostante i problemi di distribuzione dei pesi e aumento del momento polare di inerzia che esso comportava.

Per simili motivi fu abbandonato il motore a cilindri contrapposti, che soprattutto con la Ferrari aveva dato eccellenti risultati in termini di potenza e abbassamento del baricentro.

La stagione 1979 vide gli affascinanti esperimenti di Brabham BT48, Lotus 80 e Arrows A2; vetture prive di ali, che si basavano unicamente sull' effetto suolo.

Fu un fallimento: la messa a punto era molto difficile e furono incontrati insuperabili fenomeni di pompaggio.



Fig. 10 – Senza ali : Arrows A2, 1979

Il pompaggio (porpoising) era una violenta oscillazione autoeccitata in beccheggio. Quando a causa di un movimento delle sospensioni o di una irregolarità della pista il sigillo della vettura al suolo veniva momentaneamente compromesso ad una estremità, si avevano rapidi spostamenti del centro di pressione, con conseguente schiacciamento della sospensione sul lato opposto, pressoché contemporaneo all'innal zamento dell'estremità inizialmente interessata.

Il rimbalzo della sospensione causava perdita del sigillo sull' altra estremità, con conseguente nuova fuga, nella direzione opposta, del centro di pressione. La vettura diveniva molto difficile da controllare.

Il fenomeno interessava anche le Wing Cars più convenzionali, ma diventava disastroso sulle nuove vetture a causa delle fiancate più lunghe e della mancanza di un carico aerodinamico stabile proveniente dalle ali.

Con le Wing Cars si ebbe un ritorno a distribuzioni dei pesi più equilibrate (dal 60 al 55% sul posteriore) per cercare di avvicinare il centro di massa al centro di pressione. Per ottenere ciò furono avanzati i radiatori e l'abitacolo del pilota, in una posizione poco protetta che fu talvolta causa di tragedie.

Nel 1981 la F.I.S.A. bandì le minigonne a paratie scorrevoli, definite "dispositivi aerodinamici mobili", e impose l'uso di paratie "rigide", definizione che fu oggetto di controversie. Le squadre reagirono utilizzando sospensioni rigidissime, che aiutavano anche a contenere il pompaggio. La rigidezza delle minigonne divenne cruciale: se eccessiva avrebbe causato prima o poi perdita di contatto col suolo e scatenato il pompaggio; se insufficiente avrebbe causato una riduzione della deportanza. Gli spessori venivano cambiati di gara in gara, a seconda dello stato del tracciato.

Le molle rigide causarono problemi alla schiena di molti piloti; inoltre, con le vetture ormai capaci di una accelerazione centripeta di 3g si essi subirono casi di momentaneo black out. Un tentativo di innalzare per regolamento l'altezza minima da terra a 6 cm fallì, prima per l'utilizzo di martinetti idraulici che innalzavano la macchina al momento dei controlli per poi riabbassarla in pista e poi per l'utilizzo di molle ausiliarie che ad alta velocità si schiacciavano sotto il carico aerodinamico. Di conseguenza, per limitare le prestazioni, la F.I.S.A. impose, a partire dal 1983, il fondo piatto su gran parte della vettura e la riduzione dell'apertura dell'ala posteriore a 90 cm.

Furono saggiamente anche imposte delle strutture di protezione anteriore di una certa efficacia, che causarono un nuovo arretramento della posizione del pilota.

Le vetture a più di 4 ruote furono vietate; quale sia stata l'impatto di questa misura può essere visto, retrospettivamente, nel fatto che nel Trofeo TGP per F1 storiche la Tyrrell P34, finalmente dotata di pneumatici adeguati, vince sovente il confronto con monoposto di 10 anni più giovani.



Fig. 11 – Peso sul posteriore: Ligier JS21, 1983

Le efficienze aerodinamiche crollarono, passando, in media, da 3 ad 1; si tornò a profili a forte deportanza, assistiti da piccole ali ausiliarie poste in zone in cui falle del regolamento (di volta in volta corretto) lo consentivano.

L'effetto suolo, in forma diversa, rimase, anche se occorsero 10 anni per tornare ai livelli dell' '82.

Al termine del fondo piatto era infatti consentito avere un diffusore, grazie al quale si riusciva a generare sotto la vettura una zona di bassa pressione, anche se la mancanza di minigonne limitava i valori di carico ottenibili.

Inizialmente i progettisti non ebbero molta fiducia in questa strada; nel 1983 molti privilegiarono l'aderenza mecca-nica, con vetture che presentavano distribuzioni dei pesi nuovamente prossime al 65% sul posteriore, a fiancate molto corte.

Fece eccezione la McLaren di John Barnard, che mantenne le fiancate lunghe, dando loro una forma rastremata (detta "a Coca Cola") con due rampe nella parte terminale. Queste deviavano il flusso d'aria verso l'alto, favorendo l'azione del sottostante diffusore. Entro pochi anni tutta la F1 si adeguò a questo schema.



Fig. 12– "Coca Cola" : McLaren MP41c

Per molti anni questa forma di base rimase praticamente invariata; lo studio aerodinamico però si raffinò, creando la tendenza ad introdurre microsviluppi di gara in gara.

Le ali anteriori guadagnarono importanza, venendo poste sempre più in basso per beneficiare di un certo effetto suolo. Norme tese a fermare questa tendenza ebbero ben poco effetto.

A partire dal 1982 si generalizzò l'uso di motori turbo che svilupparono potenze fino a 1200 HP (a tutt' oggi le più alte viste in F1).

Nel 1989 si ebbe, dopo anni di motori turbo, il ritorno agli aspirati (inizialmente da 3500 cc, poi da 3000 cc).

Per aumentarne la potenza, furono reintrodotti gli airscoops.

Con gli anni, i regolamenti avevano imposto la creazione di roll bar sempre più spessi; l'airscoop centrale, con presa d'aria in mezzo al roll bar, consentiva di ottenere buoni valori di sovralimentazione dinamica senza andare a scapito della resistenza o dell' efficienza dell' ala posteriore, essendo queste già compromesse dalla presenza delle voluminose strutture di protezione.

Una novità importante si ebbe con la Tyrrell 019 di Migeot del 1990. Essa presentava il muso rialzato ed un' ala anteriore a forma di gabbiano inverso; il fondo piatto cominciava con un caratteristico scalino.



Fig. 13– 1995: Muso alto, airscoop, scalino

Ciò consentiva di far giungere al fondo piatto un flusso di qualità migliore, non influenzato dallo strato limite che nasceva sulla parte inferiore del muso. Inoltre diminuiva la sensibilità in beccheggio (pitch sensitivity) della vettura.

La posizione del centro di pressione del fondo piatto varia infatti fortemente con le distanze da terra anteriori e posteriori.

Il beccheggio che si crea in frenata causa uno spostamento del centro di pressione in avanti, compromettendo la stabilità.

Accorciando il fondo piatto la variazione delle distanze da terra diminuisce.

L'ala di gabbiano fu presto sostituita da piloni che consentivano di tenere l'intera superficie prossima al suolo.

Anche quando i regolamenti hanno finalmente obbligato ad innalzare le estremità delle ali anteriori, la parte centrale è rimasta in prossimità del suolo,



Fig. 14 – Ala anteriore a cucchiaio

creando il caratteristico aspetto "a cucchiaio".

Dal 1987 al 1993 la F1 visse una delle sue stagioni di maggiore crescita tecnologica.

Fu il periodo dello sviluppo esplosivo dell'elettronica: antispin, cambio automatico, ABS, sospensioni attive.

Le sospensioni attive, in particolare, ebbero un forte impatto sull'aerodinamica.

Le applicazioni più sofisticate consentivano tra l'altro di intervenire sulla distribuzione delle rigidezze di rollio, correggendo in tempo reale il comportamento della vettura attraverso variazioni nella distribuzione del trasferimento di carico.

Molte squadre si limitarono a più economici correttori d' assetto.

Entrambi i sistemi consentivano di mantenere stabile l'altezza da terra durante il moto, consentendo così di adottare configurazioni del muso e dello scivolo estrattore molto critiche ma molto efficienti.

Il divieto delle sospensioni attive e sistemi similari spostò nuovamente la ricerca su un' aerodinamica che risentisse relativamente poco delle variazioni di assetto.

Dalla metà degli anni '90 si è generalizzato l' uso di gallerie del vento in scala 1/1, prima limitato a pochi test presso strutture esterne, prima tra tutti la galleria dell' Imperial College di Londra. La nuova raffinatezza raggiunta negli studi consentì di effettuare studi come quelli del flusso sul veicolo imbardato.



Fig. 15 – Oggi : fondo piatto, diffusore, piastra[3]

Da molti anni l'evoluzione aero-dinamica della F1 è imbrigliata dai regolamenti, che praticamente ne dettano le forme esterne nel tentativo di contenere le prestazioni.

Ad essi è dovuta l'ultima grossa novità in ordine di tempo: nel 1994 due incidenti mortali portarono a limitare l'effetto suolo con l'adozione obbligatoria di una piastra in legno spessa 1 cm e larga 30 cm al centro del fondo piatto.

Data la sensibilità dell'effetto suolo all' altezza da terra, i valori di carico subirono una drastica riduzione. Una serie di misure successive furono volte alla diminuzione dell'efficienza delle ali anteriori, con il loro progressivo innalzamento.

La ricerca aerodinamica di maggior rilievo in F1 è oggi svolta per conto della Federazione.

Nelle ultime stagioni i sorpassi sono diminuiti a causa di bruschi cali di aderenza subiti dalle vetture che si pongano nella scia di altre.

Da nuove configurazioni, che favoriscano il ritorno dello spettacolo, dipende il futuro dello Sport.

[1] Uno dei rari esempi dell' epoca di ricerca in galleria del ven3230 fu condotto sulla ATS del 1963, presso la Facoltà di Ingegneria di Napoli ove è tuttora conservato il modello.
[2]Tutti i valori di deportanza indicati nell' articolo vanno intesi come ottenuti a 300 Km/h.
[3] Copyright Bove 2001.

Bibliografia

A.J. SCIBOR RYLSKI, *Road Vehicle Aerodynamics*, London, Pentech Press, 1984.
A.A.V.V., edited by W.H. Hucho, *Aerodynamics of Road Vehicles*, London, Butterworth, 1990.
E. BENZING, *Dall' aerodinamica alla potenza in Formula 1*, Milano, Giorgio Nada Editore, 2004.
A. CIMAROSTI, *Grand Prix Story,* Milano, Giorgio Nada Editore, 1990.H. B.PACEJKA, T*yre and Vehicle Dynamics*, London, Butterworth, 2002.
D. NYE, *Theme Lotus*, Croydon (GB), Motor Racing Publications , 1971.
P. TARUFFI, *The technique of motor racing*, Cambridge (USA), Robert Bentley Inc., 1990.

Rodolfo Monti, Giuseppe De Chiara

Storia del rientro atmosferico da missioni spaziali

1. *Introduzione*

L'ingresso di corpi celesti nell'atmosfera terrestre (ad es. meteoriti) è contemporaneo alla formazione della terra e della sua atmosfera; il "rientro" però nell'atmosfera terrestre di corpi lanciati dall'uomo nello spazio nasce soltanto 45 anni fa, che è un periodo assolutamente irrisorio paragonato alla storia di altre discipline o di sistemi ingegneristici.

Il progresso fatto in queste tecniche è stato però così rapido che non è sbagliato parlare già di "storia", anche perché si sono profusi molti sforzi finanziari, tecnici e scientifici in un momento dove la competizione per la conquista dello spazio era molto forte ed alimentata dalla guerra fredda tra le due maggiori potenze mondiali (USA e URSS).

Questo contributo alla storia dell'ingegneria mette in evidenza le tappe dell'evoluzione delle tecniche di rientro che hanno reso possibile l'esplorazione umana dello Spazio dalle prime capsule russe alla Stazione Spaziale, all'"allunamento" di uomini sul nostro satellite ed, in prospettiva, all'esplorazione di Marte.

La storia dimostra come, avendo fatto una scelta iniziale e avendo accumulato esperienze nel rientro a mezzo di capsule si è trascurata la possibilità di un rientro con aerei di tipo convenzionale, data anche la indisponibilità di materiali adeguati.

La situazione è simile a quanto si verifica frequentemente in altre discipline dove c'è un punto di biforcazione decisionale: una volta fatta la scelta si è costretti a seguire la strada che porta a successi rapidi anche se, in prospettiva, senza sbocchi significativi.

Ad esempio l'utilizzo iniziale del motore a scoppio nella autotrazione terrestre con la innaturale e complessa traduzione di un moto alternativo (del pistone) in un moto circolare (delle ruote) ha portato ad un tale livello di sviluppo di questa soluzione che diventa sempre più difficile rinnegarla e ricorrere a quella che sarebbe la soluzione più ovvia e cioè il motore a turbina (che genera direttamente un moto circolare).

Nel prosieguo vengono illustrati i sistemi utilizzati finora per il rientro e la loro evoluzione mettendo in evidenza le varie soluzioni ingegneristiche. Verrà infine presentata una idea innovativa di rientro, attualmente allo studio presso il Dipartimento di Scienza ed Ingegneria dello Spazio (DISIS), volta a limitare i rischi del rientro atmosferico a mezzo di un velivolo che, partendo da orbite basse (Low Earth Orbit, LEO), si comporta come un aliante, veleggiando fino ad atterrare in modo convenzionale.

2. *Problematiche del rientro atmosferico*

Perché il rientro da missioni spaziali si differenzia dal problema del moto di un aeroplano nell'atmosfera? Il motivo principale è l'altissima velocità con cui tipicamente si muovono i veicoli che ritornano da missioni spaziali (da 8 a 11[km/s]); l'altro motivo è la rarefazione dell'atmosfera (che da una pressione di 1 Bar al livello del mare passa ad esempio a un milionesimo di Bar a 100 [km]).

La conseguenza delle elevate velocità è visibile ad occhio nudo osservando le stelle cadenti, cioè quando un meteorite, attratto dalla forza gravitazionale, attraversa a forti velocità la atmosfera terrestre, e, a causa dell'attrito con l'aria, raggiunge temperature così elevate da farlo consumare (fondendo, evaporando, ablando) quasi interamente prima di toccare terra. Questo è quanto accadrebbe anche ad un velivolo dotato della stessa velocità, se non si prendessero opportune precauzioni proteggendolo in modo adeguato sia dal punto di vista del riscaldamento aerodinamico e sia dall'impatto con il suolo.

Le geometrie dei corpi che rientrano sono in pratica solo due: le capsule e lo shuttle. Essi sono entrambi corpi compatti che hanno una protezione termica che limita (quasi annullandola) la quantità di massa che si consuma nel rientro: la differenza tra i due sistemi è che, nel primo caso, la fase di atterraggio (o ammaraggio) avviene tramite paracadute e, nel secondo caso, avviene tramite una autosostentazione generata da ali. Per avere una idea della difficoltà di decelerare un corpo che si muove a quote e velocità elevate (ad es. 8 [km/s] a 100 [km]) basta pensare che esso possiede una energia cinetica pari a 7 volte quella potenziale della stessa massa di tritolo e che, in ogni caso, questa energia nella fase di rientro, si converte tutta in energia termica (nel caso dello Shuttle questa energia è pari ad 1/20 della bomba di Hiroshima!).

Se si disponesse di adeguati motori a razzo e, soprattutto, di una grande quantità di propellente si potrebbe pensare, prima di rientrare nell'atmosfera (per evitare di essere esposti al forte riscaldamento aerodinamico), di decelerare il velivolo a valori dell'ordine di 1 [km/s] (o Mach 3), velocità che consente un volo di tipo convenzionale. Ma la massa di propellente necessario a questa diminuzione di velocità è di circa 15 volte la massa da decelerare. Tenendo presente che per portare in orbita un veicolo di una certa massa bisogna disporre di una massa di propellente circa 20 volte maggiore, ciò significa che, per potere decelerare 1 kg in fase di rientro, dovremmo disporre di circa 300 [kg] di propellente in fase di lancio.

Questa è la ragione per cui si ricorre alle forze aerodinamiche per la decelerazione del velivolo nella fase di rientro. In questo caso, però, si deve evitare che tutta l'energia, convertita in energia termica, venga incamerata nel velivolo (che, in questo caso raggiungerebbe temperature dell'ordine di 10.000 [k]), ma che venga piuttosto trasmessa all'ambiente esterno. Tutto quanto sopra costituisce una grande sfi-

da per molte discipline quali l'aerodinamica, i materiali, la guida e controllo, l'aerotermo-chimica, la meccanica del volo e le telecomunicazioni, e fa del rientro atmosferico uno dei più difficili e complessi problemi attuali dell'ingegneria. È il caso di richiamare alcune semplici formule per mettere in risalto la difficoltà del rientro conseguente al riscaldamento aero-dinamico. L'aria in prossimità di qualsiasi corpo rientrante nell'atmosfera raggiunge temperature dell'ordine di 10.000 [k] e, conseguentemente, cambia la sua composizione dissociandosi, ionizzandosi ed emettendo le radiazioni luminose che accompagnano il rientro di tutti i corpi dello Spazio.

Queste elevate temperature dell'aria che inviluppa il corpo generano forti flussi di calore che riscaldano il corpo. Il flusso termico (energia nel modo calore per unità di superficie e di tempo in W/m^2) sulla prua (con raggio di curvatura R) di un corpo che si muove con velocità V (molto maggiore della velocità del suono) in una atmosfera di densità ρ è data da:

$$\dot{q} = k \frac{V^3}{\sqrt{R}} \sqrt{\rho} \qquad (1)$$

dove k vale 1.15×10^{-4} e le grandezze vanno tutte espresse in MKS, a questi valori corrisponde una temperatura di equilibrio radiativo

$$T_r = \sqrt[4]{\frac{\dot{q}}{\varepsilon \sigma}} \qquad (2)$$

valori tipici forniscono flussi termici dell'ordine dei MW/m^2 e temperature dell'ordine dei 2000÷3000 [k].

Pochi materiali possono resistere a queste condizioni; la maggior parte di essi fondono e vaporizzano, contribuendo a generare una scia luminosa.

Anche se in modo semplicistico, la formula (1) dà conto delle scelte fatte per la configurazione dei corpi che rientrano: per limitare il flusso termico (e la temperatura conseguente) si possono scegliere corpi aerodinamicamente tozzi (ad es. capsule) caratterizzati da valori elevati del raggio di curvatura R.

Questi corpi tozzi sono ben lontani dalle forme aerodinamiche degli aerei, non sono in grado di volare e di atterrare come fanno gli aeroplani ed hanno bisogno di paracadute. Una alternativa è quella dello Shuttle che è un corpo relativamente snello e con ali e che è un compromesso tra una capsula ed un aereo (V. paragrafo 7).

In seguito vengono illustrate le geometrie dei veicoli di rientro finora utilizzati.

3. *Meteoriti*

Corpi celesti che passano in prossimità della Terra (diciamo a 100 km dal suolo) vengono rallentati dalle forze aerodinamiche e attratti dalla forza gravitazionale terrestre e, a certe condizioni di velocità e di traiettoria, cadono sulla terra lasciando dietro di sé la caratteristica scia luminosa.

Anche se non si può parlare propriamente di rientro (come per i veicoli inviati da terra) la fenomenologia è, per molti versi, identica. L'effetto delle at-

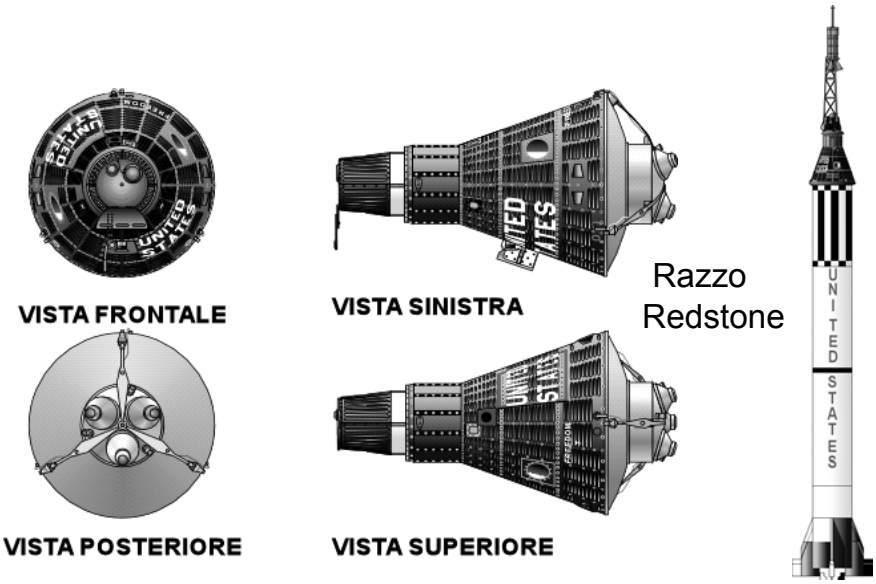


Fig. 1 – Capsula Mercury

mosfere planetarie sul moto dei meteoriti è drammaticamente messa in evidenza dalle foto lunari che mostrano una superficie che, si calcola, è stata bombardata da circa tremila miliardi di meteoriti che hanno prodotto crateri di dimensioni maggiore di 1 metro. E' evidente la differenza con la Terra e Marte dove la protezione dell'atmosfera evita l'impatto dei più piccoli meteoriti e limita fortemente le dimensioni e la velocità di impatto al suolo.

Durante l'attraversamento dell'atmosfera i meteoriti sono visibili di notte a causa del forte riscaldamento dell'aria, sulla prua del meteorite, che si ionizza e diventa luminosa lasciando una scia che è più o meno lunga a seconda della traiettoria seguita.

Uno dei crateri più studiato e di notevoli dimensioni (1.2 km di diametro) è quello di Winslow in Arizona formatosi circa 30.000 anni fa dall'impatto sul terreno di una sfera di circa 25 m di diametro pesante circa 60.000 tonnellate alla velocità di circa 15 km/s (a partire da una velocità presunta di circa 40 km/s). la dinamica della formazione del cratere è stata ricostruita formulando una serie di ipotesi sui fenomeni che si sono succeduti dopo il primo contatto con il suolo.

Il meteorite più famoso è probabilmente la pietra nera che si trova a Kasba alla Mecca, attualmente localizzato in una moschea ed oggetto di venerazione per l'Islam.

4. *Volo suborbitale - Mercury*

Anche se storicamente segue il primo volo orbitale (effettuato dai russi con la Vostok 1 il 12 aprile del 1961),

tipologicamente il volo suborbitale deve essere considerato come precedente.

Il primo veicolo a portare a termine un volo suborbitale è stata la capsula americana Mercury, che pilotata dall'astronauta Alan B. Shepard, ha compiuto tale missione il 5 maggio 1961.

La capsula Mercury (Fig. 1) è stata progettata dalla NASA a partire dal 1958 accorpando una serie di progetti precedentemente in corso condotti in maniera separata e parallela dalle tre forze armate americane (USAF, NAVY ed U.S. Army). La capsula Mercury, dal punto di vista architettonico, si presenta come un veicolo tronco-conico con il fondo (la parte di maggior diametro) svasata ed alloggiante lo scudo termico, realizzato in materiali ablativi. La Mercury effettua un rientro "balistico" infatti il rapporto portanza/resistenza (L/D – Lift/Drag) è pari a zero, dato che l'angolo di attacco è nullo. Questa caratteristica implica un rientro nell'atmosfera secondo una curva balistica "pura", quindi un rientro "corto" e ad elevata accelerazione (misurata in g, accelerazione pari alla gravità riscontrata sulla superficie terrestre – 9,81m/s^2).

La Mercury disponeva di uno scudo termico ablativo (realizzato in berillio) che aveva lo scopo di dissipare il calore generato durante il rientro nell'atmosfera ablando. Al termine della missione lo scudo termico era quasi completamente consumato, avendo assorbito tutto il calore senza trasmetterlo all'interno. La Mercury è stata realizzata in alluminio per ospitare un solo astronauta per brevi periodi (al massimo 24 ore). Per proteggere la capsula al momento dell'ammaraggio, effettuato a mezzo di paracadute, ciò che restava dello scudo termico veniva sganciato per consentire il dispiegamento di una sacca pneumatica in gomma, che agendo come una sorta di "airbag" aveva lo scopo di attutire l'impatto.

Modulo di Rientro :

Equipaggio:	1
Lunghezza:	3.5 m
Diametro max:	1.9 m
Volume abitabile:	1.70 m^3
Massa totale:	1.118 kg
Propellenti	H_2/O_2
Sistema elettrico:	Batterie (13.0 kWh)
Sistema di fuga:	Torre di salvataggi

Retropacco:

Lunghezza:	0.5 m
Diametro:	1.0 m
Massa totale:	237 kg
Spinta:	1,578 kgf
Propellenti:	Solidi (Isp 230 sec)



Modulo di rientro



Retropacco

Fig. 2 – Dati della Capsula Mercury

La capsula Mercury (Fig. 1) aveva un retropacco ospitante i tre retrorazzi (a propellenti solidi) e i razzi per la separazione dal vettore.

Una volta terminata la missione, prima del rientro nell'atmosfera, le cinghie che trattenevano il retropacco alla capsula erano liberate, lasciando andare via il retropacco stesso (vedi Fig. 2).

La capsula protagonista del primo volo suborbitale è stata una Mercury serie 1, l'unica di questa serie che abbia volato con un astronauta a bordo, mentre il vettore è stato un razzo Redstone.

Tale vettore era un derivato diretto della V2 che i tedeschi hanno impiegato durante la Seconda Guerra Mondiale, rielaborato dalla stessa equipe del Dott. Von Braun che si era trasferita negli USA al termine della guerra. Dal punto di vista del profilo di missione, il lancio della Mercury 3 (denominata "Freedom 7"), è stato molto simile al lancio di una testata con missile tattico, con una traiettoria perfettamente balistica con una gittata di circa 530 km ed un apogeo di 213 km.

Il rientro è avvenuto ad una velocità decisa-mente più bassa di quella che si ottiene al termine di un volo orbitale, circa 3 km/s, per cui l'attrito aerodinamico e la quantità di calore sviluppata nel passaggio agli strati densi dell'atmosfera sono stati decisamente inferiori a quelli per cui la capsula era stata progettata.

A 7 km dalla superficie si è aperto il paracadute pilota, mentre a 3 km quello principale, l'ammaraggio è avvenuto a poca distanza dal punto previsto e la capsula è stata recuperata da una portaerei, mentre l'astronauta è stato recuperato da un elicottero. Tutto il volo è durato circa 15 minuti (vedi Fig. 3).

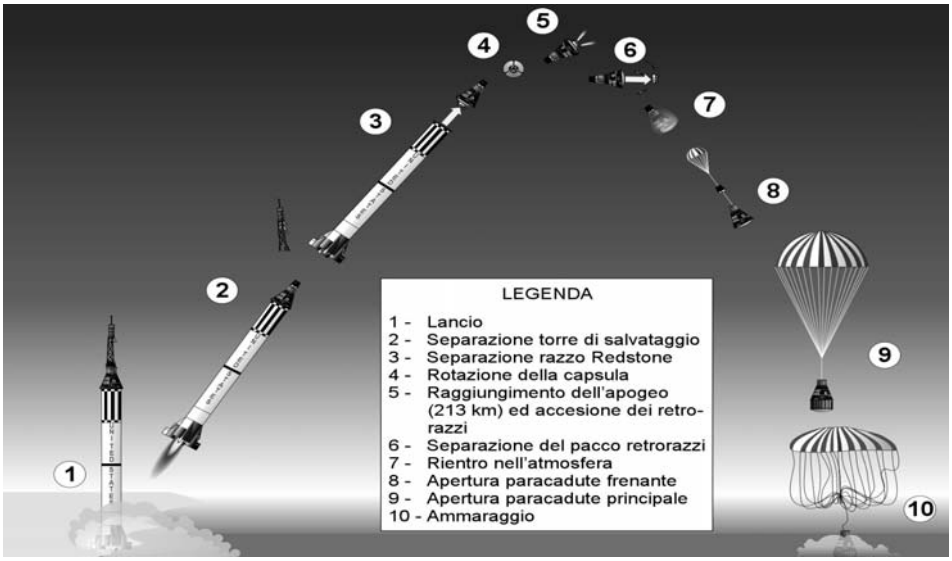


Fig. 3 – Missione Mercury

5. *Volo orbitale - Vostok*

La capsula Vostok è stato il primo veicolo spaziale abitato della storia, con il volo del cosmonauta Yuri A. Gagarin avvenuto il 12 aprile 1961, con questo volo i russi batterono (in maniera assolutamente imprevista) gli americani che stavano preparando di lì a poco il volo suborbitale di Shepard (avvenuto il 5 maggio dello stesso anno).

Da un punto di vista configurativo la capsula Vostok, disponeva di un modulo di comando di forma sferica che ospitava il cosmonauta durante tutte le fasi della missione, e un modulo di servizio di forma tronco-conica che ospitava i motori, il sistema di controllo dell'assetto, i radiatori e le batterie (Fig. 4). Il modulo di comando, denominato "Charik" (pallina), aveva la forma sferica per consentire alla capsula di autostabilizzarsi durante la fase di rientro, tramite un opportuno posizionamento del centro di massa. Tutta la capsula era rivestita di uno speciale scudo termico ablativo polime-rico che era innestato in una struttura di alluminio a "nido d'ape" (honeycomb).

L'atmosfera all'interno della capsula era composta di ossigeno (20%) e azoto (80%) come quella terrestre, in contrapposizione all'uso americano di dotare le proprie capsule di un'atmosfera di ossigeno puro (che consente di ridurre gli spessori delle pareti della sezione pressurizzata e quindi il peso, ma che è molto più pericoloso da un punto di vista della sicurezza, visto l'elevato pericolo di incendi).

Il cosmonauta era alloggiato su di uno speciale sedile eiettabile che poteva essere usato sia (in emergenza) nella fase di lancio come mezzo per abbandonare la capsula ed il vettore, sia all'atterraggio dato che le capsule russe toccano terra (mentre quelle americane ammaravano) ed all'epoca non era stato ancora risolto il problema dell'atterraggio "morbido". Il razzo scelto per mettere in orbita la capsula Vostok era

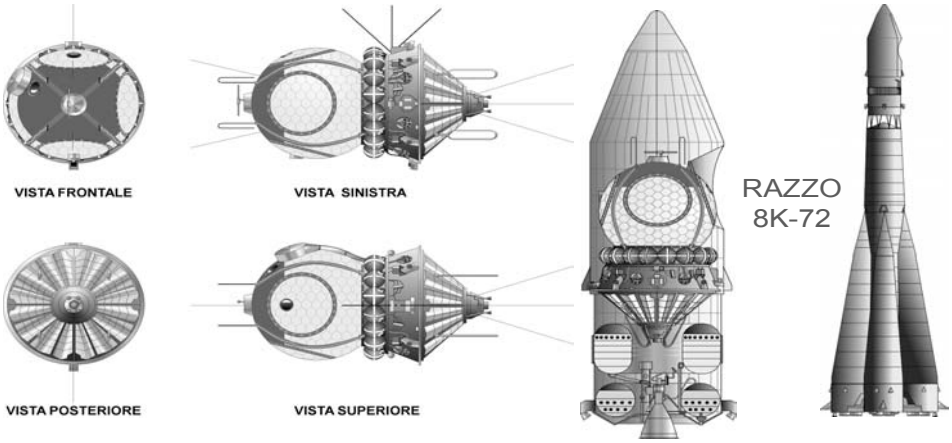


Fig. 4 – Capsula Vostok

sostanzialmente lo stesso vettore impiegato per mettere in orbita lo Sputnik con l'aggiunta di uno stadio ausiliario (Fig. 4). Yuri A. Gagarin fu lanciato dalla base di Tyuratam (nel Kazakhstan) con la capsula Vostok 1, alle 9,07 del 12 aprile 1961, dopo circa 10 minuti era in orbita bassa (a circa 300 km di altezza). Quando si trovava sopra l'Africa occidentale la Vostok 1 accese i retrorazzi ed iniziò la manovra di rientro.In quel momento il modulo di servizio e quello di comando dovevano separarsi, ma il fascio di cavi che li connetteva non si sganciò causando un assetto errato della Vostok 1 al rientro.

La capsula iniziò il rientro con ancora il modulo di servizio attaccato (tramite il fascio di cavi) ruotando velocemente intorno al proprio asse. Questo inconveniente causò momenti di tensione ma si risolse felicemente quando il fascio di cavi bruciò per attrito separando i due moduli. In questa prima "emergenza" spaziale il design del modulo di rientro si rivelò vincente dato che la Vostok 1 riguadagnò il proprio assetto corretto senza alcun intervento esterno. Il resto del rientro si svolse senza inconvenienti a circa 8 km/s, data la sua forma a "palla di cannone" e data la sua traiettoria perfettamente balistica la Vostok 1 effettuò un rientro "corto e veloce" (così come le Mercury) imponendo una forte accellerazione al cosmonauta (fino a 9g). Arrivato alla quota di 7 km Gagarin si espulse con il suo sedile eiettabile (circostanza per molto tempo negata dai sovietici per paura che la Federazione Astronautica Internazionale con sede a Parigi, non riconoscesse valido il volo), ed atterrò felicemente nella regione di Saratov (vicino alla città di Engels) mentre la capsula Vostok 1 atterrava (alquanto duramente) con un proprio paracadute a qualche centinaio di metri di distanza, l'intero volo era durato 108 minuti.

Modulo di rientro (charik):

Equipaggio:	1
Diametro max:	2.3 m
Volume abitabile:	4,5 m3
Massa totale:	2.460 kg
Sistema elettrico:	Batterie (13.0 kWh)
Sistema di fuga:	Sedile eiettabile

Modulo di servizio:

Lunghezza:	2.3 m
Diametro:	2.4 m
Massa totale:	2.270 kg
Spinta:	1,614 kgf
Propellenti:	Liquidi (Isp 266 sec)
Sistema elettrico:	Batterie

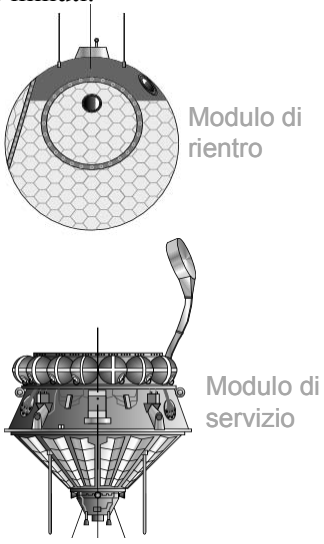


Fig.5 - Dati della Vostok

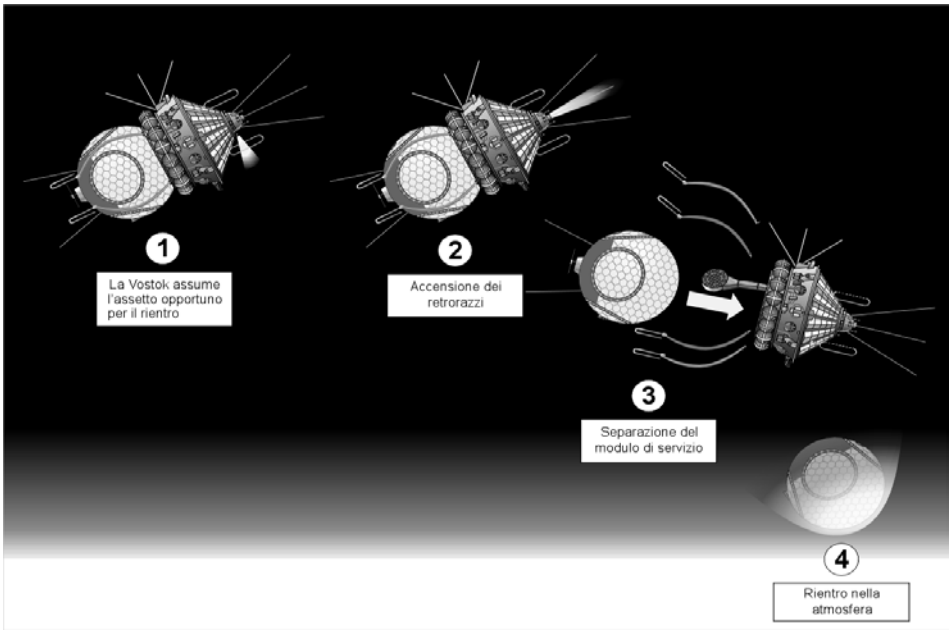


Fig. 6 - Rientro di Gagarin

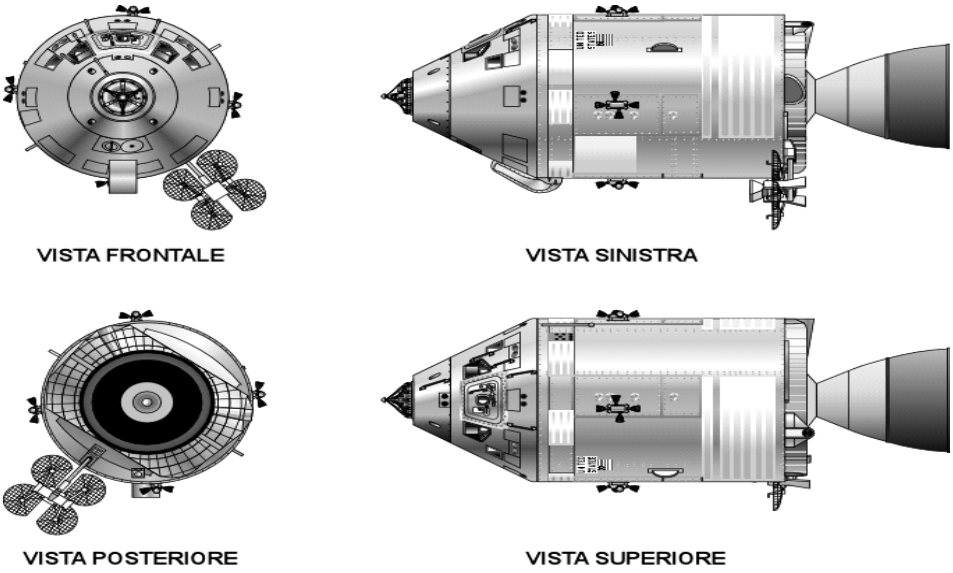


Fig. 7 - Capsula Apollo

6. *Aerobraking - Apollo*

Nel 1961, sull'onda emotiva del volo di Yuri A. Gagarin, il presidente John F. Kennedy lanciò la corsa alla Luna, che si sarebbe conclusa felicemente otto anni più tardi. A quel tempo la NASA fu incaricata di sviluppare un veicolo spaziale a tre posti.

Dopo molte discussioni la capsula Apollo fu progettata per operare con tre astronauti in orbita lunare, mentre il LEM (Lunar Exploration Module) fu progettato per portare due astronauti dall'orbita lunare alla sua superficie e viceversa.

Da un punto di vista configurativo la capsula Apollo aveva una conce-zione modulare essendo distinta in due elementi: un modulo di comando (e rientro) destinato ad ospitare gli astronauti durante tutte le fasi di missione (escluse quelle sulla superficie lunare) e un modulo di servizio che ospitava i motori, il sistema di controllo dell'assetto, le telecomunicazioni, i serbatoi di ossigeno, i radiatori e le celle a combustibile per la produzione di energia elettrica (Fig. 7).

Il modulo di comando era stato progettato con un forma conica, con un fondo svasato ospitante lo scudo termico come le precedenti Mercury e Gemini. A differenza della Mercury però, l'Apollo aveva una opportuna forma dello scudo termico che unito ad uno sfasamento tra il centro di massa e quello di pressione consentiva di ottenere una portanza residua (L/D pari a 0,3).

Tale coefficiente di portanza residua aveva due importanti effetti:

Consentire alla capsula di mantenere una traiettoria "semiportante" durante il rientro in maniera tale da "diluire" i tempi di discesa ed abbassare il carico in termini di g (da 9 a 4). La traiettoria semiportante (che i russi utilizzano anche per le loro capsule Soyuz) consente anche di avere una certa manovrabilità rispetto al punto di atterraggio/ammaraggio.

A causa dell'elevata velocità di rientro dalla Luna, pari a circa 11 km/s, era impensabile effettuare un rientro diretto (anche se con una traiettoria semiportante) perché avrebbe imposto carichi aerotermodinamici ed in termini di g inaccettabili (oltre 20g). Pertanto la NASA decise di sfruttare il coefficiente di portanza positivo affinché l'Apollo potesse avere una traiettoria in grado di "rimbalzare" sugli strati superiori dell'atmosfera. Il rimbalzo avrebbe ridotto la velocità iniziale dell'Apollo, consentendogli successivamente di effettuare un rientro "normale" a circa 8 km/s (come se rientrasse dall'orbita terrestre). Questa manovra prese il nome di "aerocattura" (aerobraking) (Fig. 8).

Per le capsule Apollo era stato sviluppato, sempre dall'equipe di Von Braun, un vettore interamente nuovo: il Saturno 5, il primo missile mai realizzato per scopi interamente pacifici. Il Saturno 5 era un razzo a tre stadi in cui il primo (realizzato dalla Boeing) ed il secondo stadio disponevano di motori alimentati ad ossigeno liquido e kerosene, mentre il terzo (realizzato dalla North American) aveva un motore alimentato ad ossigeno ed idrogeno liqui-

di (propellenti criogenici). Il terzo stadio aveva lo scopo di trasferire in orbita lunare il complesso composto dalla capsula Apollo ed il modulo lunare LEM.

La prima missione Apollo a fare uso della tecnica di aerobraking per rientrare nell'atmosfera è stata quella dell'Apollo 8, che è stata la prima missione con equipaggio umano a portare una capsula in orbita lunare. L'Apollo 8, che aveva a bordo gli astronauti Frank F. Borman, James A. Lovell e William A. Anders, fu lanciata con un Saturno 5 il 21 dicembre del 1968. Per la prima volta il Saturno 5 portava degli uomini a bordo e per la prima volta degli esseri umani orbitavano intorno alla Luna.

L'Apollo 8 entrò regolarmente in orbita lunare il 24 dicembre 1968, ed il giorno successivo accese i motori del modulo di servizio per entrare in una traiettoria di rientro verso la Terra. Il 27 dicembre del 1968 l'Apollo 8 realizzò con successo la prima manovra di aerobraking pilotato della storia, entrando una prima volta negli strati alti dell'atmosfera (vedi Fig. 8) con una velocità di circa 10 km/s ad 80 km di quota mentre gli astronauti subivano un'accelerazione di circa 7g, dopo il rimbalzo l'Apollo 8 si trovava a 120 km di quota con un velocità di circa 8 km/s. A questo punto l'Apollo 8 si tuffò nuovamente nell'atmosfera ed effettuò un normale rientro semiportante, dove gli astronauti furono sottoposti ad un'accele-razione di 4g.

A circa 8 km di quota iniziò la sequenza di dispiegamento di una serie di paracadute freno e pilota che avevano lo scopo di dispiegare i tre paracadute principali alla quota di 3 km. La capsula Apollo 8 ammarò regolarmente (a

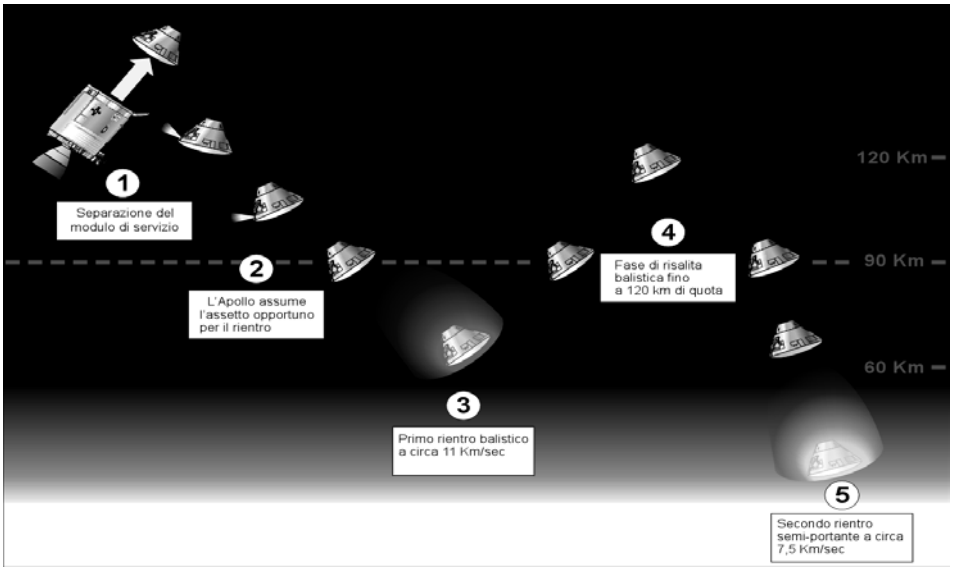


Fig. 8 – Missione dell'Apollo 8

meno di 2 m/s) il 27 dicembre 1968 e fu recuperata, insieme al suo equipaggio, dalla portaerei U.S.S. Yorktown. La missione era durata comples-sivamente 6 giorni e 13 minuti.

7. *Volo portante – Space Shuttle*

Dopo la conquista della Luna la NASA dovette affrontare un periodo di ridimensionamento dei propri ambiziosi programmi (che includevano la conquista di Marte), la perdita di interesse dell'opinione pubblica e l'abbandono della classe politica costrinsero la NASA a concentrarsi sulle operazioni in orbita bassa in vista della costruzione di una Stazione Spaziale permanente.

Proprio per poter disporre di un mezzo economico che facesse la spola tra la superficie terrestre e l'orbita bassa la NASA lanciò il programma Space Shuttle, in cui un velivolo spaziale alato fosse in grado di decollare come un razzo, operare come un satellite e rientrare come un comune aeroplano sulla pista di un aeroporto, e che sopratutto fosse riutilizzabile.

Da un punto di vista configurativo lo Space Shuttle, realizzato in 6 esemplari si presenta come un velivolo piuttosto tozzo con una fusoliera di forma quadrangolare, un'ampia deriva ed un'ala a doppio delta. Lo Space Shuttle è capace di supportare le operazioni in LEO di un equipaggio di 8 astronauti per un periodo massimo di tre settimane, e di portare in orbita un carico utile di massimo 24.000 kg (nella sua stiva non pressurizzata lunga 18 metri e larga 6 metri).lo Space Shuttle rappresenta il sistema primario per l'assemblaggio dei moduli pressurizzati del lato americano della Stazione Spaziale Internazionale (ISS), nonché del modulo europeo e di quello giapponese.

Grazie alla sua configurazione lo Space Shuttle è in grado di effettuare un rientro completamente portante che lo mette in condizioni di raggiungere una vasta porzione degli Stati Uniti dal

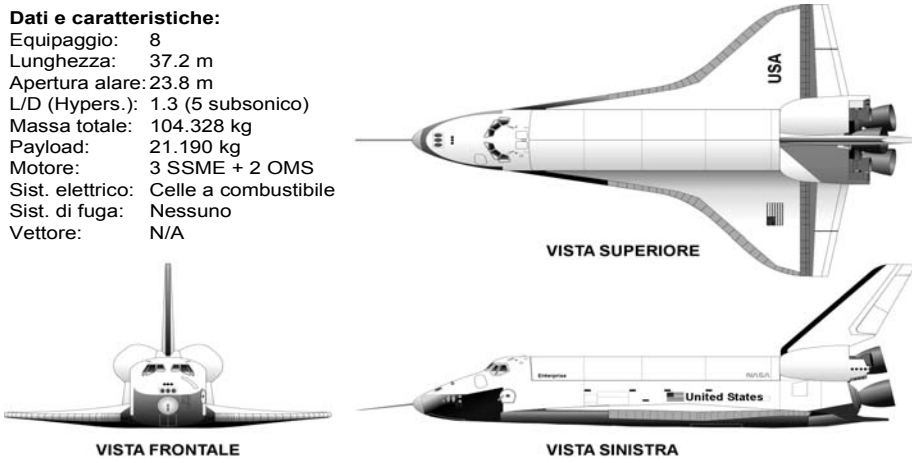


Fig. 9 - Lo Space Shuttle

momento in cui accende i motori per uscire dall'orbita. Durante il rientro lo Shuttle assume un alto angolo di attacco (40°). La traiettoria di discesa risulta decisamente allungata rispetto aquella di una capsula così come il tempo impiegato a rientrare nell'atmosfera, d'altra parte l'accelerazione imposta all'equipaggio è minima (solo 1,5 g).

Una volta entrato in aria densa e a velocità subsonica (in questo regime il rapporto L/D sale a 5) l'angolo cambia radicalmente facendogli assumere un profilo di discesa molto ripido, in questa fase lo Shuttle si comporta sostanzialmente come un grosso aliante (ma molto meno efficiente viste le ali a delta a basso allungamento), con il grave inconveniente di non poter effettuare un secondo "passaggio" sulla pista in caso di problemi.

La prima missione dello Space Shuttle, la STS-1 con gli astronauti Robert L. Crippen e John W. Young, ha avuto inizio il 12 aprile del 1981 (esattamente venti anni dopo il volo di Yuri A. Gagarin). Lo Shuttle Columbia è decollato sotto la spinta dei suoi due boosters a propellenti solidi (Solid Rocket Boosters – SRB, realizzati dalla Rocketdyne) il cui scopo è quello di portare la navetta ad una quota tale in cui i tre grossi motori a propellenti criogenici possano funzionare al massimo dell'efficenza. Dopo due minuti e mezzo (durante i quali niente e nessuno può fermare la corsa dello Shuttle) i due SRB si sono separati (e sono stati successivamente recuperati con il paracadute) mentre lo Shuttle prosegue la sua corsa grazie ai tre grossi motori SSME (Space Shuttle Main Engines – Motori Principali dello Space Shuttle). Nove minuti dopo il lancio il serbatoio esterno esaurito il suo carico si è sganciato e gli SSME si sono spenti. A circa 12 minuti dal lancio lo Shuttle Columbia entrò in LEO ed iniziò le sue operazioni

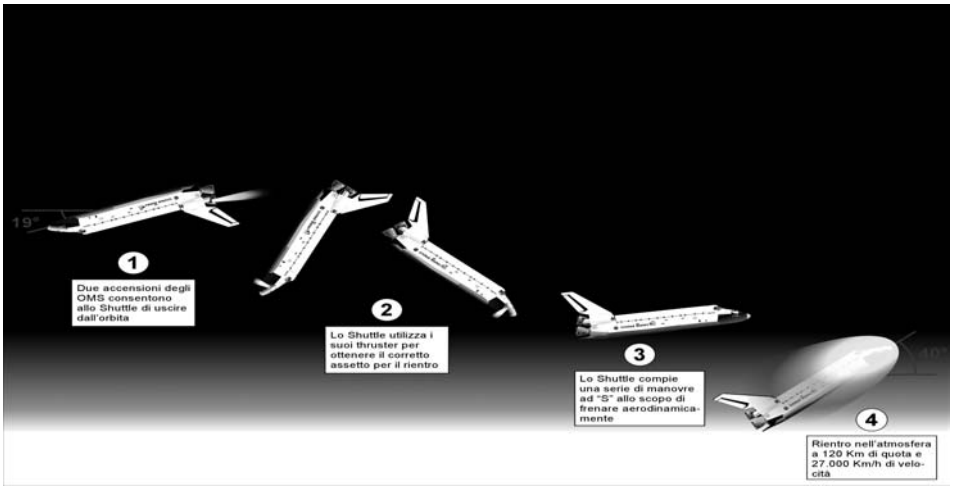


Fig. 10 – Rientro dello Shuttle

orbitali aprendo i due portelloni della stiva, per esporre al vuoto dello Spazio i radiatori per il controllo termico.

Il 14 aprile del 1981 il Columbia assunse il suo assetto di rientro ed accese i due motori ausiliari per le operazioni in orbita (OMS – Orbital Maneuvering System) per abbassare la velocità al disotto di quella necessaria per mantenere l'orbita.

A 100 km di quota cominciò il rientro con una serie di manovre per ridurre aerodinamicamente la velocità ed "inforcare" il giusto corridoio di rientro, alla quota di circa 80 km avvenne il rientro vero e proprio (Fig. 10).

Questa fase, ed il relativo black-out delle comunicazioni dovuto alla ionizzazione dell'atmosfera intorno allo Shuttle a causa dell'attrito aerodinamico, fu seguita con una certa apprensione dalla NASA dato che questo era il primo volo in assoluto dello Shuttle.

In quell'occasione il Columbia effettuò un rientro sostanzialmente privo di problemi lo Shuttle atterrò sulla pista della Base di Edwards in California. La missione era durata complessivamente 2 giorni, 6 ore e 20 minuti. Una volta ritornato al Kennedy Space Center la NASA rilevò la perdita di 16 piastrelle protettive mentre altre 148 furono trovate danneggiate.

8. *Rientro a basso rischio*

L'idea di un veicolo di rientro a "basso rischio" nasce presso il DISIS dell'Università di Napoli a valle della tragedia dello Shuttle Columbia che si disintegrò durante il rientro (1/2/2003) ad una altezza di 65 [km] sul New Mexico. Essa viene inoltre incontro ai requisiti posti dalle nuove missioni spaziali quali il ritorno da Luna, da Marte e il turismo spaziale. Tutto questo ha portato a rivisitare la modalità di rientro attualmente seguita con capsule o con lo Shuttle (così come illustrati nei paragrafi precedenti). In particolare ci si è chiesto se è possibile evitare gli alti picchi di flusso termico durante il rientro a favore di una più graduale conversione

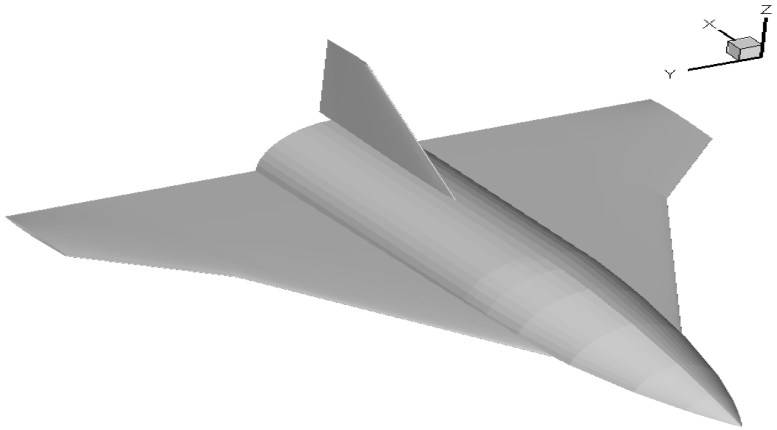


Fig. 11 – Configurazione velivolo

dell'energia cinetica del corpo in energia termica. Per illustrare il problema con una analogia è come se si dovesse superare una zona che brucia; si possono seguire due filosofie diverse: 1. attraversare la zona il più rapidamente possibile permanendo poco tempo a temperature molto elevate oppure 2. circumnavigare la zona impiegando un tempo maggiore ma a temperature non molto elevate. Questa seconda opzione è a minore rischio e comporta valori minori del carico alare, una maggiore efficienza aerodinamica, una opportuna pilotabilità e controllo del veicolo ed una opportuna protezione termica dell'abitacolo. La possibilità di realizzare un rientro di questo tipo è data dalla recente messa a punto di materiali resistenti ad altissime temperature (Ultra High Temperature Ceramics, UHTC) da mettere sulla punta della fusoliera e sui bordi d'attacco delle ali (dove è massimo il flusso termico).

Una possibile configurazione del velivolo è illustrata in Fig. 11. Questa nuova filosofia di rientro porta a traiettorie e tempi di rientro molto diversi da quello dello Shuttle e soprattutto a velivoli pilotabili in modo convenzionale con le seguenti caratteristiche intese a migliorare la sicurezza:

1. graduale conversione dell' energia cinetica e profili di flussi termici piatti per un lungo tratto della traiettoria di rientro

2. sistema di protezione termico localizzato nella parte anteriore e struttura portante "calda"

3. pilotabilità del velivolo in modo convenzionale variando l'angolo di attacco

4. bassi valori delle forze di pressione e della decelerazione in corrispondenza degli elevati flussi di calore

5. bassa velocità di atterraggio che consente l'uso di qualsiasi pista aeroportuale

6. valori molto alti del percorso longitudinale e traversale che consente la scelta di più siti di atterraggio

7. assenza del black-out radio (che per le capsule è dovuto alla presenza di uno spesso strato di plasma conduttivo)

8. assenza di paracadute che è sempre un elemento di rischio, specie per veicoli che debbono lungamente sostare nello spazio

9. assetto del velivolo a piccoli angoli di attacco che garantisce un corretto funzionamento delle superfici di controllo.

In particolare è in corso uno studio di fattibilità presso il Dipartimento di Scienza ed Ingegneria dello Spazio e la maggiore industria Aerospaziale Tedesca per un velivolo che possa sostituire lo Shuttle o la Soyuz Russa per il ritorno di esseri umani dalla Stazione Spaziale.

9. *Conclusioni*

La storia del rientro atmosferico è legata alla esplorazione spaziale ogni volta che questa esplorazione implica il ritorno a terra di un veicolo inviato nello spazio.

La missione di rientro è di enorme difficoltà specie se si tratta di rientro di esseri umani che non tollerano forti va-

lori della decelerazione e della temperatura.

Diversi veicoli sono stati realizzati che vanno dalle capsule da missioni suborbitali, al rientro da orbite LEO (Low Earth Orbits), al rientro a mezzo Shuttle, al ritorno di capsule dalla Luna. Tutti questi sistemi sono stati esaminati e descritti mettendo in evidenza la loro complessità.

La storia del rientro mostra però che non si è ancora raggiunta una sicurezza simile a quella della aviazione civile e militare e che ci sono margini di manovra soprattutto se si riesce a pilotare il veicolo come un normale aeroplano. Gli studi in corso presso il DISIS vanno in questa direzione e fanno ricorso ai più recenti materiali che resistono a temperature molto elevate

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Carlo Viggiani

Un ingegnere Romano di epoca tardorepubblicana: Lucio Cocceio Aucto

1. *Cocceio architetto*

La città di Pozzuoli è posta al centro dello straordinario territorio a Ovest di Napoli, noto con il nome di Campi Flegrei. Quest'area, descritta e celebrata dalle fonti, universalmente conosciuta e ammirata, ha sempre avuto in epoca moderna un ruolo di singolare importanza sia per la bellezza e le curiosità del paesaggio , sia per la forte suggestione dei racconti popolari, nei quali il luogo diveniva teatro di eventi leggendari (l'ingresso agli inferi dal Lago d'Averno) e sede di personaggi mitici (la sibilla Cumana, l'eroe Enea, il mago Virgilio), sia infine per la ricchezza monumentale che con le sue molteplici testimonianze archeologiche (l'anfiteatro Romano di Pozzuoli, le Terme di Baia, la Piscina Mirabilis, Cuma) ha offerto un deciso impulso alla tradizione degli studi antiquari.

Al centro del Rione Terra, l'acropoli dell'antica Pozzuoli, si trovano i resti bimillennari del Tempio di Augusto, incorporati nel XVII secolo in una chiesa barocca a sua volta distrutta da un incendio nel secolo scorso. Un'immagine del tempio, come si presentava finora, è riportata nella figura 1; attualmente è in corso un difficile restauro che si propone di restituire al culto la chiesa, senza cancellare le vestigia del tempio Romano. Un'iscrizione (fig. 2) ci informa che il tempio è opera di Lucio Cocceio Aucto: un architetto, quindi. Anzi, uno dei pochissimi architetti il cui nome ci sia stato tramandato dalle civiltà greca e romana di epoca ellenistica.



Fig. 1 – Il tempio di Augusto a Pozzuoli



Fig. 2 – L'iscrizione di Cocceio

In effetti, il ruolo professionale e sociale di un architetto nella civiltà Romana era completamente diverso da quello moderno (Gros, 1983).

L'architetto non era (e non era ritenuto) il principale responsabile di un monumento, di un edificio o di un'opera pubblica. Il suo ruolo veniva dopo quello del *promotor*; si diceva: Cesare ha gettato un ponte sul Reno, e solo molti secoli più tardi si dirà che Perronet, o Navier, o Brunel, o Morandi, o Calatrava hanno costruito un ponte. Dopo di lui veniva il *redemptor,* o imprenditore, e l'architetto, semmai, seguiva a notevole distanza, alla stregua di un capo operaio o poco più. La stessa Architettura trovava posto in trattati filosofici, sottratta alle contingenze di una pratica concreta e assimilata a una scienza speculativa. Nei testi teorici qualche nome di architetto è ricordato, più che per le sue opere, come autore di regole del costruire (ad esempio, Vitruvio a proposito di Ermogene) o come figura mitica (Tacito a proposito di Severo; Plinio il Vecchio a proposito di Valerio di Ostia).

Cocceio rappresenta quindi una notevole eccezione. Probabilmente di origine greca, era un liberto del patrizio romano Lucio Cocceio Nerva, profondamente legato ad Ottaviano Augusto. Fu certamente Nerva che ottenne le prime commesse per il suo liberto e lo introdusse nella cerchia ristretta dei responsabili delle grandi opere pubbliche nella regione; il suo appoggio è stato certamente all'origine della carriera e dei successi di Cocceio. Alla morte di Nerva, Cocceio si associò ad un altro architetto, Caio Postumio Pollione, formando una società -oggi diremmo un'associazione di professionisti ma anche di concessionari- nella quale egli aveva notevole autonomia; le sue disponibilità finanziarie , infatti, gli consentirono di operare da solo, anche in veste di *redemptor*, nella costruzione di un importante edificio pubblico a Cuma. Questa società è esemplare di un successo legato si ad appoggi politici iniziali, e anche a un'accorta gestione di un'importante capitale, ma soprattutto a una pratica di grande livello dell'architettura, che permetteva di corrispondere in modo assai completo e diversificato alle esigenze dei committenti.*2.*

2. *Cocceio ingegnere*

Fin dal Medio Evo, le cosiddette "Grotte" dei Campi Flegrei hanno goduto di una notevole fama. Con tale termine si indicavano anticamente sia le cavità naturali, sia quelle scavate dall'uomo; e il termine è rimasto in uso fino ai nostri giorni per indicare le grandi galle rie stradali scavate dai Romani nel Napoletano. In questa nota ci occuperemo delle tre più importanti: la *Cripta Neapolitana* o Grotta di Pozzuoli, la Grotta di Seiano e la Grotta di Cocceio.

Tabella 1.

Nome	Lungh (m)	Larghezza (m)	Altezza (m)
Cripta Neapolitana	711	4,5	4,6 ÷ 5,2
Grotta di Seiano	780	4,0 ÷ 6,5	5,0 ÷ 8,0
Grotta di Cocceio	970	4,5	4,5 ÷ 8,0

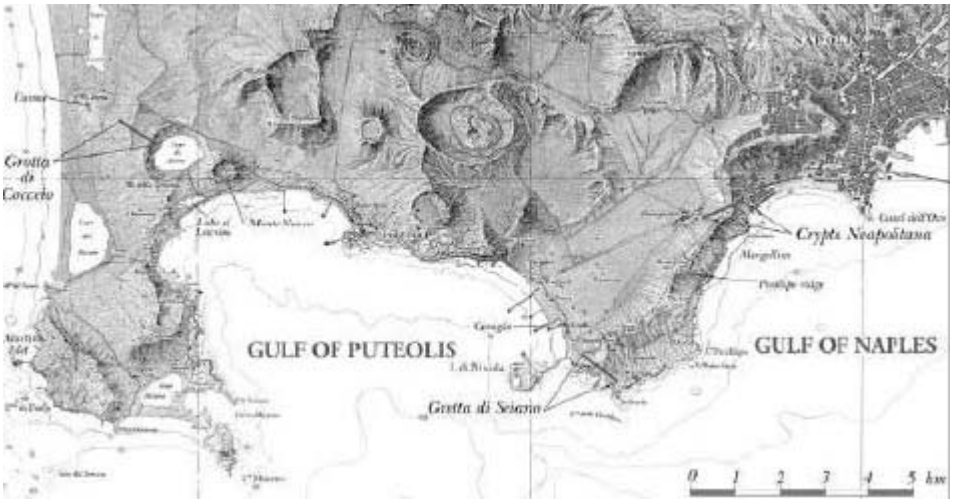


Fig. 3 – Mappa dei Campi Flegfrei con ubicazione delle tre gallerie

La loro ubicazione è riportata nella planimetria di fig. 3, e le loro principali caratteristiche sono elencate nella Tabella 1.

Almeno due di queste tre gallerie sono attribuite con certezza a Cocceio: la *Cripta Neapolitana* da Seneca e Petronio e la grotta di Cocceio da Strabone; meno sicura, ma altamente probabile, è l'attribuzione al nostro architetto (ma forse ora possiamo chiamarlo ingegnere!) della Grotta di Seiano.
Queste tre gallerie furono scavate in pochi anni, a partire dal 39 a.C. In quei tempi Ottaviano ed il suo genero e plenipotenziario, Marco Vipsanio Agrippa, promossero un profondo rinnovamento in ogni campo della cultura e della tecnica.

Le gallerie stradali furono, per così dire, inventate da Ottaviano ed Agrippa, ma fu Cocceio a dar forma tangibile al loro programma. Le tre gallerie flegree sono di gran lunga le più lunghe e le più importanti dell'intera civiltà Romana; per apprezzarne l'eccezionalità, basterà ricordare ad esse segue, in ordine di importanza, la galleria di Pietra Pertusa Maggiore, nell'alto Lazio, lunga 300 m e larga solo 2 m. Si tratta dunque di autentici capolavori di Ingegneria, che non hanno precedenti e sono rimaste ineguagliate.

Le tre gallerie attraversano materiali vulcanici del Napoletano; per scavare il tufo venivano impiegati, oltre ai picconi usati di punta o di taglio, e agli scalpelli, anche asce a doppia lama, cunei e magli; strumenti che gli operai vollero immortalare, scolpendoli nella volta della *Cripta Romana* a Cuma (fig. 4). Chi scrive può testimonia re che, due millenni dopo, questi stressi attezzi erano ancora usati per il taglio del tufo dagli ultimi "cavamonti" napoletani negli anni '40 del 1900.



Fig. 4 – Gli attrezzi dei minatori romani

Vitruvio (De Architectura, VIII, 6.3) a proposito delle gallerie scrive che se si incontra tufo o roccia, allora basterà scavare attraverso di essi; se invece si incontra un terreno sabbioso incoerente, allora bisognerà realizzare pareti e volta per poter eseguire lo scavo.

In effetti un rivestimento murario è presente in alcuni tratti delle nostre tre gallerie: per la volta un rivestimento in calcestruzzo realizzato con centine lignee (*opus cementicium*) mentre per le pareti è stato adoperato sia l'*opus reticulatum*, sia l'*opus incertum*, sia infine l'*opus vittatum*.

Interessanti informazioni circa le antiche tecniche di tracciamento, di scavo e di rivestimento sono riportate da Castellani e Dragoni (1991), Azimonti (1932), Levi (1949), G. Stabilini (1886) e L. Stabilini (1949).

Le ultime opere citate sono classici trattati di Ingegneria Civile, e mostrano come le tecniche per le gallerie siano rimaste sostanzialmente immutate fino al secolo scorso.

Un altro aspetto di carattere generale è quello del riutilizzo, o meglio del recupero funzionale delle antiche galle rie in epoca moderna.

La Cripta Neapolitana, adibita a sede di culto pagano e successivamente cristiano, è stata sempre interamente percorribile e quindi utilizzata quale passaggio sotterraneo. Nel 1455 Alfonso I d'Aragona fece apportare alcune migliorie, cosnsistenti nella creazione di bocche d'aerazione e nell'abbassamento del livello stradale sul lato orientale. Cento anni dopo (1546/48), il vicerè don Pedro Alvarez de Toledo aggiunse una pavimentazione a lastricato. Due secoli più tardi (1748/54), durante il regno di Carlo IV di Borbone, furono compiuti ulteriori restauri. Giuseppe Bonaparte fece installare una doppia fila di lampioni. Ancora nel 1839 si ha menzione di rinforzi alla volta. Solo nel 1885, con l'apertura della nuova Galleria delle Quattro Giornate, la *Crypta* venne definitivamente abbandonata.

A differenza della *Crypta* , la Grotta di Seiano già dal V secolo fu resa impercorribile da crolli e smottamenti; in epoca rinascimentale se ne era perso addirittura il ricordo. Soltanto nel XIX secolo, durante il regno di Ferdinando II di Borbone, vi fu un risveglio d'interesse per l'antico manufatto che fu sgombrato e reso nuovamente percorribile.

La Grotta di Cocceio fu oggetto di un'avventurosa esplorazione nel 1844 da parte dell'erudit o canonico Giuseppe Scherillo; la pubblicazione di un resoconto di quell'ispezione indusse il governo borbonico ad attuare lavori di sterro e di ristrutturazione. Questi lavori richiesero tempi lunghi, anche per le complesse vicende storico-politiche in

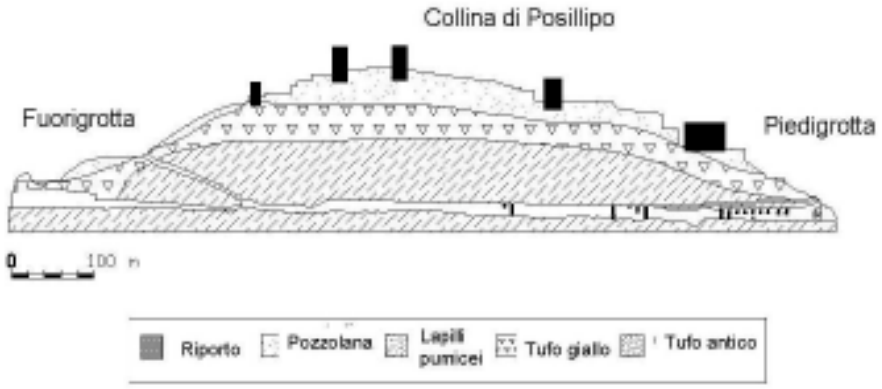


Fig. 5 – Profilo longitudinale della Cripta Neapolitana

atto; ma da un altro lavoro (Scherillo, 1884, 1858) si apprende che quattordici anni dopo la galleria era completamente percorribile. La solenne cerimonia di inaugurazione, nel 1861, fu presenziata da Vittorio Emanuele II.

3. *La* Crypta Neapolitana

Nel primo secolo a.C. Puteolis aveva raggiunto l'apice della sua potenza economica e militare ed era il maggior porto commerciale del Mediterraneo occidentale. La città era collegata a Napoli attraverso la vecchia strada collinare (*via per colles* o *Via Antiniana*), risalente al primo insediamento Romano (194 a.C.). La Grotta di Pozzuoli fu concepita per migliorare la comunicazione fra Puteolis e Napoli, e fu scavata al di sotto della collina di Posillipo, un rilievo tufaceo con ripide pendici la cui sommità si trova alla quota di 150-160 m s.m. e che separa il golfo di Napoli da quello di Pozzuoli. Un profilo longitudinale della galleria è riportato in Fig. 5.

Riferimenti alla Crypta sono contenuti nelle opere di Seneca (Epist: VI, 57, 1-2) e Petronio (Petron. Fr. 16). Nel Medio Evo, si riteneva che essa fosse stata scavata in una sola notte da Virgilio, poeta e mago**.** Numerose ne sono le rappresentazioni pittoriche.

La sezione della galleria Romana era larga 4,5 m per permettere il passaggio di due carri affiancati, ed alta da 3,5 a 4 m, con pareti verticali e volta cilindrica. La configurazione attuale è invece il risultato di una serie di interventi succedutisi nel corso dei secoli. In particolare, nella zona orientale della galleria il piano di calpestio fu ripetutamente abbassato per facilitare l'accesso. Il continuo peggiorare della situazione statica impose la chiusura al traffico nel 1885.

Nel 1930 l'area circostante l'ingresso orientale della galleria fu sistemata a parco pubblico, contenente un colomba-rio Romano che, nella tradizione popolare è ritenuto la tomba di Virgilio; nella stessa zona fu sistemata una tomba con le probabili spoglie di Gia-



Fig. 6 – I setti di contrasto in muratura annegati nel rinterro del 1930

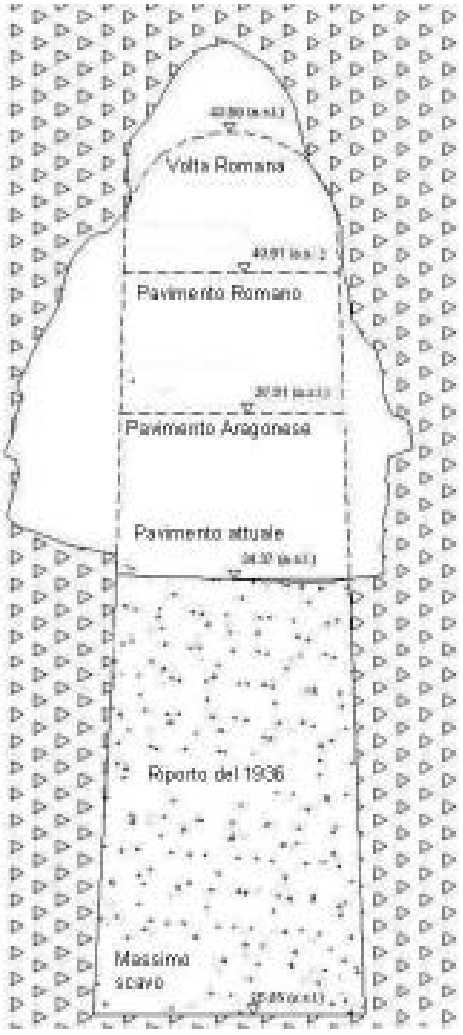


Fig. 7 – Le successive modifiche apportate alla sezione della Cripta Neapolitana nella parte orientale

como Leopardi. In quell'occasione il fondo della galleria nella parte orientale venne nuovamente rialzato, a mezzo di un riporto di spessore fino a 9 m, nel quale furono annegati speroni di muratura, con funzione di controvento (Fig. 6, Chierici 1929). Usando le traccie lasciate dai mozzi dei carri sulle pareti di tufo, è stato possibile ricostruire la storia dei successivi abbassamenti del fondo della galleria (Amato, 1998).

La fig. 7 riporta tali elementi per una sezione posta a circa 20 m dall'imbocco orientale. La quota di fondo nel periodo di massimo abbassamento era stata portata a 25 m s.m.; il pavimento Aragonese era a 37,9 m s.m., quello Romano a 40,9 m s.m. La quota della volta Romana era di 43,9 m s.m.; il massimo scavo è stato di 16 m. Sul profilo longitudinale, il fondo della galleria Romana aveva una pendenza costante pari a circa 0,85%; dopo i successivi abbassamenti, la pendenza aumentò fino al 3%. Parallelamente alla parete nord della galleria, ed a pochi metri di distan-

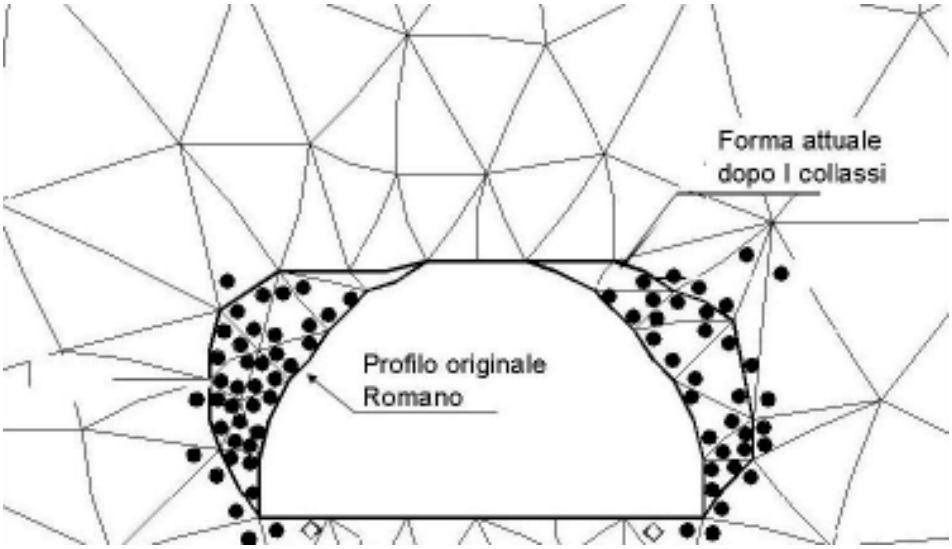


Fig. 8 – Confronto fra la sezione originale della Cripta e quella conseguente ai crolli, e risultati dell'analisi numerica

za da essa, si rinviene un cunicolo di sezione inferiore ai due metri quadri, appartenente all'antico acquedotto Romano che alimentava gli insediamenti Flegrei.

Attualmente la galleria è praticabile per circa 150 m dall'ingresso orientale, e per circa 200 m da quello occidentale. Il tratto centrale, della lunghezza di circa 370 m, è interessato da dissesti e distacchi di blocchi dalla calotta. A seguito dei vari interventi e dei crolli, la larghezza della galleria è attualmente compresa fra 5 e 12 m, e l'altezza fra 5 e 14 m.

Di recente è stata condotta un'indagine comprendente sondaggi, prelievo di campioni e prove di laboratorio, misure dello stato di sforzo in sito con martinetto piatto, rilievo dei giunti e delle discontinuità nei tratti accessibili, analisi numeriche ad Elementi Finiti. Le analisi comportano tre fasi successive: 1) lo stato di sforzo iniziale ($k_o = 0,5$); 2) lo scavo della galleria Romana e gli approfondimenti ed allargamenti successivi; 3) il distacco di blocchi.

Tutte le sezioni sono risultate globalmente stabili alla fine della fase 2; gli allargamenti ed abbassamenti del fondo non esercitano un'influenza significativa.

Tuttavia un certo volume di terreno attorno allo scavo raggiunge le condizioni di plasticizzazione. Se si assume che il volume plasticizzato dia luogo a distacchi progressivi, la sezione della galleria assume la sagoma riportata in fig. 8. In effetti, la sagoma attuale , quale risulta dai dissesti e crolli di blocchi, è in buon accordo con quella di fig. 8.

Dopo la fase 3, tutte le sezioni sono ancora globalmente stabili, anche se

sono ancora presenti piccoli volumi plasticizzati. E' quindi probabile che si abbiano ulteriori distacchi, ma il processo dovrebbe infine produrre una configurazione stabile.

La Soprintendenza archeologica ha allo studio la riapertura della Crypta al pubblico, dopo lavori di consolidamento che sono ora in una fase iniziale.

4. *La Grotta di Cocceio*

Appartiene ad un imponente complesso di opere realizzate nel 39 a.C. da Agrippa a scopo militare, nell'ambito della guerra sul mare contro Sesto Pompeo, figlio di Pompeo il Grande, che teneva la Sicilia con una poderosa flotta. Il lago d'Averno ed il lago di Lucrino (fig. 9) ospitavano rispettivamente

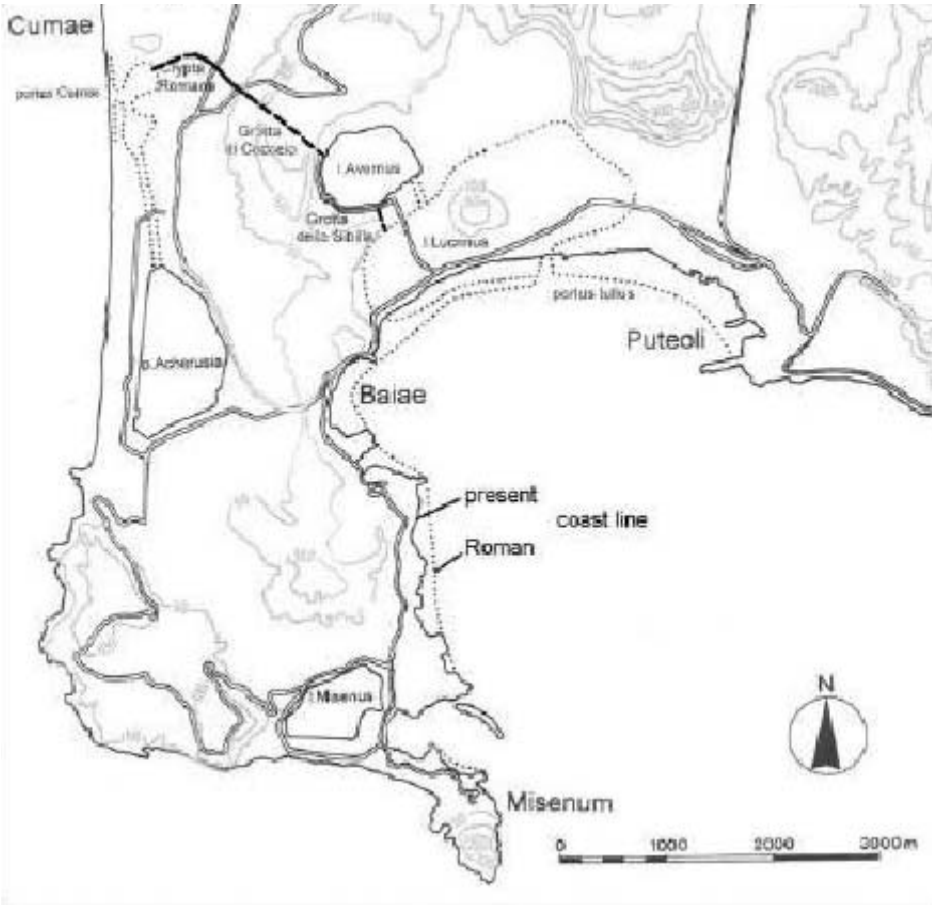


Fig. 9 – I laghi di Averno e Lucrino, Capo Miseno e Cuma oggi e in epoca Romana

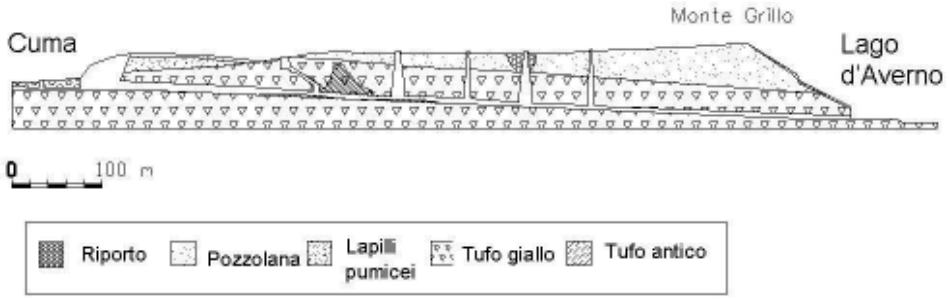


Fig. 10. Profilo longitudinale della grotta di Cocceio

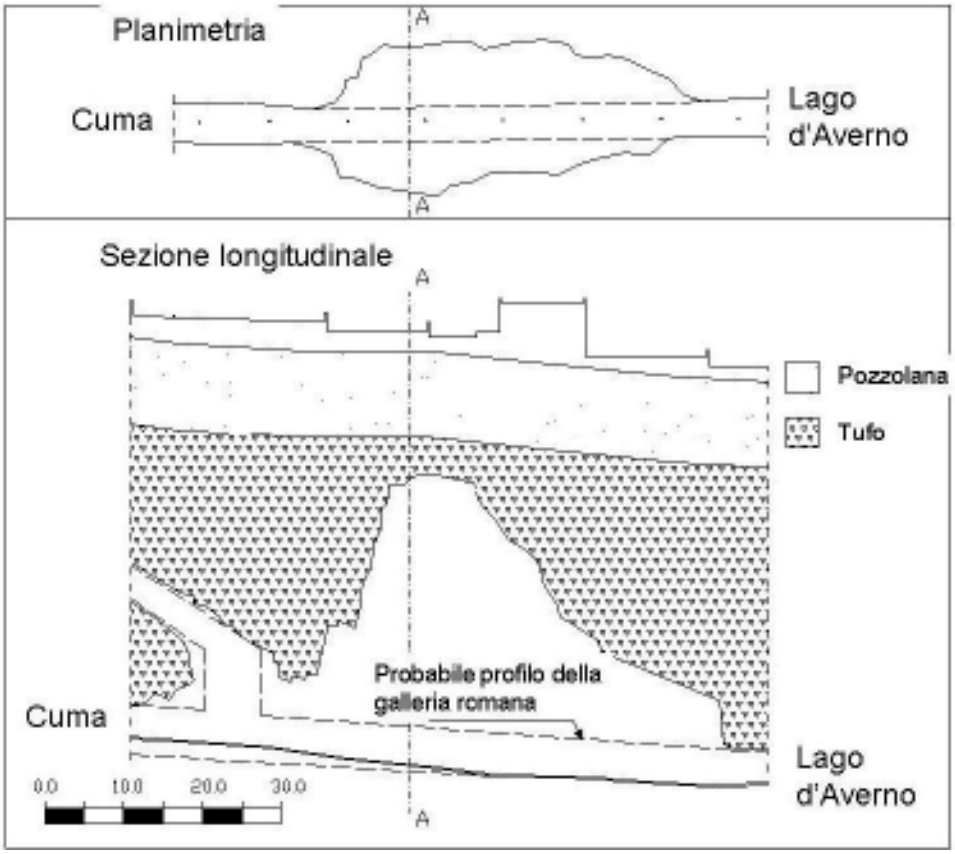


Fig. 11. Grotta di Cocceio: sezione della cavità di esplosione

l'arsenale ed il porto (*Portus Iulius*) della flotta imperiale, mentre Cuma era la cittadella di Ottaviano, che sarebbe presto diventato Augusto imperatore. Il collegamento fra queste due installazioni aveva richiesto lo scavo di due grandi canali navigabili, uno fra l'Averno ed il Lucrino ed un altro fra il Lucrino ed il mare; furono inoltre scavate tre grandi gallerie stradali, fra le quali appunto la Grotta di Cocceio. Essa attraversa il Monte Grillo con una lunghezza di quasi un chilometro ed una copertura massima di 90 m.; è scavata per quasi tutta la sua lunghezza nel tufo, e non è rivestita. Solo dal lato Cuma, per una lunghezza di qualche decina di metri, la galleria attraversava pozzolane debolmente cementate, ed era dotata di un rivestimento a volta in muratura; questo tratto è poi collassato, ed attualmente si è tramutato in una trincea. Un profilo longitudinale della galleria è riportato in Fig. 10.

Durante la Seconda Guerra Mondiale la galleria fu usata come deposito degli esplosivi che venivano prodotti sul vicino isolotto di S. Martino. Nel 1944 l'esercito tedesco, in ritirata, fece brillare gli esplosivi immagazzinati al centro della galleria; l'esplosione creò una gigantesca cavità dell'altezza di 37 m (fig. 11). In seguito i detriti sono stati rimossi, ed attualmente la cavità rappresenta un'attrazione aggiuntiva, che aumenta le suggestioni per visitatori. Sfortunatamente la sua fruizione non è sicura, a causa del rischio di distacco di blocchi dalla volta e per la probabile presenza di proiettili inesplosi sepolti.

Recentemente, per incarico della Soprintendenza Archeologica, è stata condotta una dettagliata indagine sulle condizioni di stabilità della cavità di scoppio, comprendente fra l'altro l'esecuzione di sondaggi con prelievo di campioni indisturbati ed analisi e prove di laboratorio. Per ragioni di sicurezza, non è stato possibile procedere ad un rilievo di dettaglio delle discontinuità sulle pareti e sulla volta; alcune indicazioni in proposito sono state ottenute per via fotografica. Si è così riconosciuta una famiglia di discontinuità subverticali, all'incirca normali all'asse della galleria e preesistenti all'esplosione. Due sondaggi hanno intercettato una discontinuità orizzontale nel tufo, circa tre metri al di sotto del tetto della formazione; mediante osservazioni con una telecamera si è accertato che essa è aperta, e riempita di materiale frantumato. Si ritiene che la discontinuità sia stata causata dall'esplosione, in corrispondenza di un piano preesistente ricco di inclusioni pumicee. Un'analisi dello stato di sforzo nell'intorno della cavità è stata condotta sulla sezione di massima altezza (sezione A-A di fig. 12). L'analisi è stata eseguita in tre fasi: 1) valutazione dello stato tensionale iniziale, con ko = 0,5; 2) scavo della galleria Romana; 3) apertura della cavità di esplosione.. I risultati ottenuti mostrano che globalmente, la cavità risulta stabile ma denunziano significativi problemi di instabilità locale in calotta. La Grotta di Cocceio è perfettamente percorribile, e consente una straordinaria passeggiata dal lago d'Averno a Cuma; tutta-

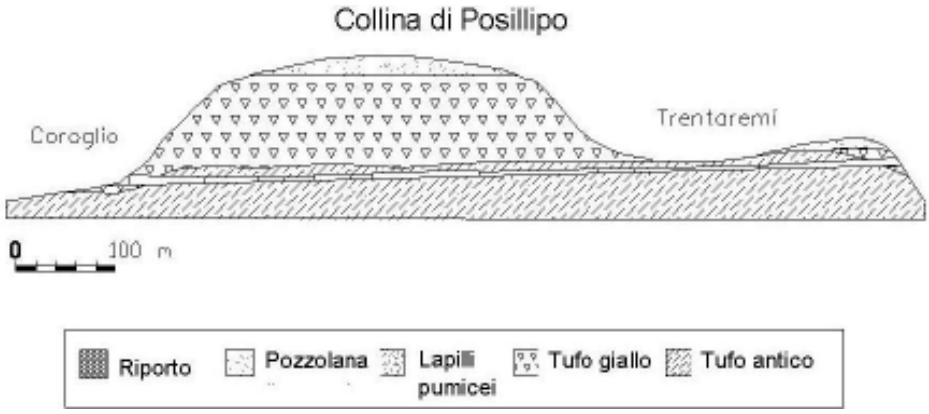


Fig. 12. Profilo longitudinale della Grotta di Seiano

via attualmente essa è chiusa al pubblico, per il rischio di distacco e crollo di blocchi nella cavità centrale. Anche a seguito delle analisi qui brevemente illustrate, la Soprintendenza Archeologica ha in progetto la riapertura della galleria, o con il riempimento della cavità, seguito dal ripristino della continuità della galleria Romana con la sua sezione, o dopo la creazione di una protezione passiva per i visitatori all'interno della cavità di esplosione.

5. *La Grotta di Seiano*

Il suo nome si riferisce a Seiano, ministro dell'imperatore Tiberio, che allargò e sistemò la galleria circa cinquant'anni dopo la sua costruzione. La galleria attraversa l'estremità sud orientale della collina di Posillipo (fig. 12); si ritiene che fosse la principale via d'accesso al famoso *Pausilypon*, una villa appartenente a Vedio Pollione e da questi donata all'imperatore Augusto. Il nome deriva dal Greco antico, e significa "libero da sofferenze"; esso è all'origine dell'attuale nome (Posillipo) della zona. Per la ventilazione e l'illuminazione la galleria ha tre finestre laterali, che si aprono sull'incantevole insenatura di Trentaremi. Probabilmente la funzione principale delle finestre è l'areazione, perché la terza di esse non è rettilinea e quindi non illumina l'interno della galleria principale; inoltre vi sono infiltrazioni di gas venefici, e quindi la ventilazione è particolarmente importante. La parte orientale della Grotta di Seiano è scavata in un tufo di buona qualità, ed è priva di rivestimento per una lunghezza di 144 m. La parte rimanente attraversa invece una pozzolana debolmente cementata o un tufo di caratteristiche molto scadenti; quivi le pareti sono rivestite da muratura in *opus incertum* e *opus reticolatum*, dello spessore di circa mezzo metro, e la volta è rivestita di calcestruzzo (*opus cementicium*) con uno spessore variabile fra 0,5 e 0,8 m. La Grotta di Seiano è stata riscoperta solo nel 1840. A quell'epoca ambedue gli ingressi erano coperti da

detriti di frana, e la galleria era accessibile solo attraverso una delle finestre di ventilazione. All'interno vi erano stati numerosi crolli della volta, ed anche le altre due finestre erano completamente occluse. Il re Ferdinando II di Borbone si impegnò personalmente nella riapertura dell'antica galleria, ed affidò i relativi lavori ad Ambrogio Mendia, matematico ed ingegnere, che più tardi sarebbe diventato Preside della Facoltà di Ingegneria di Napoli, allora Scuola di Applicazione di Ponti e Strade. Mendia trovò ben dieci grandi collassi all'interno della galleria, che furono rimossi e sistemati malgrado le difficoltà connesse ai gas venefici (Lancellotti, 1840). Il rivestimento in muratura fu rinforzato per un tratto di oltre 250 m, ed in altri tratti il rivestimento originale venne rinforzato con archi in muratura, in numero di 61. Nei tratti rinforzati, la luce libera della galleria si riduce a soli 2,6 m. Dopo i lavori ottocenteschi, la Grotta di Seiano è perfettamente agibile, ed attualmente fa parte del grande parco archeologico di Posillipo insieme ai resti del *Pausilypon*.

Bibliografia

AZIMONTI C.I. (1932) *Galleria*. In: EI, XVI, 290-300, Roma

CASTELLANI V., DRAGONI W. (1991) *Opere arcaiche per il controllo del territorio: gli emissari sotterranei artificiali dei laghi albani*. In: *Gli Etruschi*, Roma, 46-60

CHIERICI G. (1929) *Il consolidamento della tomba di Virgilio*. Bollettino d'Arte del Ministero della Pubblica Istruzione, Casa Editrice d'Arte Sestetti e Tumminelli, Roma. Anno IX, n. 1, 438-455

GROS P. (1983) *Status socia le et rôle culturel des architectes (période hellenistique et augustéenne)*. In: *Architecture et Societé*, 425-452

LANCELLOTTI L. (1840) *Sullo scavo della Grotta di Seiano e sulla nuova strada di Coroglio: cenno artistico e letterario*. Napoli

LEVI C. (1949) *Trattato teorico e pratico di costruzioni civili, rurali, stradali e idrauliche*. Milano

SCHERILLO G. (1844) *Dell'area di Baia a tempo dei Romani e di una meravigliosa spelonca nuovamente scoperta nelle vicinanze di Cuma*. Discorsi due, Napoli

SCHERILLO G. (1858) *A qual uso sia servita in origine la Grotta di Seiano)*. Dissertazioni due in Napoli, Atti della Real Accademia Ercolanense, IX, 309 e segg.

STABILINI G. (1886) *Costruzione delle gallerie*. Bologna

STABILINI L. (1949) *Costruzioni stradali e ferroviarie*. Milano

Francesca R. d'Ambrosio, Antonello Chidichimo, Ferdinando Sorrentino

Sulla termotecnica in epoca romana

Introduzione

Gli impianti termali romani costituiscono il primo grande esempio di applicazione della termotecnica conosciuto nell'antichità. Ispirandosi ai fenomeni naturali tipici dei Campi Flegrei, dove l'attività vulcanica comporta da sempre la presenza di fumarole e di sorgenti di acqua calda, i Romani intuirono la possibilità di riscaldare gli ambienti con un ingegnoso sistema che è ancora oggi utilizzato.

L'evoluzione degli impianti termali

A partire dal III secolo a.C., sull'esempio della Grecia, nelle case dei ricchi romani cominciarono ad apparire i primi bagni, le lavatrinae o latrinae (Saglio, 1877; Sgobbo, 1928; Carcopino, 1939). Si trattava essenzialmente (Staccioli, 1990) di locali angusti, poco aerati e illuminati, dotati di una panca e di una tinozza, in cui ci si lavava quotidianamente braccia e gambe e, ogni nove giorni, in occasione del mercato, tutto il corpo (Curti, 1873; Saglio, 1877); erano posti vicino alla cucina, della quale utilizzavano il focolare per scaldare l'acqua, oltre alle eventuali canalizzazioni di scarico. Col passare del tempo, il termine latrina passò ad indicare (Thédenat, 1896a), l'insieme bagno-scarico d'acqua, per poi arrivare, con la definitiva affermazione dei bagni pubblici, ad indicare solo lo scarico; nelle abitazioni private dei ricchi fu sostituita da bagni ampi, ben illuminati e riscaldati (Brando e Contiero, 1993).

I primi bagni pubblici furono aperti solo a cavallo tra il III e il II secolo a.C., quando le remore legate al fatto di bagnarsi in pubblico furono superate dal desiderio di igiene e pulizia. Secondo quanto riportato da Varrone (Curti, 1873; Carcopino, 1939, Nielsen, 1985), per indicare il bagno privato si utilizzava il termine balneum, al singolare, mentre i bagni pubblici presero il nome di balneae, al plurale forse perché erano divisi in due sezioni, maschile e femminile. In età imperiale, sempre secondo quanto riferito da Varrone (Nielsen, 1985), anche i bagni pubblici venivano chiamati al singolare, balneum. Secondo altri Autori (Curti, 1873; Saglio, 1877) i bagni pubblici erano indicati con il termine balnearia.

Inizialmente piccoli, poco confortevoli, riscaldati con bracieri (Staccioli, 1990), con una sezione maschile ed una femminile (Saglio, 1877), i bagni pubblici si svilupparono rapidamente poiché offrivano a tutti la possibilità di prendere un bagno caldo con una modica spesa; in alcuni casi essi vennero fatti costruire da benefattori (Carcopino, 1939), che ne traevano un ritorno in termini di popolarità; in altri casi, invece, furono fatti erigere da imprenditori che ne ricavavano un utile economico. Era-

no formati da tre locali: il *caldarium* (ad alta temperatura), il *tepidarium* (a temperatura media), il *frigidarium* (a bassa temperatura), ricordando in questo non solo il ginnasio greco, come si è visto, ma anche i bagni della Turchia (Gell, 1832).

Nel 33 a.C., secondo quanto riferito da Plinio (Nielsen, 1985), a Roma si trovavano 170 bagni pubblici; Agrippa, genero di Augusto, che in quanto in carica come edile era incaricato della sorveglianza e della manutenzione di questi, se ne accollò personalmente le spese di ingresso, che quell'anno divenne quindi gratuito (Carcopino, 1939; Staccioli, 1990).

Tra il 25 e il 19 a.C., Agrippa fece costruire a proprie spese nel Campo Marzio dei bagni che presero il suo nome e per i quali volle che l'ingresso fosse per sempre gratuito. Questi bagni rappresentarono un'innovazione nello sviluppo di queste strutture, in quanto in essi venne introdotto (Staccioli, 1990) il *laconicum*, locale riscaldato destinato alla sauna. I bagni di Agrippa, dei quali purtroppo non possiamo ammirare se non pochi ruderi, furono i primi a prendere il nome di *terme*, dal greco θερμαι, sorgenti calde. Le terme rappresentano quindi la fusione dell'impianto balneare, il balneum, con quello sportivo di derivazione greca.

A partire dal 19 a.C., quindi, i bagni pubblici presero definitivamente il nome di terme (Yegül, 1979) e la loro struttura si arricchì di sempre nuovi elementi volti ad aumentare il comfort degli utenti; il complesso termale comprendeva non più solo i bagni veri e propri, ma anche una piscina, sale di ristoro, negozi, saloni, palestre, spacci, locali per l'acquisto di cibi e bevande, locali per massaggi, e un porticato (Staccioli, 1990). Le terme diventarono quindi luoghi di relazioni sociali, in cui trascorrere piacevolmente il tempo facendo attività fisica, bagnandosi, discutendo di affari, politica e cultura: veri e propri punti di aggregazione della popolazione; nelle terme imperiali era anche possibile ascoltare conferenze e concerti, assistere a spettacoli teatrali, trattenersi nelle biblioteche o passeggiare in ampi giardini. La costruzione delle terme rappresentò spesso un veicolo di propaganda politica, abbondantemente sfruttato in età imperiale sia a Roma che ai confini dell'Impero; molto spesso i privati affiancarono la pubblica ammini-strazione nella costruzione delle terme, la cosiddetta *beneficentia*, ricavandone grandi vantaggi a livello di popolarità e prestigio. La beneficentia, oltre che nella costruzione, si manifestava anche in altre forme (Pasquinucci, 1993a), quali la concessione dell'ingresso gratuito o la fornitura di materiale utile alla conduzione dell'impianto (per esempio legno per le caldaie, profumi e unguenti, olio, arredi).

In tal modo le terme assunsero un aspetto sempre più grandioso e furono sempre più dotate di arredi importanti e costosi: Plinio riferisce (Breton, 1855; Curti, 1873) che nella sezione femminile delle terme del Palatino erano utilizzati mobili in argento, e Seneca paragona, non senza ironia, la semplice la-

trina in cui Scipione, eroe di Cartagine, si lavava, con le sontuose terme sorte nei secoli successivi. Va poi ricordato che molti capolavori dell'arte romana a noi pervenuti si trovavano in origine nelle terme, delle quali costituivano un ornamento: per tutti basti citare il Toro Farnese, proveniente dalle Terme di Caracalla a Roma e il gruppo del Laocoonte, che si trovava nelle Terme di Traiano, sempre a Roma.

Gli ambienti destinati esclusivamente al bagno erano:

- l'*apodyterium*, non riscaldato e caratterizzato da panche in muratura o legno per sedersi e da nicchie per riporre abiti e oggetti;
- il *frigidarium*, caratterizzato da bassa temperatura, in cui si trovava una vasca di acqua fredda per bagni ad immersione;
- il *tepidarium*, a temperatura media, aveva la funzione di evitare agli utenti dei bagni lo stress termico legato al brusco passaggio tra due locali a temperature molto diverse tra loro, quali il caldarium ed il frigidarium;
- il *caldarium*, caratterizzato da alta temperatura, dotato di vasca di acqua calda per i bagni ad immersione, l'*alveus*, e di fontane per docce ed aspersioni;
- il *laconicum*, presente solo in alcuni stabilimenti, destinato alla sauna secca;
- il *sudatorium*, anch'esso non sempre presente, destinato alla sauna umida; il vapor d'acqua veniva immesso secondo tecniche ancora sconosciute, salvo che nel caso di Baia, dove però i vapori erano endogeni.

Le Terme in campania

In Campania, l'influenza della cultura e dei costumi greci, dovuta essenzialmente alla presenza di colonie dell'importanza di Cuma e Napoli, aveva determinato prima che altrove la costruzione di impianti in cui, accanto agli ambienti dedicati ai bagni erano presenti anche quelli dedicati allo sport; con il passare del tempo, l'importanza e le dimensioni della zona dedicata all'impianto sportivo andarono diminuendo, anche perché, contrariamente a quanto avveniva in Grecia, a Roma lo sport rappresentava un fatto quasi puramente ludico.

In particolare, nella zona flegrea, che era ed è ricca di manifestazioni vulcaniche, già nel II sec. a.C. le fumarole venivano utilizzate per riscaldare ambienti scavati nella roccia vulcanica. Nei primi anni del I secolo a.C., grazie alla forte affluenza di pubblico ed alla necessità, dettata dalle nuove scoperte in campo medico, di alternare al bagno caldo quello freddo (Sgobbo, 1977), agli ambienti scavati nella roccia se ne aggiunsero degli altri, fino ad ottenere imponenti complessi, come quello presente nel palazzo imperiale di Baia e mostrato in figura 1, nei quali gli ambienti venivano riscaldati facendo passare i vapori endogeni dovuti alle fumarole nell'intercapedine di pareti e pavimenti. Grande importanza ebbe anche lo sfruttamento delle sorgenti di acqua idrominerale, dalle proprietà terapeutiche (Vaggioli, 1993).

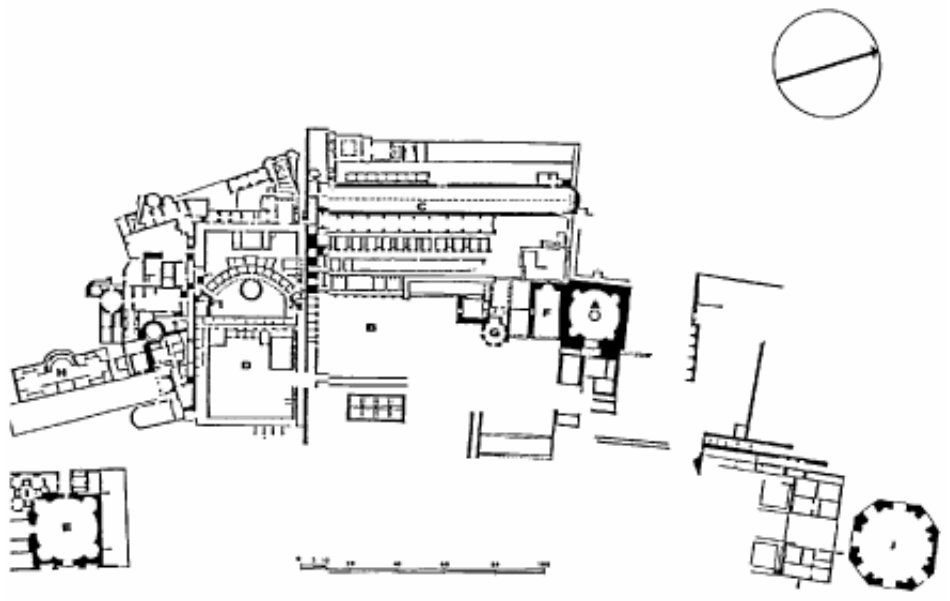


Fig. 1 – Pianta delle Terme di Baia (da Vaggioli, 1993)

A: "Tempio" di Mercurio (probabilmente un laconicum o una natatio).
B: "Terme inferiori"
C: "Terme dalle terrazze"
D: "Terme di Sosandra"
E: "Tempio" di Venere (ninfeo o salone di ingresso)
F: Tepidarium
G: Ninfeo
H: Sala absidata
I: Caldarium
I: Caldarium
J: "Tempio" di Diana

A Pompei il primo impianto termale sorse tra la fine del V e l'inizio del IV secolo a.C. nella zona più frequentata della città, a breve distanza dal quartiere dei teatri.

Questo primitivo complesso, che si avvaleva di una serie di piccoli ambienti con vasca e una latrina, serviti da un pozzo, annessi a una palestra di planimetria trapezoidale, nel II secolo a.C. fu inglobato nel primo vero impianto balneare, le Terme Stabiane. In questo periodo, l'aria negli ambienti veniva riscaldata con bracieri nei quali veniva fatta ardere legna acapna.

Intorno all'80 a.C. Lucio Sergio Orata, imprenditore flegreo, ispirandosi a quanto succedeva nella sua terra, importò a Pompei una nuova tecnica di riscaldamento che sfruttava l'energia termica ed i fumi prodotti da una fornace rispettivamente per produrre l'acqua calda sanitaria e per riscaldare l'aria negli ambienti.

Impianto di riscaldamento degli ambienti

- La struttura del solaio

Al di sotto del pavimento veniva realizzata un'intercapedine, l'*hypocaustum*, in cui venivano convogliati i fumi caldi provenienti da una fornace a legna, l'*hypocausis*; in tal modo, secondo quanto accadeva nelle terme flegree, il pavimento si riscaldava e per convezione riscaldava a sua volta l'aria nell'ambiente. Il sistema era costituito da due solai, uno inferiore ed uno superiore, la *suspensura*, appoggiato su pilastrini di mattoni, le *pilae*, che a loro volta poggiavano sul solaio inferiore, come mostrato in figura 3.



Fig. 2 – Bocca del forno



Fig. 3 – Pilae con suspensura

Le pilae erano alte circa 60÷80 cm; sempre secondo le indicazioni di Vitruvio, dovevano essere costruite con mattoni di dimensioni pari a 19,7 x 19,7 cm, i cosiddetti *lateres bessales*, legati con malta refrattaria, sui quali venivano posti dei mattoni quadrati di lato pari a 59,2 cm, i *lateres bipedale*s, ben visibili in figura 3. In realtà, si sono trovate pilae costruite con i materiali più diversi e nelle forme più svariate, talvolta costituite da colonnine vuote e con fori sulle facce; talvolta addirittura non ci sono le pilae e la suspensura è fissata nella parete; in alcuni casi, come nelle Terme Repubblicane a Pompei, le pilae sono sostituite da muretti o canali sotterranei. Secondo alcuni studiosi le suspensurae sarebbero state ideate in Grecia al più tardi nel II secolo a.C. e Orata avrebbe solo introdotto il sistema di riscaldamento a vapore sfruttato nei laconica; secondo altri Orata sarebbe stato l'ideatore di questo sistema di riscaldamento, utilizzato per la prima volta a Pompei.

I mattoni bipedali costituivano il primo strato della suspensura; su di essi veniva realizzato uno strato di argilla e quindi uno spesso strato di un cemento contenente mattoni frantumati in pezzi minuti; infine, un massetto serviva a legare i pezzetti di marmo del pavimento a mosaico; il considerevole spessore di tutto il solaio (25÷30 cm) conferiva al sistema un'elevata capacità termica. Tra suspensura e pilae potevano essere inserite delle lastre metalliche, di piombo o rame e, stando alla testimonianza di Plinio il Vecchio, talvolta d'argento, che avevano il compito di bloccare il pas-

saggio di sostanze tossiche eventualmente presenti nei fumi.La struttura della parete verticale

Inizialmente la parete verticale era una comune parete portante; alla fine del I secolo a.C. venne introdotta la *concameratio*, che consisteva in un'intercapedine compresa tra la struttura muraria costituente la parete portante ed una controparete distanziata dalla prima di pochi centimetri. Tale intercapedine, realizzata su tutte le pareti verticali, si arrestava, generalmente, ad una certa altezza, e, in alcuni casi, proseguiva fino alla chiave della volta di copertura dell'ambiente in modo da inviluppare completamente il locale riscaldato, isolandolo perfettamente dall'esterno. La superficie della controparete veniva poi ricoperta con uno strato di intonaco di spessore da 2 a 6 cm.

Per la realizzazione dell'intercapedine si adoperavano mattoni con peduncoli. In figura 4 è riportato un esempio di *tegula mammata*, così detta per i quattro peduncoli distanziatori attraverso i quali si faceva passare un chiodo a T oppure un chiodo passante; questo sistema, che presentava problemi di stabilità, oltre che di fissaggio sulle murature compatte, fu sostituito, nella prima metà del I sec. a.C., dai *tubuli*, mattoni cavi a sezione rettangolare; venivano posizionati uno sull'altro, con il tubulo più basso che poggiava da una parte su una pila e dall'altra su una sporgenza creata nella muratura come mostrato in figura 5, e fissati al muro con della malta, talvolta ancorati anche con chiodi a T, in modo da costituire una serie di canne fumarie parallele che si arrestavano allo spaccato della volta di copertura. In alcuni casi (Adam, 1984) i tubuli erano dotati di fori laterali, in modo che il fumo potesse passare da uno all'altro.



Fig. 4 – Tegulae mammatae

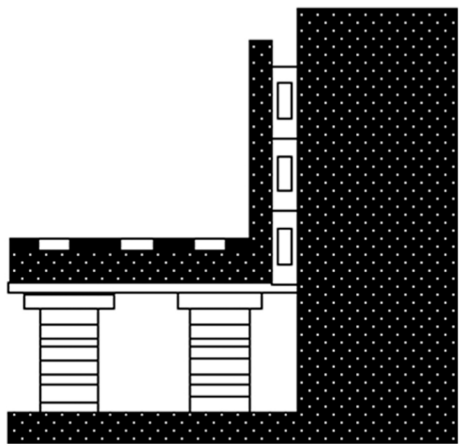


Fig. 5 – Sezione di concameratio con tubuli (da Thédenat, 1896, modificata)

L'intercapedine attraversata da aria calda cedeva energia termica all'ambiente interno aumentando la temperatura superficiale delle pareti e quindi evitava il rischio di formazione di condensa superficiale nell'ambiente, e aumentava la temperatura media radiante (d'Ambrosio e Jorio, 1995).

- Il percorso dei fumi

Il forno di alimentazione, *hypocausis*, fu posto inizialmente al di sotto del locale da riscaldare, con l'ovvio inconveniente che si riusciva a riscaldare un solo ambiente; la stanzetta davanti alla bocca dell'hypocausis, *praefurnium*, era utilizzata dal *fornacator* per sorvegliare il fuoco e rifornire il legno (Gallo, 1991; Thédenat, 1896b).

L'hypocausis, cui si accedeva da un corridoio di servizio, aveva l'imboccatura ad arco o rettangolare, più larga che alta, con l'architrave in pietra, spesso prolungata verso l'esterno; era circolare o rettangolare e le pareti erano realizzate in materiale refrattario. Con l'introduzione dell'hypocaustum, il forno fu posto lateralmente all'intercapedine cui era direttamente collegato. Un forno poteva servire l'hypocaustum di uno o più locali, eventualmente riscaldando anche l'acqua calda sanitaria; in alcuni casi per l'impianto di riscaldamento e per l'acqua calda erano previsti forni diversi; talvolta uno stesso ambiente era riscaldato da più forni.

I fumi caldi della combustione uscivano dal praefurnium attraverso una o più aperture rettangolari, ognuna delle quali dava accesso a canali a volta, di larghezza pari a circa un quarto (da un terzo a un quinto) e lunghezza uguale a circa una volta e mezza rispetto a quelle del fornello (Thédenat, 1896b); una volta attraversato l'hypocaustum del caldarium, in parte passavano nella concameratio del caldarium ed in parte, attraverso opportune bocche aperte nella struttura muraria di separazione dei due ambienti, nell'hypocaustum del tepidarium; quindi, uscivano all'e-sterno attraverso degli sfiatatoi.

Se l'impianto prevedeva due sezioni, una maschile ed una femminile, queste erano generalmente disposte simmetricamente rispetto al praefurnium, in modo da sfruttare un'unica fornace per ambedue le sezioni.

- La regolazione dell'impianto

Il sistema di regolazione più semplice era quello di variare l'apertura del *lumen*, l'apertura praticata nella volta del caldarium, mostrata in figura 6; in alternativa ed in maniera leggermente più complessa, si poteva (Jorio, 1981) aerare l'ambiente mediante un condotto verticale posto nella muratura, generalmente presso la porta di comunicazione tra tepidarium e caldarium. Questo condotto, che metteva in comunicazione l'hypocaustum con l'esterno, poteva essere aperto o chiuso semplicemente spostando un mattone e quindi aprendo o chiudendo la comunicazione hypocaustum-concameratio; per esempio, quando il mattone veniva messo a chiusura del condotto, si interrompeva il flusso dei fumi caldi provenienti dall'hypocaustum e si metteva in comu-

nicazione il caldarium con l'esterno attraverso la restante parte del condotto di aspirazione. In impianti più semplici la regolazione era effettuata agendo semplicemente sul portello del praefurnium in modo da regolare la combustione con un sistema del tipo di quello mostrato in figura 7.

In certi casi, poi, si faceva circolare nell'hypocaustum, a fuoco spento, aria esterna che si scaldava, sfruttando l'energia termica che si era abbondamente accumulata nella struttura grazie alla elevata capacità termica di quest'ultima, e andava comunque a riscaldare a sua volta il pavimento.



Figura 6 - Lumen posto sul labrum del caldarium delle Terme del Foro a Pompei



Figura 7 - Portello posizionato davanti alla bocca dell'hypocausis delle Terme Suburbane a Pompei

In alcuni casi era previsto anche un sistema di regolazione della temperatura nel tepidarium; nelle Terme del Foro a Pompei, ad esempio, nella parete di separazione tra l'hypocaustum del caldarium e quello del tepidarium, sono stati rinvenuti (Jorio, 1992) due fori di passaggio dell'aria calda, uno rettangolare e l'altro triangolare; regolando opportunamente la sezione di passaggio dell'aria, forse con paratie, si riusciva a regolare la temperatura nel tepidarium.

In certi casi, poi, si faceva circolare nell'hypocaustum, a fuoco spento, aria esterna che si scaldava, sfruttando l'energia termica che si era abbondamente accumulata nella struttura grazie alla elevata capacità termica di quest'ultima, e andava comunque a riscaldare a sua volta il pavimento.

- Produzione dell'acqua calda sanitaria

La caldaia per la produzione di acqua calda sanitaria, l' *ahena*, di forma cilindrica, era in bronzo e talvolta in piombo nella parte superiore; si trovava sopra il focolare, in appositi alloggiamenti. In genere le caldaie erano due o anche tre, tra loro collegate in modo che man mano che la caldaia più vicina alla fiamma, e che quindi conteneva acqua a temperatura più elevata, si svuotava, veniva riempita con l'acqua meno calda proveniente dalla caldaia adiacente, il tutto con notevole risparmio energetico e di tempo per il riscaldamento. Le caldaie erano collegate con tubazio-

ni di piombo, le *fistulae*; un opportuno gioco di valvole permetteva l'utilizzazione di acqua a temperature diverse a seconda della richiesta.

Spesso, per evitare che l'acqua calda contenuta nella vasca del caldarium si raffreddasse, si realizzava intorno alla vasca una concameratio con hypocaustum, collegata direttamente ad un hypocaustum esterno. Inoltre, talvolta nel pavimento della vasca veniva incastrato un recipiente semicilindrico di bronzo a forma di tartaruga, la *testudo* (*alvei*), con apertura nella vasca, nel quale il pelo libero dell'acqua si trovava in corrispondenza della metà inferiore della vasca e comunque al di sotto del pelo libero nella vasca; la testudo era riscaldata in modo che si realizzassero moti convettivi dovuti alla differenza tra la densità dell'acqua calda della testudo e quella dell'acqua più fredda nella vasca e quindi che l'acqua riscaldata nella testudo passasse nell'alveus, mentre l'acqua raffreddata nell'alveus tornasse alla testudo.

Le Terme Suburbane a Pompei

Le Terme Suburbane sono state completamente riportate alla luce solo negli anni '90; sono caratterizzate dalla presenza di un'unica sezione di bagni, dalla disposizione assiale degli ambienti balneari, situati lungo un unico fronte,

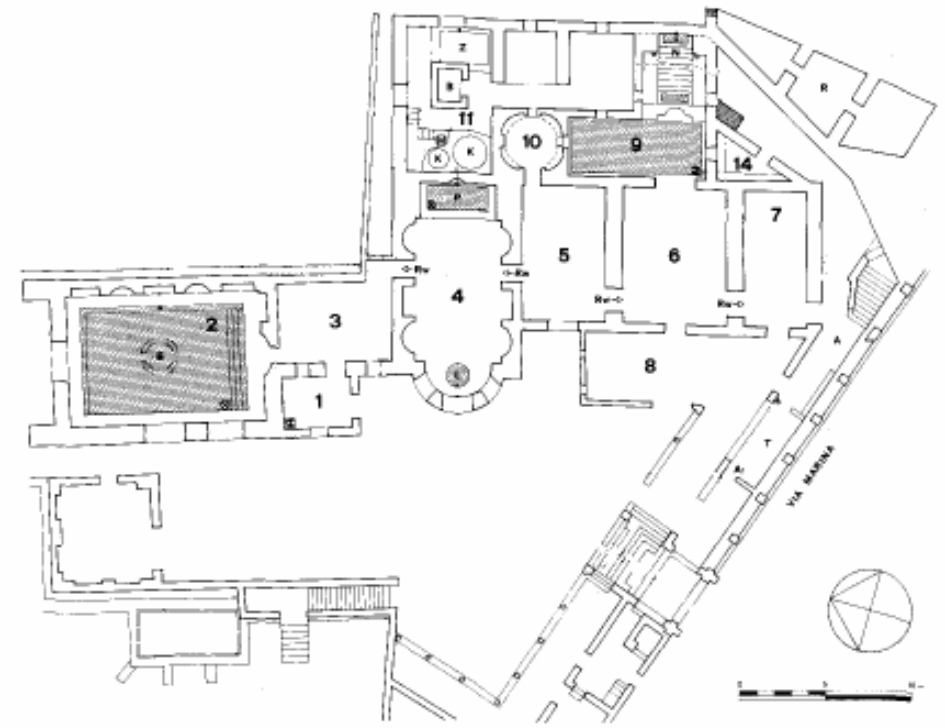


Fig. 8 – Planimetria delle Terme Suburbane a Pompei

e dalla sistemazione dei locali destinati ai servizi alle spalle degli ambienti termali e paralleli a questi (Jacobelli, 1985).

Sulla planimetria riportata in Figura 8, è possibile individuare gli ambienti che appartengono alla prima fase della costruzione: l'ambiente 7, con funzione di apodyterium-frigidarium, l'ambiente 6 con funzione di tepidarium, chiuso verso l'esterno, e l'attiguo ambiente 5, con funzione di caldarium; il retrostante ambiente 11 fungeva da praefurnium.

Al momento dell'eruzione erano in corso i lavori di riparazione dei danni dovuti al terremoto del 62 d.C., che avevano visto, tra l'altro, il cambiamento di destinazione d'uso del locale 6, che assunse funzioni di frigidarium. L'ambiente 9, concepito strutturalmente come pozzo di luce al servizio di tutto l'edificio, venne adibito a natatio fredda,. L'apodyterium perse ovviamente la funzione di frigidarium.

La zona dei servizi e degli impianti di riscaldamento si sviluppa alle spalle delle sale termali; ad essa si accede attraverso uno stretto corridoio che inizia nel punto ove si raccordano i percorsi interni all'edificio, tra la fine del corridoio principale, la scala che porta al piano superiore e l'ingresso laterale dell'apodyterium.

Superata la latrina 14, di forma triangolare, si giunge nell'ambiente 11, al centro del quale è un pozzo che alimentava le grosse cisterne individuate nell'angolo sud-est dell'edificio. Il praefurnium propriamente detto consta di due settori, in uno dei quali sono situate le due caldaie con rivestimento esterno in laterizio e scalette laterali in muratura laterali; a sud-ovest si trova un piccolo forno che alimentava il laconicum e la cui bocca è stata ritrovata ancora sigillata con una tegola mammata contro la quale poggiava, per ottenere una maggiore adesione, una grossa pala da carbone in ferro, come mostrato in Figura 7.

In Figura 9 è riportata una sezione tridimensionale del vano caldaia e di una parte del caldarium, quella contenente l'alveus (Chidichimo e Sorrentino, 2005).

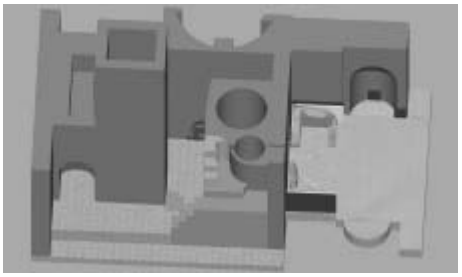


Fig. 9 – Sezione 3-D del caldarium e del vano caldaie delle Terme Suburbane a Pompei

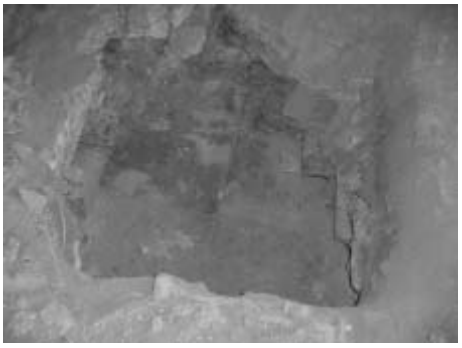


Fig. 10 – Saggio di scavo nel caldarium delle Terme Suburbane

Un'anomalia nelle terme suburbane a Pompei

Accedendo al caldarium dal tepidarium si nota sulla sinistra, in prossimità di una nicchia della parete sud-est del locale, il saggio di scavo mostrato in Figura 10, ben illuminato dai tre grandi finestroni del locale, che venne realizzato per verificare l'effettiva condizione della sottopavimentazione dell'hypocaustum.

Il saggio interessa una superficie di circa 4 m^2, con una profondità di circa un metro e si arresta in corrispondenza del primo livello di pavimento, quello dell'hypocaustum, costituito da grosse tegole sesquipedali di dimensioni 60x60 cm leggermente inclinato. Dalla Foto in Figura 11, che mostra la stratigrafia dello scavo, risultano visibili, anche se con difficoltà, tre strati di diverso materiale dello spessore complessivo di circa 80 cm; secondo la dottoressa Jacobelli, che ha coordinato la campagna di scavi, il primo strato a partire dall'alto, che è comune a tutto l'ambiente, è rappresentato da cenere e lapillo, mentre gli altri due costituiscono quello che doveva essere l'antica suspensura. Sul lato nord del saggio si notano delle pilae di piccola altezza, pari a circa 16 cm, sui quali poggiavano dei mattoni bipedali di cui è presente ancora qualche traccia, come mostrato in Figura 12; di particolare rilievo è una pila che sostiene una colonnina di forma cilindrica, di altezza pari a 39 cm e di diametro 11 cm, in parte frantumata, riportata in Figura 13.



Fig. 12 – Particolare del saggio di scavo: in basso la pavimentazione del primo livello con due pilae e il solaio della suspensura; sullo sfondo, a destra, un'altra pila ad altezza completamente diversa da quella delle altre due

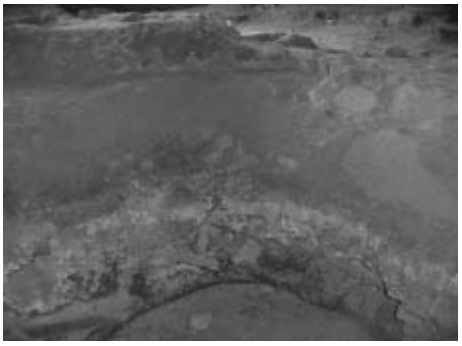


Fig. 11 – Stratigrafia del saggio di scavo

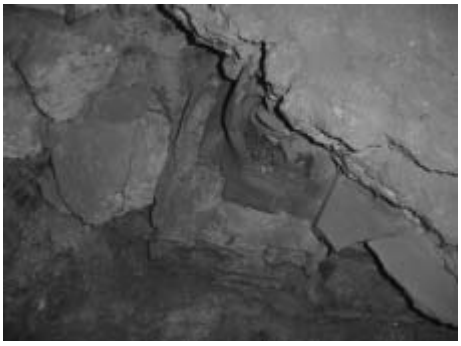


Figura 13 – Colonnina cilindrica frantumata su pila posta nello scavo

In corrispondenza della nicchia adiacente a quella del saggio risultano evidenti, grazie ad un cedimento della pavimentazione, una prima pila, sullo sfondo a destra in Figura 12, che arriva ad un'altezza pari a quella del pavimento attuale, quindi nettamente superiore a quella delle pilae ritrovate nello scavo, ed una seconda, più piccola, sulla quale è posta una colonnina di forma cilindrica, in Figura 13.

In definitiva, l'hypocaustum del calidarium delle Terme Suburbane di Pompei presenta aspetti poco comprensibili, che neanche i lunghi colloqui con l'archeologa che ha coordinato lo scavo sono riusciti a chiarire: pilae di altezza differente, poste a circa un metro di distanza l'una dall'altra, non potevano sorreggere la stessa suspensura; la presenza di pilae alte 16 cm sovrastate da uno spesso strato di materiale, precedentemente descritto, mette fortemente in discussione il corretto funzionamento del sistema di riscaldamento: come potevano i fumi caldi cedere alla suspensura una quantità sufficiente di energia termica tale da riscaldare l'intero locale, considerando l'hypocaustum di dimensioni ridotte rapportato allo spessore della suspensura? Perché posizionare un tubulo sopra una pila di mattoni bessali?

A queste domande non è possibile attualmente rispondere, in quanto sarebbe necessario allargare il saggio, cosa che, forse, all'epoca dello scavo sarebbe stata facile ma che oggi comporterebbe una serie di problemi, non ultimo quello economico dovuto alla mancanza di fondi.

Conclusioni

La tecnica utilizzata negli impianti termali romani era molto avanzata; addirittura è possibile dire che gli attuali sistemi di riscaldamento a pavimento non sono altro che l'evoluzione di ciò che Sergio Orata aveva realizzato.

Sarebbe di estremo interesse poter continuare ad indagare su terme che presentano problematiche particolari, quali le Suburbane di Pompei, o su grandi impianti, quali quello di Caracalla, per poter meglio comprendere il funzionamento termo-fluidodinamico dell'impianto; purtroppo, la cronica mancanza di fondi impedisce nuovi scavi.

Bibliografia

Adam J.P. 1984. *La construction romaine. Materiaux et techniques*. Paris: Grands Manuels Picard.

Brando M., Contiero G., 1993. *Gli ambienti: la latrina*. In: *Terme romane e vita quotidiana*, 66-67. Modena: Franco Cosimo Panini Editore.

Breton E., 1855. *Thermes*. In: *Pompeia*, 137-151. Parigi: Gide et J. Baudry Editeurs.

Carcopino J. 1939. *La vie quotidienne à Rome à l'apogée de l'empire*. 2ème edition. Paris: Hachette.

Chidichimo A., Sorrentino F. 2005. *Aspetti termotecnici delle terme suburbane a Pompei*. Tesi di laurea, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Salerno.

Curti P.A. 1873. *Le Terme*. In: *Pompei e le sue rovine*, cap XV, 183-230. Milano: F. Sanvito Editore, Napoli: Detken e Rocholl.

d'Ambrosio F.R., Jorio A. 1995. *The Thermae in Pompei*. ASHRAE Centennial. January; pubblicato in italiano su: *Condizionamento dell'aria*, XXXIX(6), 634-643.

GALLO P. 1991. *Terme e bagni in Pompei antico*. Pompei: Tip. F.sco Sicignano.

GELL W., 1832. *Thermae excavated in 1824. Pompeiana: Topography, edifices and ornaments of Pompeii, the result of excavations since 1819*, 1, ch.6, 83-130. London: Jennings and Chaplin.

JACOBELLI L., 1988. *Terme Suburbane: stato attuale delle conoscenze*, RSt Pomp II 202-8.

JORIO A., 1981. *Sistema di riscaldamento nelle antiche terme pompeiane*. Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Roma, 86, 167-189. Roma: "L'ERMA" di Bretschneider.

NIELSEN I. 1985. *Considerazioni sulle prime fasi dell'evoluzione dell'edificio termale romano*. Analecta Romana, 14, 81-112.

PASQUINUCCI M. 1993. *Combustibile e approvvigionamento idrico*. In: *Terme romane e vita quotidiana*, 45-47. Modena: Franco Cosimo Panini Editore.

SAGLIO E. 1877. Balneum, balneae. In: *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines* (Daremberg Ch., Saglio E. eds.). 648-664. Paris: Librarie Hachette et Cie.

SGOBBO I., 1928.*Terme flegree ed origine delle terme romane*. Atti del I congresso di Studi Romani, 186-194.

SGOBBO I., 1977. *Le origini dei templi baiani*. In: *I Campi Flegrei nell'Archeologia e nella Storia*,, 22-29. Atti dei Convegni Lincei. Roma: Accademia Nazionale dei Lincei.

SHEPHERD E.J. 1993a. *Gli ambienti: la sauna (laconicum; sudatio)*. In: *Terme romane e vita quotidiana*, 38-39. Modena: Franco Cosimo Panini Editore.

STACCIOLI R. A., 1990. *Le terme dei Romani. Archeo - attualità del passato*, 68, ottobre, 64-107.

STORTI S. 1993. *Gli ambienti*: L'*apodyterium*. In: *Terme romane e vita quotidiana*, 28-31. Modena: Franco Cosimo Panini Editore.

THÉDENAT H. 1896a. Latrina. In: *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines* (Daremberg Ch., Saglio E. eds.). 987-991. Paris: Librarie Hachette et Cie.

THÉDENAT H. 1896b. *Hypocausis, hypocaustum*. In: *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines* (Daremberg Ch., Saglio E. eds.). 345-350. Paris: Librarie Hachette et Cie.

VAGGIOLI M.A. 1993. *Bagni e acque salutari: le Terme di Baia*. In: *Terme romane e vita quotidiana*, 87-91. Modena: Franco Cosimo Panini Editore.

YEGÜL F.K., 1979. *The small city bath in classical antiquity and a reconstruction study of Lucian's "Baths of Hyppias"*. Archeologia Classica, 31, 108-131.

Carmine Ianniello

L'acustica degli auditorî: arte, scienza o mito? I tempi dei teatri greci e romani

1. Introduzione

Questa nota riporta una descrizione sintetica dell'attività dell'ingegno umano al tempo dei Greci e dei Romani volta alla realizzazione di luoghi che coinvolgono primariamente sia la comunicazione visiva sia quella acustica; questo, tramite la parola e la musica.

In generale, l'evoluzione degli edifici destinati alla rappresentazione è intrecciata strettamente con l'evoluzione delle società, della cultura e dell'architettura. Esistono tracce di pensiero che esprimono opinioni sui requisiti acustici desiderabili e sulla loro realizzazione formulate in varie epoche storiche, talvolta non scevre di ingenuità e stravaganza. Sostanzialmente, la fondazione ingegneristica moderna dell'acustica dei grandi auditorî può essere datata a poco più di un secolo addietro.

2. I teatri greci e romani

I teatri Greci e Romani sono un'eredità culturale dei Paesi mediterranei. Quelli conservati meglio sono famosi non solo per la loro identità architettonica ma anche per certe peculiarità della loro acustica. La parola greca che suona come *téatron* significa luogo per vedere piuttosto che per sentire. Di fatto, il primo teatro greco deve essere stato poco più di un'area marcata collocata ai piedi di un pendio collinare sul quale si disponevano gli spettatori per vedere l'azione in corso nell'area marcata: tale area è il precursore del palcoscenico. In seguito quest'area marcata è diventata l'*orchestra* circolare (*orchesis*: luogo per danzare) circondata per circa due terzi da distribuzioni circolari di sedili (Fig.1) che, in certe realizzazioni, potevano ospitare anche più di 15000 spettatori.

Dal punto di vista acustico non è difficile accettare l'idea che l'embrione dell'auditorium è l'insieme di un oratore e di un gruppo di ascoltatori disposti intorno, pressoché alla stessa quota dell'oratore. La consistenza del pubblico può spiegare la necessità di innalzare il livello sia dell'oratore sia degli ascoltatori più distanti mantenendo al minimo possibile la loro distanza dal centro dell'attenzione. Successivamente fu ag-

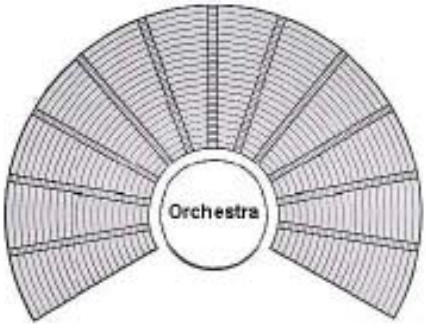


Fig. 1 – Forma schematica del teatro greco con l'orchestra circolare, con funzione di palcoscenico o di arena, e la distribuzione circolare di blocchi di sedili[1]

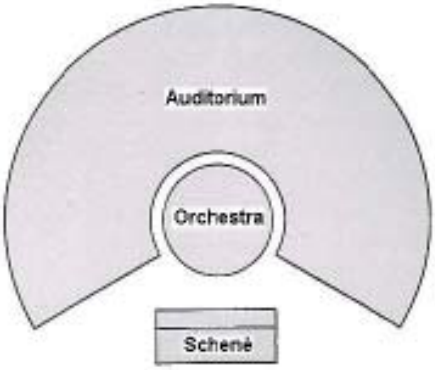


Fig. 2 – Forma schematica dei primi teatri greci con la schené costruita dietro l'orchestra[1]

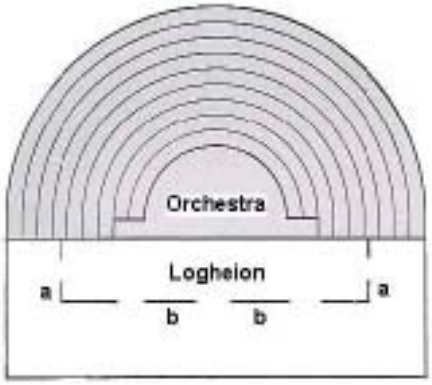


Fig .4 – Pianta dei teatri romani antichi con l'orchestra semicircolare, la distribuzione semicircolare di sedili ed il logheion[1]

giunta una piattaforma elevata dietro l'*orchestra* destinata nei primi tempi al montaggio di una tenda o di una baracca (*schené*) temporanea, per il cambio dei costumi, il riposo e la ricreazione degli attori.

Con il tempo la *schené* fu trasformata in una struttura edificata stabile: il *logheion* (luogo per parlare). Nel periodo ellenistico, a partire dal III secolo a.C., l'azione fu trasferita dall'*orchestra*, via via più in alto, verso il *proschenion*, un'area di palcoscenico tra l'*orchestra* e la *schené*. La ricostruzione in Fig. 3 mostra come poteva apparire un

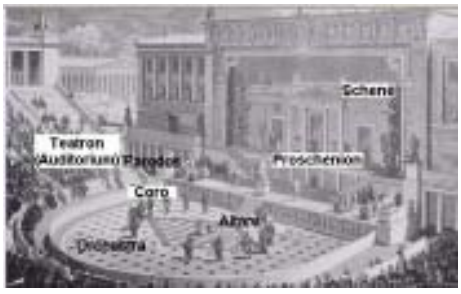


Fig. 3 – Ricostruzione della struttura tipica di un teatro greco del periodo tardoellenistico.

teatro del periodo tardo ellenistico. Il *logheion*, sviluppato in profondità ed altezza, portò anche alla forma di palcoscenico adottata per i primi teatri Romani, come schematizzato nella pianta in Fig. 4.

Salva qualche eccezione, il teatro Romano non era costruito in una cava nel fianco di una collina ma in piano fuori dal centro abitato come unità indipendente. L'*auditorium* (*cavea*) era costituito da una distribuzione semi-circolare di blocchi di sedili collegata direttamente alla struttura del palcoscenico. L'*orchestra* fu ridotta ad un semicerchio, o meno, integrato come parte dell'*auditorium*. La *schené* divenne una piattaforma ampia, ben elevata e confinata da superfici riflettenti, dietro (b-b nella Fig. 4) ed ai lati (a-a nella Fig. 4). Queste pareti erano molto articolate e con decori permanenti in rilievo di ogni tipo. In esse erano realizzati grandi portali, ad esempio due ai lati e tre nella parete posteriore. Il piano del palcosce-

nico elevato che, come oggi è noto, preserva la visione e l'integrità del suono diretto (il suono diretto subisce attenuazioni aggiuntive se si propaga in radenza alle teste degli ascoltatori), nonché la diffusione a banda larga del suono rinviato dalla molteplicità delle articolazioni delle superfici dure contribuivano all'acustica di questi luoghi positivamente. Come esempio, la Fig. 5 presenta una ricostruzione del teatro di Ostia come era nel 20 a.C.. Anche se differente in molti dettagli, questo teatro (il primo teatro permanente fu costruito a Roma nel 55 a.C.) denota la matrice del teatro ellenistico. Dietro l'*orchestra* semicircolare –riservata alle Autorità e non più allo spettacolo– si nota il palcoscenico per l'azione degli attori ed in alto un baldacchino a protezione del palcoscenico e, forse, con funzione di riflettore acustico. Innovazioni ulteriori furono le logge con le colonne che coronavano la cavea e gli ingressi degli spettatori attraverso i "*vomitoria*" collegati a gallerie e passaggi nelle fondazioni indipendenti nei teatri Romani rispetto a quelle naturali dei teatri Greci.



Fig. 5 – Ricostruzione del teatro romano di Ostia (D'Espouy, Fragments d'Architecture, 1901)

Tenendo conto delle loro numerose varianti queste forme architettoniche, seminate circa venticinque secoli fa', sono additate, non sempre a ragione, per la loro perfezione acustica. Architetti dell'età moderna si sono ispirati, e si ispirano ancora, a tali stili.

Non da ora si cerca di dare una risposta all'interrogativo se i costruttori dell'antichità erano depositari di scienza traducibile in progettazione ingegneristica e tecnologia in materia di acustica dei teatri. Sostanzialmente, nessuno scritto importante è pervenuto ai posteri a riguardo salvo il "De Architectura" in dieci libri dell'enciclopedico architetto romano Marco Vitruvio Pollione[2] (circa 70 a.C. – circa 25 a.C.). Egli esponeva i suoi principi sull'architettura basati sulla *proporzione* [la regola aurea: (1 + v5)/2, la stessa proporzione che la natura aveva adottato come rapporto tra le parti del corpo umano], la *simmetria*, l'*equilibrio* e l'*armonia*, requisiti necessari per la bellezza, la solidità e la sicurezza di una costruzione. A proposito dei teatri, nel libro IV, cap.7 (1) riporta: "*Nel teatro Greco alcune cose sono diverse. In primo luogo, nell'orchestra gli angoli di tre quadrati toccano la circonferenza mentre nel teatro Romano abbiamo gli angoli di quattro triangoli. Nel teatro Greco la linea del proscenio è tracciata lungo il lato del quadrato più vicino alla scena dove interseca la circonferenza. Dallo stesso lato è tracciata una linea parallela che tocca l'esterno del cerchio e qui si marca il fronte della scena. Si traccia poi un'altra linea parallela pas-*

sante per il centro dell'orchestra di fronte al proscenio. Ponendo la punta del compasso nel punto di intersezione con la circonferenza a destra, con un raggio pari alla distanza del punto di intersezione a sinistra, si traccia una circonferenza che intercetta la linea di proscenio e ne determina l'estensione dal lato sinistro. Allo stesso modo, ponendo la punta del compasso nel punto di intersezione opposto diametralmente si determina l'estremo destro del bordo del proscenio.".

Probabilmente, le raccomandazioni sono state dedotte dall'osservazione di teatri greci come, ad esempio, quello di Epidauro. La Fig. 6 riporta un confronto tra quanto espresso da Vitruvio (alto) e l'immagine del Teatro Greco di Epidauro (Est-Peloponneso, progettato inizialmente da Policleto circa nel 330 a.C. ed ampliato un secolo dopo) nello stato attuale (basso).

A proposito del teatro Romano nel libro V cap. 6 (1) Vitruvio recita: *"La pianta del teatro deve essere organizzata in questo modo: si prende il centro dell'estensione di area destinata all'orchestra al livello del suolo. Si traccia la circonferenza e si inscrivono in essa quattro triangoli equilateri che toccano la circonferenza ad intervalli (proprio come nel caso dei dodici segni celesti; gli astronomi effettuano il calcolo in base alla divisione musicale delle costellazioni). Di questi triangoli, il lato di quello più vicino alla scena determinerà il fronte della scena , nella parte dove taglia la curva del cerchio. Si traccerà una linea parallela attraverso*

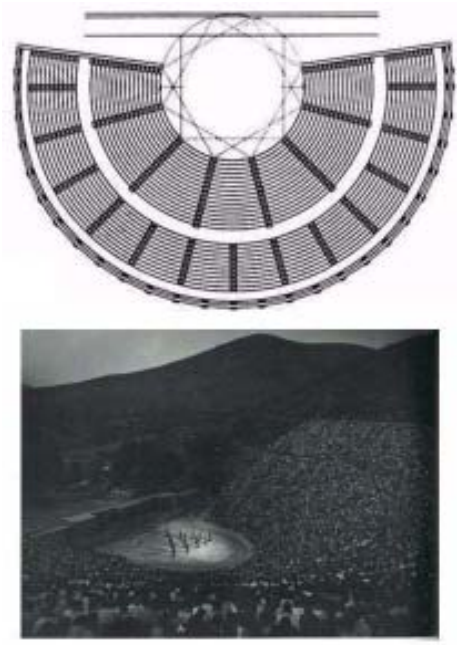


Fig. 6 – (alto) Concetti di Vitruvio sul teatro greco. (basso) Il teatro greco di Epidaur.

il centro del cerchio che dividerà la piattaforma (pulpitum) del proscenio dall'orchestra.(2) Così il palcoscenico sarà reso più ampio di quello dei Greci in quanto tutti gli attori reciteranno la loro parte sul palcoscenico, mentre l'orchestra sarà assegnata ai sedili dei senatori..."

La Fig. 7 permette un riscontro di quanto riportato sopra con l'immagine del Teatro di Orange (Valle del Rodano, costruito tra il 25 e il 10 a.C., uno dei teatri Romani meglio conservato.

Oltre le raccomandazioni per la progettazione architettonica, Vitruvio riporta osservazioni in materia di acustica:

"Si deve avere cura particolare affinché il sito non sia sordo ma sia un luogo in cui la voce può viaggiare con

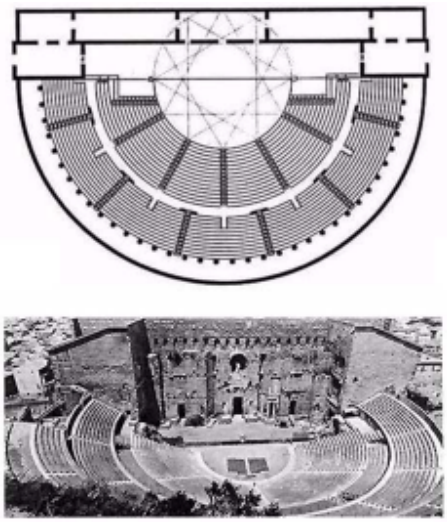


Fig. 7 – (alto) Concetti di Vitruvio sul teatro Romano. (basso) Il teatro romano di Orange

la massima chiarezza. Ciò può essere conseguito se si sceglie un sito dove non esistono elementi che generano eco.".

Vitruvio distingueva i luoghi per la loro acustica in luoghi dissonanti (*catecuntes*), circumsonanti (*periecuntes*), risonanti (*antecuntes*) e consonanti (*sunecuntes*).

"…*Sono dissonanti quei luoghi in cui il primo suono emesso, che è portato in alto, impatta contro corpi solidi in alto e, essendo rinviato indietro, si arresta in quanto blocca sul fondo la salita del suono successivo. I circumsonanti sono quelli nei quali la voce si espande in tutto l'intorno e poi è forzata verso il centro dove si dissolve. La sua fine non si ode ma si estingue lì in suoni di significato indistinto. I risonanti sono quelli in cui viene in contatto con qualche sostanza solida e si riavvolge, producendo così un'eco e rendendo il suono finale doppio. I consonanti sono quelli in cui esso è supportato da sotto, aumenta nel procedere verso l'alto e raggiunge le orecchie in parole distinte e di tono chiaro. Pertanto, se il sito è scelto con cura, con questa precauzione, l'effetto della voce sarà perfettamente idoneo per gli scopi di un teatro.".*

Queste definizioni e raccomandazioni non sono facili da decifrare. Nondimeno, W.C. Sabine[3] nella sua pubblicazione su "L'acustica dei teatri" ritiene che queste espressioni di Vitruvio costituiscono "…*un'analisi ammirevole del problema dell'acustica dei teatri. Per renderle comprensibili nei termini della nomenclatura moderna bisogna sostituire la parola interferenza a dissonanza; la parola riverberazione a circumsonanza ed eco a risonanza.".* La parola *consonanza*, nel senso usato da Vitruvio, corrisponde al concetto attuale che la sovrapposizione del suono diretto con lo stesso suono un poco ritardato (riflessione) non produce confusione ma è percepito come un evento unico di intensità maggiore di quella del solo suono diretto.

Vale la pena riferire qui ancora altre osservazioni riportate da Vitruvio in merito alla fenomenologia acustica ed ai teatri:

" *La voce è un respiro d'aria fluente, percepibile all'orecchio per contatto. Si muove in un numero infinito di giri circolari come le innumerevoli onde circolari che appaiono quando un sasso è lanciato in uno specchio d' acqua calma e che si espandono senza fine dal centro se non sono interrotte da con-*

fini ristretti o da un'ostruzione che impedisce a queste onde di raggiungere la loro fine nell'assetto dovuto. Quando sono interrotte da ostruzioni, le prime onde, fluendo all'indietro, rompono la formazione di quelle che seguono.".

"Allo stesso modo la voce esegue i suoi movimenti in cerchi concentrici; ma mentre nel caso dell'acqua i cerchi si muovono orizzontalmente su una superficie piana, la voce non solo si muove orizzontalmente ma ascende verticalmente per stadi regolari [...] così, se non esistono ostruzioni che interrompono la prima onda, non si rompono la seconda onda e le successive, ma tutte raggiungono gli orecchi degli spettatori,sia quelli più in basso sia quelli più in alto, senza eco."

"Pertanto, gli architetti dell'antichità, seguendo i gradini della natura, hanno perfezionato le file ascendenti dei sedili nei teatri sulla base delle loro ricerche sulla voce ascendente e, tramite la teoria canonica dei matematici e quella dei musicisti, si sono sforzati a far giungere agli orecchi degli ascoltatori ogni voce emessa sul palcoscenico con maggiore chiarezza e dolcezza. Proprio come gli strumenti musicali sono portati alla perfezione della chiarezza del suono delle loro corde mediante lastre di bronzo o svasature a corno, così gli antichi inventarono metodi per aumentare la potenza della voce mediante l'applicazione degli armonici."

3. I vasi risonanti (Echeia)

Secondo Vitruvio, i Greci dell'antichità riconoscevano l'insufficienza della potenza acustica della voce degli attori nei teatri di dimensioni maggiori. Secondo Knudsen[1] la parola "*armonici*" corrisponderebbe all'accezione della parola moderna risonanze. Citando anche Aristosseno di Taranto (364-304 a.C.), allievo di Aristotele ed autore del più antico "Trattato dell'armonia" pervenuto ai posteri in buono stato, riporta che queste risonanze erano ottenute distribuendo con regolarità un grande numero di vasi di bronzo con la funzione di risonatori acustici in tutto il teatro. Nei teatri più grandi erano collocati in tre ranghi orizzontali, di 12 risonatori ciascuno, equispaziati lungo la direzione verticale.

Essi erano accordati con cura per rispondere a particolari note secondo i sistemi musicali. Pertanto, l'energia sonora reirradiata in poche decine di millisecondi dopo l'istante di eccitazione per via aerea poteva enfa-tizzare componenti spettrali particolari della voce e degli strumenti musicali. Un gruppo era accordato per l'enarmonico, un altro per il cromatico ed il terzo per il sistema diatonico, le tre classi principali di *modi* usati nella Grecia antica. Vitruvio diede la descrizione seguente dei tre modi.

"Il modo enarmonico corrisponde ad una concezione artistica e, pertanto, l'esecuzione in tale modo ha una dignità severa speciale e distinzione. Il cromatico con la sua delicata elusività e con l'affollamento delle sue note, evoca una forma di piacere più dolce. Nel diatonico è più facile capire la distanza tra le note, perché è naturale."

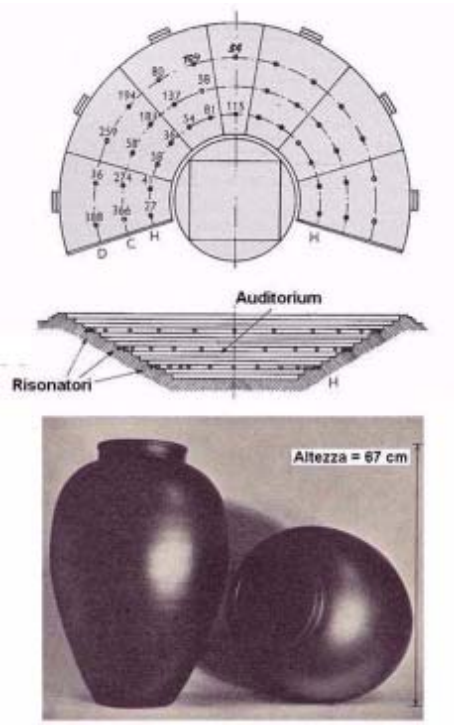


Fig. 8 – (alto) Distribuzione dei vasi risonanti per ranghi. (basso) Ipotesi sulla forma e le dimensioni dei risonatori[4]

La Fig.8 mostra un'ipotesi riportata da Bruel[4] sulla distribuzione dei risonatori, sulle frequenze fondamentali a cui erano presumibilmente accordati e sulla forma e le dimensioni dei vasi risonanti. Comunque, permangono molti dubbi sull'esistenza di questi vasi risonanti e sulla loro efficacia per migliorare l'intelligibilità della parola.

4. Le maschere

Gli attori del teatro greco antico dovevano essere molto versatili. La bravura nella recitazione necessaria di fronte a migliaia di spettatori imponeva che pochi attori (al più tre al tempo di Eschilo) interpretassero più personaggi diversi. In questo si giovavano di costumi e gesti vistosi per la visione a distanza ed, in particolare, di maschere con atteggiamenti adatti al ruolo. Si ritiene che almeno alcune di queste maschere, inizialmente in tessuto irrigidito e poi in sughero o in legno, avessero una funzione di megafono. La zona intorno alla bocca era conformata in modo da amplificare la voce.

Alla luce delle conoscenze attuali si potrebbe riconoscere un filtro acustico che meglio adatta l'organo della fonazione all'impedenza dell'aria, principalmente a causa della strombatura della parte esterna rispetto alla conformazione naturale della bocca. La Fig. 9 mostra dei reperti che suggeriscono questa funzione acustica delle maschere. In ogni caso non residuano evidenze di questa funzione acustica delle maschere. Questa considerazione può essere supportata dal fatto che non tutte le maschere di cui si ha conoscenza presentano una forma strombata.



Fig. 9 – Maschere di attori del teatro greco antico. E' evidente l'esagerata strombatura della bocca del personaggio in basso a destra[1]

5. Studi moderni sull'acustica dei teatri dell'antichità

Veri e propri studi quantitativi sull'acustica dei teatri antichi non sono stati riportati nella letteratura fino a quando Canac[5] nel 1967 pubblicò delle analisi sull'importanza delle riflessioni del primo ordine dal piano dell'*orchestra* nei teatri Greci antichi. Pose in evidenza che l'angolo â di propagazione della preziosa riflessione a breve ritardo diminuiva con l'elevazione del piano del palcoscenico. L'attenuazione conseguente ne vanificava l'efficacia per il rinforzo del suono diretto (Fig. 10).



Fig. 10 – Suono diretto e riflessione dal piano dell'orchestra in un teatro greco antico

Dallo studio delle distribuzioni del pubblico osservò che â risultava sempre maggiore di 5°. Concludeva, inoltre, che per preservare l'integrità di questa riflessione erano preferibili palcoscenici relativamente bassi rispetto all'*orchestra*, caratteristica riscontrata in teatri più antichi, come il teatro di Dioniso ad Atene (1-1.2m) quello di Priene e quello di Epidauro (3-3,6m). Shankland[6] nel 1973 misurò il grado di intelligibilità delle parole in diversi teatri Greci, compreso quello di Epidauro. Per questo teatro trovò che l'ascoltatore nella posizione più distante lungo l'asse di simmetria percepiva le parole dell'oratore al centro dell'*orchestra* con un grado di intelligibilità del 72%. Probabilmente, questo valore relativamente elevato era dovuto al fatto che il teatro era vuoto, per cui esisteva un supporto delle riflessioni dalle gradinate di pietra, l'ambiente era tranquillo e non spirava vento. Di fatto, Shankland riporta ancora che in un teatro Romano una brezza moderata aveva causato una riduzione del grado di intelligibilità della parola dal valore 80% in quiete al valore 40% in presenza di vento modesto. Cremer[7] nel 1975 effettuò misure di propagazione del suono nel teatro di Epidauro con una tecnica ad impulso accurata. Trovò una buona concordanza dei dati con la legge quadratica inversa, tipica della propagazione nello spazio libero. Misure effettuate nel teatro vuoto in presenza di vento dal palcoscenico verso le gradinate, con velocità tra 0 e 6 m/s, non mostrarono forti deviazioni dalla legge del campo libero. Questo risultato sembra smentire l'ipotesi diffusa che questo tipo di vento, frequente nel teatro di Epidauro, poteva essere la causa della trasmissione eccezionale della parola a spettatori distanti 60-70m dall'attore.

Negli ultimi tempi il mondo della ricerca in acustica ha rinnovato l'interesse scientifico per questi luoghi. Di fatto, studi recenti ed in corso cercano di caratterizzare l'acustica dei teatri antichi con parametri oggettivi che descrivono la qualità del suono in termini moderni, nonché di simulare con il calcolatore, sia le condizioni acustiche attuali sia quelle ipotizzabili per il passato, fino all'auralizzazione, ovvero l'esperienza di ascolto verosimile degli eventi acustici nel luogo simulato.

Sato, Sakai e Prodi[8] nel 2002 hanno pubblicato i risultati di misure nei teatri di Delfi (Grecia) e di Taormina (Italia) che hanno dimensioni simili. Il primo manca dell'edificio del palcoscenico mentre il secondo ne conserva una buona parte. Gli Autori hanno evidenziato la presenza della riflessione dal piano dell'orchestra nelle risposte all'impulso dei due teatri. L'effetto della presenza dell'edificio del palcoscenico si rivela con un tempo di riverberazione medio nelle bande ottave a 0,5-1 kHz di 0,9-1,0 s nel teatro di Taormina e di 0,5-0,6 s nel teatro di Delfi. La ricchezza di riflessioni dovute all'edificio del palcoscenico ed alle gradinate è responsabile anche di valori maggiori di un descrittore della "*spazialità*" nel teatro di Taormina rispetto a quello nel teatro di Delfi. Vassilontonopoulos e Mourjopoulos[9] nel 2003 hanno pubblicato uno studio di simulazione numerica piuttosto esteso sull'acustica di tre grandi teatri, due Greci ed uno Romano: Epidauro, Dodoni e l'Odeion di Patrasso. Allo stato, i primi due teatri sono privi dell'edificio del palcoscenico. Gli Autori, pur tacendo in che modo hanno tarato il loro modello, hanno calcolato tempi di riverberazione più bassi di quelli del teatro di Delfi (0,13-0,20 s) ed una certa concordanza con le modalità di propagazione del suono nello spazio libero. Hanno, altresì, auralizzato per l'ascolto in cuffia discorsi e musica anecoica per diverse condizioni. Gade et al.[10] hanno riportato misure e simulazioni al calcolatore per il teatro di Aspendo, il teatro Romano meglio conservato. Questo teatro è situato nel Sud dell'Anatolia in Turchia e presenta tutte le strutture integre. Fu costruito nel 155 D.C. e può ospitare 7000 spettatori. Gli Autori riportano che il teatro è caratterizzato da una riverberazione relativamente lunga (T_{30} ˜ 1,7 s, alle frequenze medie). Il descrittore dell'intensità percepita, G a 1 kHz, assume valori da 10 a circa – 10 dB all'aumentare della distanza dalla sorgente, con andamento vicino a quello del campo libero. Il descrittore della chiarezza C_{80} a 1 kHz conserva valori alti da 8 a circa 0 dB allontanandosi oltre i 45 m dalla sorgente. Gade et al. concludono che i valori di alcuni parametri misurati erano inattesi per un teatro all'aperto e che certe discrepanze tra i risultati della loro modellazione numerica e quelli delle misure potranno essere ridotte con un affinamento della taratura del modello.

6. Conclusione

Quanto rimane dei teatri greco-romani e l'uso per rappresentazioni pubbliche di quelli meglio conservati e recuperati per spettacoli oggi, evidenziano che i problemi acustici degli auditori non erano ignoti alle civiltà del passato. Il livello di ingegneria, ovvero la quantità e la qualità delle conoscenze a priori che hanno potuto indirizzare la realizzazione di queste opere, può essere inferito solo dai reperti e, sostanzialmente, dagli scritti di Vitruvio che ha documentato per i posteri uno stato dell'arte dopo un'evoluzione di 3-4 secoli.

È ragionevole, oggi, condividere l'opinione di Barron che lo sviluppo del-

l'acustica dei teatri Greci, e dei successivi Romani, è frutto di un empirismo basato su un lungo processo di "*trial-and-error*".

[1] V.O. Knudsen, *Architectural Acoustics*. J. Wyley & Sons, New York, 1949, 4th Printing.
[2] Vitruvius *(* Morgan, M. H.*), The Ten Books on Architecture.* Dover, New York, 1960.
[3] W.C. Sabine, *Collected Papers on Acoustics.* Dover, New York, 1964.
[4] P.V. Bruel, *Sound Insulation and Room Acoustics*. Chapman & Hall, London, 1951.
[5] F. Canac, *L'acoustique des theatres antiques*. Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris,1967, 151–161.
[6] S.R. Shankland, *Acoustics of Greek theaters*. Physics Today, 1973, 30–35.
[7] L. Cremer, *Different Distributions of the Audience* in Auditorium Acoustics (ed. R. Mackenzie). AS, London, 145-159.
[8] S. Sato, H. Sakai, N. Prodi, *Acoustical Measurements in ancient Greek and Roman Theatres*.Proc. Forum Acusticum, Sevilla/Spain, 16-20 Sept. 2002.
[9] S.L. Vassilontonopoulos, J.N. Mourjopoulos, *A Study of Ancient Greek and Roman Theater Acoustics*. Acustica united with Acta Acustica, Vol. 89, 2003, 123-135.
[10] A.C. Gade, M. Lisa, C. Lynge, J.H. Rindel, *Roman Theatre Acoustics; Comparison of acoustic measurement and simulation results from the Aspendos Theatre, Turkey.* Proc. of ICA 2004, Kyoto/Japan, 4-9 Apr. 2004.

FRANCESCO BRANDA

Breve excursus storico delle officine vetrarie

Plinio, nella sua "Naturalis Historia", riferisce un antico racconto, secondo il quale una nave di commercianti, che trasportava del natron egizio, sarebbe approdata alla foce del fiume Belus nella regione anticamente popolata dai Fenici. Non avendo trovato pietre, i commercianti avrebbero usato pezzi di natron per sostenere i calderoni in cui cuocere il cibo. Durante la cottura avrebbero osservato uno strano liquido traslucido scorrere nella sabbia. Da quel momento, che si perde quindi nella notte dei tempi, l'uomo avrebbe appreso la tecnica di produzione del vetro per tempra rapida di miscele fuse, di opportuna composizione.

Il riferimento al fiume Belus non è casuale. Per secoli la produzione del vetro richiese l'uso di sabbie di ben precise provenienze; infatti solo quelle aventi un elevato tenore di CaO assicuravano, nell'assoluta ignoranza dei vetrai, la necessaria durevolezza. In realtà il fascino del vetro è molto legato al carattere quasi magico della sua produzione: sabbia e ceneri sono trasformate, sotto l'azione del fuoco, in liquidi variamente colorati che, nel corso del raffreddamento, possono essere formati a riprodurre, in masse solide, trasparenti e lisce al tatto, qualsivoglia oggetto del mondo che ci circonda o della fantasia dell'artigiano. Come la fenice il vetro possiede innumerevoli vite: reso fluido, ad alta temperatura, può sempre assumere nuova forma. E' questa la magia che affascina tuttora chi ha la fortuna di assistere al lavoro di un soffiatore di vetro.

Nella produzione del vetro artistico c'è, tuttora, molto empirismo. Si pensi ad esempio alle tessere musive ottenibili in un'infinita gamma di colorazioni. Sappiamo che il colore dipende dalla natura ed ammontare degli additivi, dalla temperatura di sintesi e dal carattere, os-sidante o riducente, dell'atmosfera; le scelte, però, sono ancora affidate all'esperienza del vetraio. Cionondimeno gli attuali produttori di vetro hanno a disposizione un grande bagaglio di cono-scenze scientifiche che, come vedremo, hanno permesso eccezionali innovazioni.

Problematiche tecnologiche

I solidi possono essere classificati in due categorie: cristallini e amorfi . In natura i primi sono di gran lunga più abbondanti. L'ossidiana è, però, un importante esempio di solido amorfo naturale. Alla categoria dei solidi amorfi appartengono anche i vetri prodotti dall'uomo.

Se una sostanza viene raffreddata tutte le sue proprietà subiscono, come è noto[1], progressive variazioni.

Il diagramma di una qualunque di esse, ad es. il volume (Fig.1), consente di penetrare l'intima natura dei materiali amorfi. La Fig.1 evidenzia che le variazioni os-

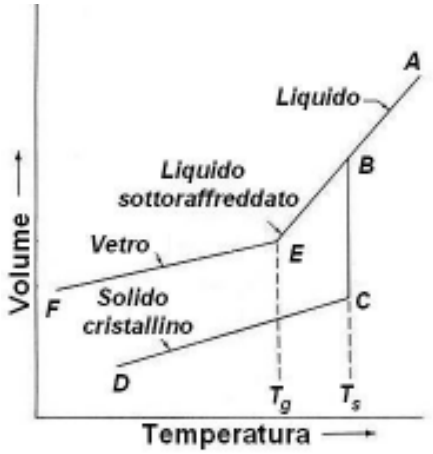


Fig.1 - Diagramma volume - temperatura

servate dipendono dalla velocità di raffreddamento. Se questa è sufficientemente bassa, si osserva una brusca variazione , ad una temperatura caratteristica, T_s (curva ABCD). Tale salto nel diagramma è legato alla formazione di cristalli. Si passa, infatti, da una struttura costituita di particelle disposte in maniera disordinata (come rappresentato in Fig.2a) ad una in cui le stesse sono impacchettate perfettamente (Fig.2b): la riduzione del volume degli spazi vuoti tra le particelle rende bene conto dell'improvvisa riduzione di volume. La temperatura cui ciò accade è la temperatura di solidificazione, T_s.

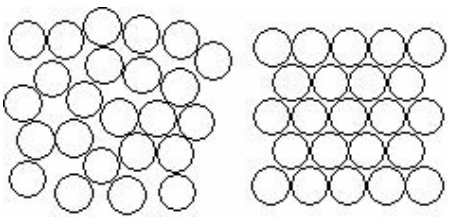


Fig.2 - Struttura di materiale liquido o vetroso(a) e cristallino (b)

Le successive diminuzioni di volume che si registrano al di sotto di T_s sono dovute alla variazione progressiva della distanza tra le particelle connessa coi fenomeni della dilatazione e contrazione termica dei solidi. La Fig.1 evidenzia, però, che se il raffreddamento è veloce, il diagramma cambia radicalmente (curva ABEF): a T_s non si osserva alcuna discontinuità ed il volume continua, al di sotto di T_s, a ridursi con la stessa legge con cui si riduce quello del liquido; questo si verifica fino ad una temperatura alla quale la legge di variazione diventa simile a quella del solido cristallino (rispetto al quale però la sostanza presenta un volume più elevato). L'interpretazione immediata e semplice è che, a causa della velocità di raffreddamento troppo elevata, le particelle non hanno il tempo, durante il raffreddamento, di sistemarsi in una struttura ordinata. D'altronde, se la temperatura scende, la viscosità diminuisce fino a che, al di sotto di una temperatura caratteristica (Temperatura di transizione vetrosa, T_g) la riduzione eccessiva di mobilità delle particelle impedisce definitivamente la sistemazione in una struttura ordinata. Il materiale acquista, così, la rigidità caratteristica dello stato solido conservando, però, una struttura disordinata delle particelle. Si ottiene così il vetro, che giustamente il chimico definisce "liquido sottoraffreddato". Pertanto il raffreddamento lento fornisce i solidi cristallini, quello veloce i solidi amorfi o vetrosi.

Dal punto di vista tecnologico è fondamentale la conoscenza del diagram-

ma viscosità - temperatura nell'intervallo di transizione vetrosa, compreso tra T_f e T_g, in cui il materiale non è rigido ma plastico (Fig. 3). Nell'intervallo compreso tra la temperatura di "lavorabilità" (ç~10^4 poise) e di "rammollimento" (ç~10^8 poise) il vetro esibisce interessanti valori di viscosità che ne consentono la formatura. Nell'intervallo compreso tra la temperatura di "ricottura" (ç~10^{13} poise) e di "deformazione" (ç~10^{14} poise) la viscosità è abbastanza alta da impedire deformazioni macroscopiche dell'oggetto formato ma abbastanza bassa da consentire l'eliminazione delle tensioni interne indotte dal raffreddamento. È necessario però selezionare composizioni della miscela fusa che, nell'intervallo di transizione vetrosa, abbiano velocità di cristallizzazione sufficientemente basse, onde evitare, nel corso della forma-tura, la conversione in solido cristallino.

La produzione del vetro pertanto richiede la risoluzione dei seguenti problemi:

- purificazione delle materie prime;
- individuazione delle condizioni termiche in cui operare la trasformazione delle materie prime
- individuazione delle condizioni termiche in cui formare gli oggetti
- individuazione delle condizioni termiche in cui eliminare le tensioni interne indotte dal raffreddamento

Attualmente miscele di componenti puri vengono fuse ad alta temperatura (1300-1450°C) in forni rivestiti di materiale refrattario resistente all'azione corrosiva del fuso; la formatura e la successiva eliminazione degli sforzi termici viene realizzata alle temperature indicate dal diagramma di Fig.3.

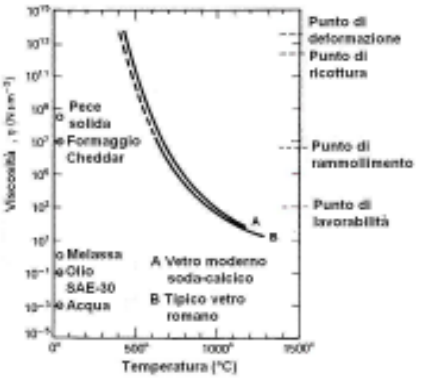


Fig.3 - Diagramma viscosità - temperatura

Gli antichi non disponevano dei forni di alta temperatura né avevano le conoscenze scientifiche utilizzate dagli attuali produttori di vetro. Pertanto la produzione era basata su conoscenze em-piriche e passava attraverso la preparazione della cosiddetta "fritta", attraverso, cioè, una reazione allo stato solido a temperature di poco superiori agli 800°C. La produzione della fritta era in generale laboriosa. Infatti la reazione tra le materie prime produceva anidride carbonica ed un prodotto molto viscoso. Per evitare che bolle di gas rimanessero intrappolate nella massa vetrosa era necessario tenere in perenne mescolamento la massa reagente o periodicamente temprare, ridurre in polvere sottile il prodotto ottenuto e nuovamente riscaldare. Si otteneva così un prodotto granulare dall'aspetto spugnoso (la fritta) che dava facilmente, per fusione a più alta temperatura, vetro trasparente ed omogeneo Una caratteri-

stica dei vetri antichi è, inoltre, la presenza, nella composizione, di numerosi componenti minori dovuta all'ignoranza dei metodi di raffinazione delle materie prime.

La storia

Le origini e l'Età Antica

I primi oggetti di vetro usati dall'uomo furono coltelli e punte di freccia realizzate in ossidiana, noto vetro naturale di origine vulcanica, che risalgono al Paleolitico.

Il luogo e la data di nascita del vetro prodotto dall'uomo non è nota. Si ritiene che sia avvenuta nelle regioni a est del mediterraneo prima del 3000 a.C. I più antichi reperti vitrei sono smalti di vetro risalenti alla cultura Badariana, predinastica, neolitica (4000 a.C.) fiorita nel medio Egitto. Coevi sono anche smalti, della civiltà egea, usati per rivestire perline di quarzo ad imitazione di pietre dure, quali i turchesi, i lapislazzuli o diaspri rossi. Più tardi perline interamente di vetro furono realizzate allo stesso scopo. I vasi più antichi risalgono agli inizi del secondo millennio a.C. I resti più antichi di officina vetraria sono stati ritrovati a Tell el Amarna, la nuova capitale fondata dal faraone eretico Amenofi IV, risalenti a circa 1370 a.C.

Molti studiosi[2], però, ritengono che l'arte vetraria sia stata scoperta in Mesopotamia, dove sono stati ritrovati i documenti più antichi che la tramandano. Si tratta delle tavole cuneiformi della libreria di Sardanapalo (668-627 a.C.), evidenti copie di originali prodotte nei primi secoli del secondo millennio a.C. Tali documenti fanno riferimento a due materie prime , identificate nei ciottoli di quarzite di origine fluviale ("immanaku") e nelle ceneri di Salsola Kali ("ahussu"), un'erba perenne che cresce lungo i litorali o nei terreni salsi. Da tali materie prime si otteneva, per reazione al "calore rosso" (probabilmente T‹850°C) una fritta ("zuku") che riscaldata al "calore giallo" (probabilmente circa 1100°C) permetteva di ottenere il vetro. In quest'ultima fase, quando desiderato, venivano aggiunti composti a base probabilmente di rame che impartivano la colorazione blu al vetro. Nei documenti si fa esplicito riferimento a tre fornaci, una per la fritta, una per la fusione ed una terza per l'eliminazione degli sforzi interni connessi col raffreddamento. Il combustibile indicato erano ciocchi di pioppo che crescevano lungo il fiume Eufrate.

Si ritiene[2] che, per secoli, i segreti della produzione della fritta (materie prime e tecnologia) siano stati custoditi gelosamente dalle popolazioni che per prime li scoprirono. Gli altri popoli, a cominciare dagli egiziani, sarebbero stati molto abili nella tecnica di fusione e formatura degli oggetti ma la loro produzione sarebbe dipesa dall'importazione di fritta. La produzione della fritta in Egitto sarebbe iniziata a partire dalla XVIII dinastia. A sostegno di tale ipotesi ci sono diverse osservazioni:

- Frequenti sono i ritrovamenti di pani di vetro informi.
- Somiglianza della composizione di og-

getti vitrei ritrovati in luoghi molto lontani, risalenti ad epoche molto diverse: i vetri di Nimrud (Iraq settentrionale) risalenti alla XVIII dinastia e gli oggetti ritrovati nel palazzo di Crosso sono separati da 1700 km e, temporalmente, da sette secoli.

Variazioni nella composizione dei vetri antichi si ebbero[3] a partire dal VI secolo a.C. Nelle composizioni dei vetri si abbassò significativamente il contenuto negli ossidi di magnesio (‹1.4%) e di potassio (‹0.47%). Questa variazione sarebbe stata causata[4] dalla sostituzione, tra le materie prime, delle ceneri con il natron, carbonato di sodio idrato, minerale abbondante in Egitto. Un'altra variazione significativa si ebbe a partire dal IV secolo a.C. quando il contenuto in ossido d'antimonio si ridusse (da 0.53-1.93 a 0.018-0.059) e corrisponden-temente crebbe il contenuto in ossido di manganese. Si tratta di due ossidi importanti, capaci alle alte temperature di reagire con l'ossido di ferro, inevitabilmente presente come impurezza, correggendone l'effetto colorante e consentendo di ottenere vetri incolori. In epoca romana si affermò[2] anche la distinzione tra "vitrum" (vetro ordinario) e "vitrum purum" o "crystallum" o "cristallina" (vetro cristallo). Quest'ultimo era incolore e trasparente, somigliante al cristallo di rocca. Secondo Plinio esso si otteneva con l'aggiunta deliberata alla miscela fondente di "magnum lapis", che probabilmente era una roccia calcarea.

L'esame dei resti del sito, diroccato, di Tell el Amarna ha fornito[2] diverse informazioni tecnologiche: i crogioli erano realizzati a partire da sabbia e fango; la massa fusa non veniva colata ma temprata nel crogiolo; le temperature massime in fornace non superavano i 1100°C; la qualità ed il colore venivano controllati estraendo periodicamente piccole masse facendo uso di pinze.

Sono stati ritrovati numerosi siti di produzione del vetro dell' epoca romana, tutti troppo diruti per dare informazioni sul processo. Informazioni importanti sono, però, fornite da una scena che appare su una lampada di argilla che risale al I secolo d.C. Sono ritratti due artigiani intenti a soffiare il vetro accanto ad un forno. Questo appare di forma approssimativamente cilindrica e di piccole dimensioni: la sommità, posta ad un'altezza circa 1.5 volte il diametro, non supera la testa dei due artigiani ritratti seduti su sgabelli. Il forno appare strutturato su due livelli: apparentemente il crogiolo di vetro fuso (da cui i due attingono con la canna da soffio attraverso un'apertura approssimativamente circolare) è posto nella camera superiore e riscaldato dal calore proveniente dalla camera di combustione sottostante. Questa rappresentazione testimonia anche l'avvenuta scoperta della tecnica della soffiatura che rappresentò una vera rivoluzione per quanto riguarda le tecniche di formatura. È opinione diffusa che la scoperta della tecnica della soffiatura avvenne, in Siria, in epoca romana, nel I secolo a.C.

Le tecniche impiegate per la formatura degli oggetti, prima della scoperta della soffiatura, sono state ipotizzate

sulla base dell'osservazione degli stessi oggetti. Sono sostanzialmente quattro:

- Un'anima di argilla o altro materiale veniva rivestita di vetro per immersione in vetro fuso o avvolgendo intorno ad essa vetro rammollito; quando, a seguito del raffreddamento, il vetro acquistava rigidità, essa veniva asportata meccanicamente.
- Sezioni di bacchette di vetro, in forma di sottili dischetti, venivano applicate su uno stampo; un secondo stampo veniva calzato su di esse in maniera da impedire il distacco, nel mentre che per effetto di adeguato riscaldamento e conseguente rammollimento, esse si univano l'un l'altra
- Fusione in stampi per ottenere perline, figurine;
- Taglio ed abrasione di masse informi o oggetti fusi in stampi

La tecnica della soffiatura , scoperta in Siria nel I secolo a.C., rappresentò un'autentica rivoluzione. Essa consentì di produrre in maniera economica oggetti di vetro molto più leggeri di quelli tradizionali: si ebbe un'esplosione dei centri di produzione vetraria. I recipienti di vetro divennero oggetto di produzione di massa, particolarmente apprezzati come contenitori per la conservazione ed il trasporto. La soffiatura in stampi rese possibile la realizzazione di bottiglie a sezione quadrata, o comunque non circolare, particolarmente utili per il trasporto di liquidi, permettendo di sfruttare meglio i volumi a disposizione sui mezzi di trasporto. Bisogna, però, dire che nello stesso periodo romano c'è stata anche la produzione, in primis per la corte imperiale, di oggetti in vetro di eccezionale valore estetico[5]. Basta pensare agli oggetti in vetro cammeo ottenuto soffiando l'uno nell'altro due vetri di colore diverso ed incidendo quello esterno con la tecnica della produzione del cammeo. Non si può non ricordare, altresì, le coppe diatrete rivestite di un'elegante rete di filo di vetro, ottenuta attraverso un finissimo lavoro di abrasione. Esse venivano ulteriormente impreziosite con gemme incastonate in questa rete a rilievo.

Medievo ed Età Moderna

In epoca romana l'arte vetraria si era diffusa in tutta Europa. Alla caduta dell'impero romano essa sopravvisse dappertutto in Europa anche se, in età moderna, Venezia acquisì una posizione di preminenza. L'arte vetraria veneziana si ricollegava, direttamente, alla tradizione romana: la turbolenza del periodo delle invasioni barbariche, che altrove ebbe un effetto inibitorio sulla pratica dell'artigianato, favorì lo sviluppo di Venezia, la cui laguna potrebbe aver offerto rifugio agli artigiani. Certamente Venezia si avvantaggiò anche dei contatti con l'oriente che fanno parte della sua storia. È ragionevole anzi ritenere che vetrai siriani e mesopotamici possano, ai tempi dell'invasione turca guidata da Tamerlano (inizio del XV secolo), aver cercato rifugio proprio a Venezia. L'innesto di nuova linfa che proveniva dai luoghi che possedevano la più antica tradizione vetraria, sicuramente,

contribuì all'affinazione della tecnica. Nacque così uno stile veneziano che si impose, per la qualità del vetro cristallo ivi prodotto e per la qualità eccezionale dei manufatti, fino alla fine del XVII secolo, quando in Germania ed in Inghilterra cominciarono ad essere prodotti vetri cristallo di qualità anche superiore[2,6,7]. Quello veneziano era un vetro soda-calcico prodotto, nella maniera tradizionale, con natron o ceneri di piante salmastre che veniva reso incolore con aggiunta di sali di manganese. La brillantezza era in parte dovuta al sottile spessore dei manufatti. Altrove in Europa, a partire dal X secolo circa, le ceneri di felci o di altre piante silvestri avevano sostituito il natron e le ceneri di piante marine; probabilmente ciò è legato alle sopravvenute difficoltà nella libera circolazione del natron, che doveva essere importato da Alessandria, e delle ceneri di piante salmastre che provenivano dalle regioni bagnate dal Mediterraneo. Questo comporta che il componente alcalino preponderante (~15%) non fosse più l'ossido di sodio ma quello di potassio. Nel XVII secolo i vetrai della Boemia settentrionale riuscirono ad ottenere vetro cristallo di ottima qualità aggiungendo calce alle loro miscele. In Inghilterra George Ravenscroft, per conto della Glass Seller's Company, riuscì, aggiungendo ossido di piombo a miscele di selci (o sabbia) e potassa, ad ottenere vetri durabili dall'elevato indice di rifrazione. Il risultato era un prodotto dall'elevata brillantezza, anche in grandi spessori. Nonostante che, in breve tempo, la selce (in inglese "flint") fosse sostituita con sabbia, è rimasto il nome "vetro flint". Questi vetri, brillanti in spessori non sottili, si prestavano ai lavori di decorazione per incisione per i quali molti manufatti, soprattutto boemi, sono famosi.

Alla caduta dell'impero romano documenti e testimonianze dimostrano che ci fu un'evoluzione delle fornaci. Ci sono evidenze, come quelle ritrovate nel sito dell'isola veneziana di Torcello che dimostrano che temperature anche pari a 1270°C, fossero raggiunte nella fornace fusoria anche se, in tutta l'epoca preindustriale, la legna è stata l'unico tipo di combustibile impiegato dappertutto (fatta accezione, come vedremo più avanti, per l'Inghilterra e la Germania). Queste temperature alte possono essere messe in relazione con lo sviluppo dei nuovi forni fusori, che ebbe connotati diversi nel nord e nel sud del nostro continente. C'è da precisare subito che le informazioni vengono da fonti documentali, giacché i resti di fornaci scavate sono troppo diruti.

I documenti più antichi sono costituiti da un manoscritto siriano del IX secolo conservato al British Museum e dall'opera De Universo di Rabano Mauro degli inizi del XI secolo conservato nella biblioteca d Montecassino. Quest'ultimo potrebbe essere la copia di altro documento risalente al IV-V secolo. In entrambi i casi è descritta una fornace a tre piani: nella camera centrale venivano sistemati i crogioli contenenti il materiale vitreo da fondere che veniva prelevato attraverso diverse aperture approssimativamente circolari; il calore

veniva prodotto nella camera inferiore; la struttura era molto simile, per forma e dimensioni, a quella rappresentata sulle lucerne di epoca romana; essa, però, terminava in alto con una terza camera chiaramente destinata alla ricottura dei manufatti, trattamento necessario per eliminare gli sforzi termici indotti dal raffreddamento repentino. Nel documento di Montecassino c'è anche una illustrazione che mostra un artigiano intento alla soffiatura del vetro. Egli, come il romano, è seduto sul tradizionale sgabello a tre piedi ed ha a disposizione il tradizionale ripiano di marmo, che sporge dal forno in corrispondenza della bocca di prelievo, sul quale rotolare e rendere liscia la massa vitrea, appena prelevata dal crogiolo. La presenza della camera superiore, destinata alla ricottura, rappresenta, rispetto alla fornace della lucerna romana, una notevole implementazione con sfruttamento migliore del calore prodotto nella camera di combustione.

Lo sviluppo successivo è mostrato da diversi documenti del XV e XVI secolo (un manoscritto della biblioteca vaticana del XV secolo; una pubblicazione degli inizi del XVI secolo, Glanskonst, di un prete svedese che viveva a Roma, Peder Mansson; l'opera De la Pirotechnia di Biringuccio, datata 1540; il De Re Metallica di Georgius Agricola del 1556; il dipinto, opera di G.M.Butteri conservato nello studiolo di Francesco I de Medici, in cui è ritratto l'interno dell'officina vetraria del Granduca). La struttura acquistò la forma, approssimativamente, di un semiellissoide e si ingrandì: l'altezza ed il diametro della sezione massima, alla base, divennero ~3- 4 m. La fornace era divisa in tre sezioni. La camera di combustione era in basso. La camera centrale era separata da essa da un ripiano forato al centro per consentire al calore di propagarsi; diverse aperture consentivano l'introduzione dei crogioli ed il prelievo di masse fuse con la canna da soffio.

La ricottura dei manufatti avveniva nella camera in alto, separata anch'essa da quella sottostante tramite un piano con un foro eccentrico per il flusso di calore. Nei documenti si parla di materiali refrattari argillosi. In uno di essi (Biringuccio) è suggerita una modalità di introduzione dei crogioli, di argilla, che evita di disturbare eccessivamente il regime termico del forno. In alcuni (Biringucio, dipinto di Butteri) sono visibili delle strutture aggettanti a ridosso della camera superiore, chiaramente destinate ad un elaborato processo di raffreddamento: l'estrazione lenta attraverso tali condotti (nei quali si stabiliva un gradiente termico assiale) consentiva un raffreddamento lento e progressivo dalla temperatura di ricottura a quella ambiente.

Questa struttura destinata al raffreddamento lento risulta ulteriormente perfezionata successivamente: essa si allunga per ridurre il gradiente termico e rendere ancora più progressivo il raffreddamento. Ciò è ben documentato ne 'L'arte vetraria' di A.Neri (XVII secolo), dall'illustrazione del frontespizio delle 'Due lettere di Fisica al Signor Marche-

se Scipione Maf-fei' di Gian Lodovico Bianconi (XVIII secolo) e dal modello in maiolica conservato presso il Museo delle Scienze di Londra ((XVIII secolo). Questi ultimi documenti mostrano altresì un'ulteriore camera destinata presumi-bilmente alla produzione della fritta, accorpata in un'unica struttura con la camera per la fusione e il condotto per la ricottura e raffreddamento dei manufatti. Questo rappresenta un'ulteriore evoluzione in quanto nei documenti precedenti si faceva esplicito riferimento a forni per la fritta distinti da quelli per fusione. Nell'Europa settentrionale le fornaci si sono sviluppate in maniera diversa. Esse non erano quasi mai a pianta circolare. Inoltre i tre ambienti destinati alla produzione della fritta, alla fusione ed alla ricottura erano realizzati su uno stesso livello ed associati in un'unica struttura con un unico focolaio per la produzione del calore. Un'importante innovazione si ebbe in Inghilterra nel XVI secolo quando la legna fu sostituita dal carbone e, successivamente, furono creati i primi forni terminanti in alto con strutture coniche molto alte (fino a 25 m). Il tiraggio assicurato da tali strutture incrementò notevolmente l'efficienza produttiva.

Età contemporanea

Come detto in precedenza la possibilità di fondere a temperature elevate (1300-1450°C) miscele di reagenti puri ha eliminato la necessità di produrre la fritta. L'epoca dell'industrializzazione ha prodotto, inoltre, processi di produzione di oggetti commerciali completamente automatizzati, come quello della soffiatura automatizzata in stampi.

Una innovazione importante per quanto riguarda il vetro per applicazioni nell'architettura è costituito dal metodo "float" per la produzione di vetro piano. In epoca romana questo era prodotto colando piccoli pani di vetro su superfici piane e distendendo gli stessi, manualmente, in sottile strato nel corso del raffreddamento. Il risultato era che le irregolarità della superficie rimanevano impresse su una delle superfici della lastra. Una tecnica migliore era quella di imprimere, nel corso della soffiatura, una forma cilindrica alla massa; nel corso del raffreddamento il cilindro era tagliato ed aperto a dare una lastra di vetro. L'alternativa era costituita dal vetro "corona": una massa di vetro colata su uno stampo veniva riportata in condizione di fluidità e fatta raffreddare imprimendo allo stampo un movimento rotatorio intorno ad un asse verticale; la forza centrifuga distendeva la massa in dischi di spessore non uniforme del diametro massimo di 1,20 m.

Queste tecniche hanno consentito di realizzare le splendide vetrate medievali. Il moderno metodo "float" consiste nel colare vetro fuso su stagno fuso; galleggiando sul metallo il vetro scorre in ambienti in cui c'è un gradiente di temperatura che consente il controllo del processo di raffreddamento. È così possibile realizzare lastre di vetro di notevole dimensione, dallo spessore uniforme. Ciò ha consentito, in architettura, applicazioni impensabili in passato: le lastre, sospese ad uno scheletro metal-

lico, sostituiscono la muratura. Nonostante l'empirismo che, come detto inizialmente, tuttora impronta talune produzioni, il progresso delle conoscenze ha dato risultati ancora più innovativi.

Oggi sono note importanti tecniche alternative per la produzione dei vetri: elettrodeposizione, deposizione da fase gassosa, metodo sol-gel. Si è compreso che la natura vetrosa non è propria dei materiali silicatici tradizionali ma che tutti i materiali sono ottenibili allo stato vetroso, persino i metalli. Il vetro è stato proposto per applicazioni fortemente innovative: ridotto in fibre sottilissime può essere utilizzato come rinforzo di materie plastiche per compositi che trovano applicazioni nel settore automobilistico, aerospaziale, civile…; è possibile fabbricare materiali da usare come elettroliti solidi in batterie; alcune composizioni mostrano una grande capacità di legarsi all'osso (bioattività) e sono proposti per protesi biomediche; leghe ferrose vetrose hanno proprietà di magneti dolci laddove le stesse, allo stato cristallino, costituiscono magneti duri.

Conclusioni

Da quando, agli albori della civiltà, sono stati scoperti i primi segreti della tecnologia vetraria, l'uomo è entrato in possesso di uno strumento formidabile per liberare la sua fantasia creatrice e rendere più bella la realtà in cui vive.

Il progresso della scienza ha permesso la produzione di materiali vetrosi e manufatti fortemente innovativi di grande interesse applicativo.

La scienza del vetro si presenta oggi come uno dei campi di studio, ricerca ed attività umana di maggior interesse.

[1] H. RAWSON, *Inorganic Glass-forming System*, London & New York, Academic Press, 1967

[2] R. NEWTON, S. DAVISON, *Conservation of Glass*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

[3] E.V. SAYRE, R.W. SMITH, *Compositional Categories of Ancient Glass*, Science, 133, 1824-26 (No.3467), 1961.

[4] R.H. BRILL, *The chemical interpretation of the texts* in *Glass and glass-making in Ancient Mesopotamia*, ed. Oppenheim et al., Corning, 1970.

[5] D.B. HARDEN, *Vetri dei Cesari*, Milano, Stabilimento Grafico Scotti, 1988.

[6] R. BAROVIER MENTASTI, *Il vetro Veneziano*, Venezia, Electa Editrice, 1988.

[7] O. DRAHOTOVA, *L'Arte del Vetro in Europa*, ed.it., La Spezia, Fratelli Melita Editori, 1991.

Pasquale Argenziano

De Aquaeductu Urbis Romae *di Sesto Giulio Frontino*

Questo contributo è incentrato su una rilettura del magistrale trattato sugli acquedotti di Roma, il *De Aquaeductu Urbis Romae*, opera di Sesto Giulio Frontino[1] (30-104 d.C.). Tra le fonti antiche[2], l'opera è di certo la maggiore per interesse scientifico e documentario nello studio delle architetture idrauliche realizzate dai Romani. Esse costituiscono la testimonianza tangibile della gloriosa politica dei nostri avi e della raffinata tecnologia (tutt'oggi in parte utilizzata) che gli ingegneri seppero elaborare sulle esperienze e sulla sperimentazione applicata alla pratica del costruire.

Nell'economia delle presenti note, si intende riflettere –attraverso il testo di Frontino– sull'acquedotto romano inteso come 'sistema' ovvero come insieme di manufatti coordinati tra loro per un'efficiente funzionalità della rete idrica, realizzati per meglio adattarsi alla natura dei luoghi, all'orografia e alla morfologia del percorso dalle sorgenti alla città. Queste soluzioni tecniche le ritroviamo negli acquedotti di Roma, i maggiori per estensione, tecnica costruttiva e portata d'acqua, ma anche in tutte le opere idrauliche che segnavano (ed in parte segnano ancora oggi) il paesaggio contermine delle maggiori città dell'Impero romano.

Nel momento culmine della sua storia, la capitale era servita da undici acquedotti: una complessa rete idrica che dal centro si estendeva a raggiera con uno sviluppo complessivo di circa cinquecento chilometri- verso i laghi Sabatini a settentrione ed i colli Albani a meridione.



Fig. 1 – Ippolito Caffi, L'Acquedotto Claudio*, 1857; olio su tela. Roma, Museo di Roma*

Nella qualità di *curator aquarum,* Sesto Giulio Frontino attese a nove acquedotti dei quali quattro – *Aqua Apia*, *Anio Vetus*, *Aqua Marcia* ed *Aqua Tepula* – furono costruiti in età repubblicana; tre – *Aqua Iulia*, *Aqua Virgo*, *Aqua Alsietina* – furono realizzati in epoca augustea; gli ultimi due documentati dall'autore – *Aqua Claudia* e *Anio Novus* – furono iniziati dall'imperatore Caligola e terminati da Claudio. Nel 109 fu costruito per volere dell'imperatore Traiano l'*Aqua Traiana* e nel 226 grazie ad Alessandro Severo l'*Aqua Alexandrina*: il primo serviva ad approvvigionare le località del Gianicolo e Trastevere ed il secondo per addurre acqua alle terme Alessandrine[4].

Il sistema 'acquedotto'

Dalla fonte alla città, l'acquedotto può essere schematizzato secondo quattro elementi coordinati: la sorgente, il canale, il *castellum aquae*, la rete idrica urbana.

Nella complessa costruzione dell'acquedotto, il canale costituiva l'asse portante: quell'elemento che estendendosi sul territorio, adagiandosi ad esso (*verter*) o imponendosi nel paesaggio con monumentali arcate, consentiva che l'acqua giungesse in città in quantità e pressione tale da essere distribuita con capillarità a tutte le utenze. Le condutture manufatte potevano essere in speco sotterraneo, su muri di sostegno o su arcate: declinazioni tipologiche del canale utilizzate in qualsiasi combinazione al fine di risolvere esigenze contingenti per ottenere la corretta percorrenza delle acque sempre nel miglior rapporto tra costi e benefici.

La realizzazione del tracciato delle condotte seguiva due variabili fondamentali: la pendenza dalla sorgente alla città e la variazione del corso rispetto la minima distanza tra gli stessi punti senza che esso compromettesse la pendenza media della condotta. Percorsi non rettilinei venivano realizzati per diminuire la velocità del liquido oltrechè per aggirare ostacoli fisici altrimenti non superabili. In ogni caso dovevano essere evitati tratti piani che provocassero il ristagno dell'acqua così come pendenze troppo elevate che potessero erodere il rivestimento del condotto.

Una così grande maestria nella progettazione e nella realizzazione delle opere idrauliche era possibile grazie all'utilizzo della *groma* o del *corobate*. Nel Trattato, Frontino non fa riferimento né a questi strumenti né al loro utilizzo: è evidente il rimando implicito alla sua precedente opera sulla *agrimensura*, pervenutaci in forma frammentaria[5].

Il paesaggio della campagna romana è segnato da lunghe teorie di arcate che conferiscono all'ambiente carattere di identità e di unicità. Le arcate dell'*Aqua Marcia* e *Claudia* -nei pressi del casale Roma Vecchia- le possiamo apprezzare nella loro magnificenza così come nei loro particolari costruttivi e materici nelle riprese paesaggistiche e nei disegni di viaggio di Gaspar van Wittel, J.M. William Turner, Ippolito Caffi (Belluno 1809-Lissa 1866), Arthur John Strutt (Chelmsford 1819-Roma 1888), per citarne i maggiori[6]- e nelle fotografie di Giorgio Sommer e dei fratelli Alinari.

I materiali utilizzati nella costruzione delle monumentali arcate come di tutte le parti che componevano l'acquedotto, variavano a seconda delle risorse locali a dimostrazione di come i costruttori romani utilizzassero materiali propri dei territori dov'erano siti i cantieri al fine di economizzare i costi di trasporto pur mantenendo inalterati le caratteristiche tecnico-costruttive.

Giunto in città, all'interno delle mura urbane oppure lungo il percorso della conduttura (dove fosse stato necessario derivare l'acqua per particolari utenze) venivano costruiti i *castella aquarum*: architetture isolate in diretta connessione alla condotta principale, dalle quali

si diramavano tre diverse tubazioni. La prima adduceva acqua per uso imperiale, la seconda per uso pubblico, alimentando le fontane e le terme, e la terza si diramava alle *domus*. Nella sola città di Roma i *castella* erano ben duecentoquarantasette e attraverso questi venivano distribuiti oltre 10360 quinarie, ovvero 429.940 m^3, di acqua al giorno. Gli elementi finali del sistema 'acquedotto' erano i tubuli e le *fistulae*: tubi modulari di terracotta e di piombo che componevano le tubature della rete idrica urbana. Tubi di piombo sono stati ritrovati in gran numero nel sottosuolo di Roma; gli esempi più interessanti sono però quelli di Pompei che possiamo studiare all'interno della rete idrica così come venivano messi in opera dai fontanieri romani. All'interno delle *domus* e delle terme, rubinetti e bocche per fontane finemente cesellati rappresentavano l'elemento ultimo del lungo e complesso sistema dell'acquedotto.

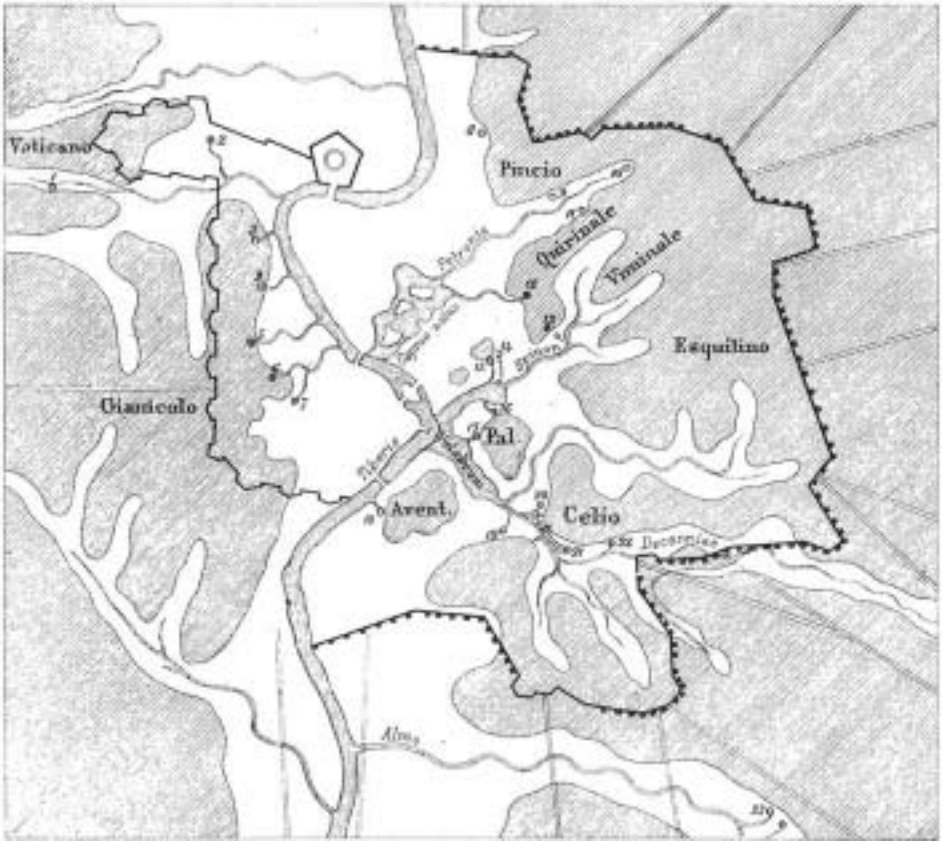


Fig. 2 – Idrografia del suolo di Roma; Rodolfo Lanciani, Topografia di Roma antica. I commentarii di Frontino […]*, Roma 1880; tav II. Il corso del fiume Tevere e i suoi affluenti nell'area urbana della capitale. Segmenti rettilinei segnano i tracciati degli acquedotti nell'intersezione con il perimetro murario della città*

Nel Museo Archeologico Nazionale di Napoli possiamo ammirare alcuni rubinetti a maschio in bronzo realizzati a "cera perduta" non dissimili da quelli utilizzati nelle nostre case.

Questi elementi minuti di arredo idraulico, complessi per realizzazione e ricercati nel decoro, al pari delle magnifiche architetture idrauliche testimoniano il grande livello tecnologico raggiunto dagli ingegneri romani nella scienza e nella tecnica idraulica.

La modernità del Testo frontiniano

Sesto Giulio Frontino rivestì la carica di *curator aquarum* nel 97 d.C. sotto l'impero di Nerva dedicandosi alla gestione della rete idrica e alla redazione della sua ponderosa opera: una vera e propria "fonte" di notizie tecnologiche ancora oggi utile per gli studi idraulici.

Sin dal momento della sua nomina[7] raccolse note ed appunti sulla base degli archivi dell'amministrazione – già riorganizzati da Agrippa – ed abbozzò una prima redazione di quelle notizie di cui egli stesso necessitava per svolgere degnamente il suo compito. Era "*primo e principale obbligo conoscere ciò che aveva tra le mani*" – così afferma nel primo libro – conscio della delicatezza del suo prestigioso incarico perché riguardava non solo l'approvvigionamento idrico ma anche la sanità e la sicurezza dell'Urbe[8].

Il Testo -pervenutoci in diverse edizioni[9] dal XV al XIX secolo- è articolato in centotrenta brevi capitoli organizzati in un prologo e due libri: il primo racchiude dal IV al LXIII capitolo, il secondo quelli fino al CXXX. Nei capitoli dal IV al LXXXVI si fa riferimento alla pratica dell'ammini-strazione delle acque e agli aspetti tecnici dei quali il funzionario doveva essere a conoscenza. I restanti capitoli sono incentrati su tematiche giuridiche[10] ovvero sulla legislazione relativa alla conduzione, protezione e distribuzione del bene, alle sanzioni previste per legge, ai decreti del Senato e alle prescrizioni imperiali in materia.

Frontino in questo modo delinea la figura del *curator aquarum*, il sovrintendente alle acque competente in materia tecnica, amministrativa, giuridica e finanziaria per tutto ciò concerneva la gestione della rete idrica. Incarico questo rapportabile agli odierni Magistrato alle Acque[11] e Magistrato del Po che hanno competenza sulla difesa del suolo e delle acque dell'area lagunare veneta, il primo, e del bacino e delta fluviale, il secondo.

Dalla lettura del testo emerge una metodologia di approccio ai molteplici aspetti idrotecnici tale da poter essere definita "sperimentale". Nei capitoli dedicati alla descrizione degli acquedotti si evince una scrupolosa e sistematica catalogazione delle architetture idrauliche: è riportato da chi e sotto quali consoli, in quale anno dalla fondazione di Roma l'opera fu costruita, quindi da quali luoghi e da quale miliario essa aveva origine, quanti *passus* il condotto percorreva in canale sotterraneo, su muri di sostegno, su arcate; inoltre era riportata la portata e la quantità d'acqua che veniva distribuita fuori e den-

tro l'Urbe per ciascuna regione, attraverso quanti *castella aquarum* veniva distribuito il prezioso liquido ad uso pubblico, imperiale e privato[12].
Tutto ciò fu possibile grazie alla sua evidente intelligenza organizzativa posta a capo di diverse centinaia di persone che a vario titolo e competenza facevano parte del suo Ufficio[13] Frontino ispezionò e rilevò di persona l'oggetto da documentare, diede disposizione ai suoi dipendenti di elaborare, per una maggiore conoscenza ed un migliore esercizio, planimetrie e modelli plastici "*nei quali si vede con chiarezza dove sono le valli e quali sono le loro dimensioni, dove attraversano i fiumi, in che punto vi sono canali aperti,* [dove sono] *accostati alle falde dei monti, dove richiedono una maggiore attenzione e più frequenti ispezioni e riparazioni. Da ciò risulta un grande vantaggio perché* – come scrive nel Testo – *posso all'istante avere fra le mani il problema come se stessi vedendo e decidere come se fossi presente*"[14].

Alla luce di questa ricca e articolata documentazione e soprattutto del rigoroso metodo messo a punto dall'Autore, il *De Aquaeductu Urbis Romae* si colloca in posizione preminente nel quadro delle fonti classiche a carattere tecnico-scientifico. Esso va oltre la mera rendicontazione tecnico-descrittiva, costituisce un documento alla data della consistenza e della funzionalità della rete idrica capitolina e, nello stesso tempo, un testo a carattere metodologico-scientifico della idrologia e della idraulica classica.

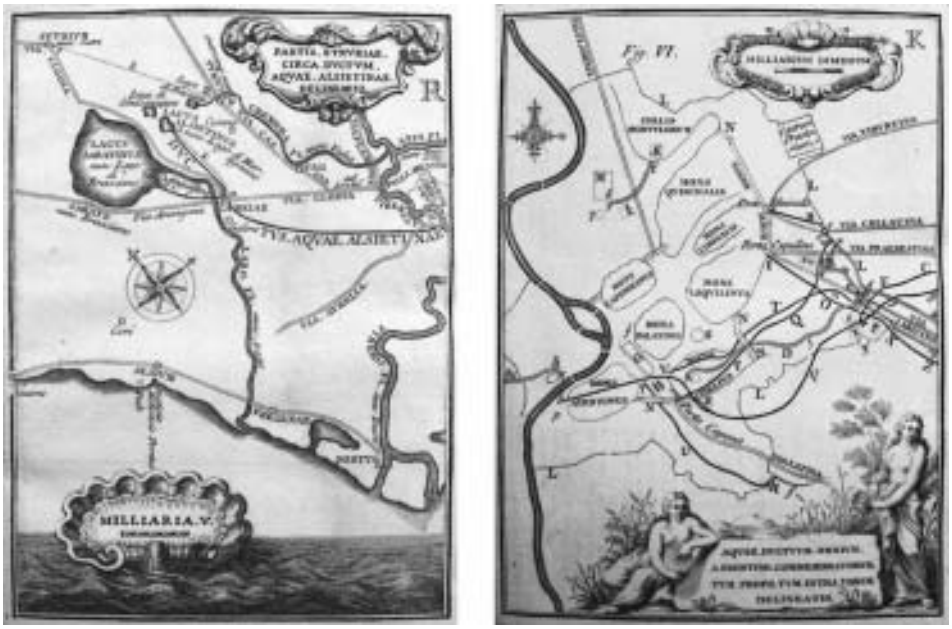
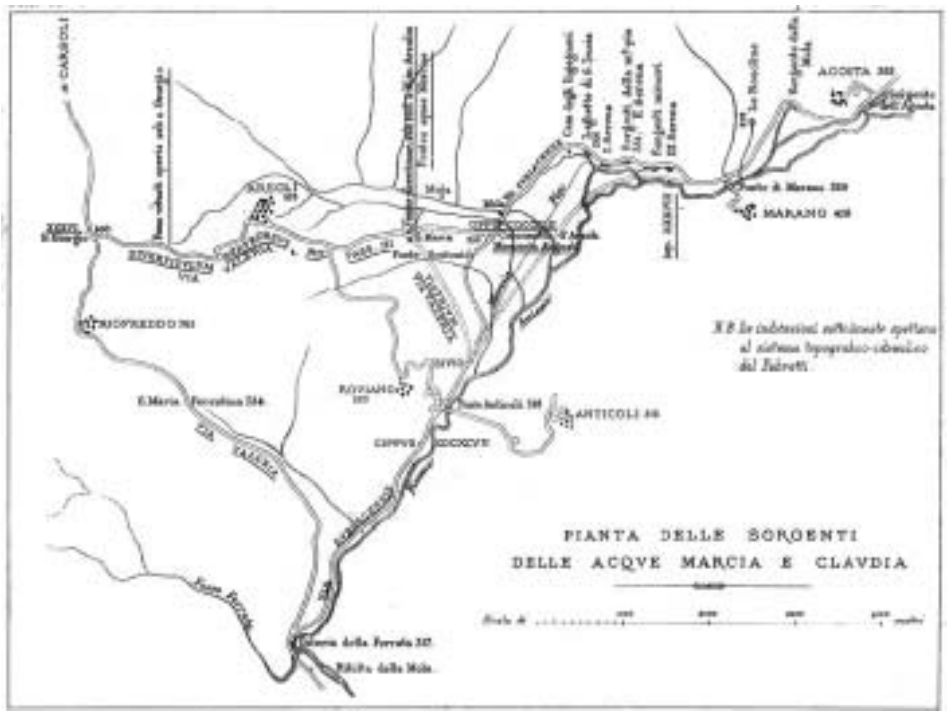


Fig. 3 – Il percorso degli acquedotti nei territori a settentrione e meridione di Roma. Giovanni Poleni, Sex Iulii Frontini De Aquaeductibus Urbis Romae*, Padova 1722; tavole R e K.*

Oltre i temi trattati, l'autore e la sua opera -il primo non conosciuto e studiato quanto si dovrebbe, la seconda non ancora riletta con il dovuto taglio critico- si rivelano quali punto di svolta in direzione moderna della cultura classica. Si può paragonare, quindi, Sesto Giulio Frontino e il *De Aquaeductu Urbis Romae* (fine I sec. d.C.) a Raffaello Sanzio e la sua *Lettera a Leone X* (1519)[15].

Il testo classico, ancor prima di quello rinascimentale, introduce nella letteratura scientifica il rigoroso metodo di analisi sistematica e di gestione preventiva del territorio esperiti attraverso il rilievo, diretto e strumentale, e la rappresentazione bidimensionale e tridimensionale di esso in modelli tangibili. Questi concetti li ritroviamo -come è noto-approfonditi con maggiore carattere critico nel lettera raffaellesca. Nei due testi a confronto le fabbriche classiche sono prese a modello da opposti punti di vista: il primo era teso alla gestione del bene architettonico nella sua precipua funzionalità il secondo le analizzava quali monumenti da tutelare e studiare come *fonti* per un nuovo disegno dell'architettura.



. 4 – Pianta delle sorgenti delle Acque Marcia e Claudia. Rodolfo Lanciani, Topografia di Roma antica. I commentarii di Frontino […]*, Roma 1880; tav V.*

[1] Nato al tempo dell'imperatore Tiberio morì regnante Traiano; nel 70 fu *praetor urbanus* e poi fu al comando della *Legio Secunda Adiutrix* in Germania inferiore; nel 74 divenne console della Bretannia. Riportò le sue esperienze militari in due diverse opere *De rei militaris* e *Stratagematon libri IV*.

[2] Al tempo di Frontino diversi autori avevano già scritto di idrologia e idraulica: Tito Lucrezio Caro nel *De rerum Natura*, Ovidio Nasone nelle *Metamorfosi*, Lucio Seneca nel terzo libro delle *Naturales Quaestiones*, Vitruvio nell'ottavo libro del *De Architectura*, Plinio il Vecchio nella *Historia Naturales*.

[3] VITRUVIO, *De Architecuta*, VIII, 7.

[4] Per una trattazione organica degli acquedotti si rimanda al testo originale in latino, alla traduzione italiana dell'Orsini (1805) e quella spagnola di Tomas Gonzalez Rolan (Madrid 1985). Per la preziosità delle tesi esposte cfr. R. LANCIANI, *Topografia di Roma antica. I commentarii di Frontino intorno le acque e gli acquedotti. Silloge epigrafica aquaria* in «Atti della R. Accademia dei Lincei», ser. III, vol. IV, Roma 1880; la ponderosa opera del Lugli, quella di Adam e il catalogo AA. VV., *Il trionfo dell'acqua* cit.; il mio contributo dal titolo *Sesto Giulio Frontino curator aquarum e il De Aquaeductu Urbis Romae* in F. STARACE (a cura di), *L'acqua e l'architettura. Acquedotti e fontane del regno di Napoli*, collana *Imagines*, 8, Lecce, Edizioni del Grifo, 2002, pp. 35-66.

[5] Nella Biblioteca Nazionale di Napoli si conserva un compendio di molti autori di *agrimensura* tra i quali Frontino, *De agrorum qualitate* in *Rei agrarie auctores legesque variae quaedam*, Amsterdam 1674.

[6] Si rimanda alle biografie dei singoli autori mentre per il tema del paesaggio archeologico cfr. ALESSANDRA COEN, STEFANIA GIGLI QUILICI, *Uomo Acqua e Paesaggio*, Atti dell'Incontro di studio sul tema "Irriggimentazione delle acque e trasformazione del paesaggio antico, S. Maria Capua Vetere 22-23 novembre 1996, Roma, l'Erma di Bretschneider, 1997.

[7] S.G. FRONTINO, *De aquaeductu Urbis Romae*, II, 3.

[8] Nel primo capitolo dell'opera, con il termine sicurezza, l'autore si riferisce ai servizi di antincendio che dipendevano dalle risorse idriche.

[9] La prima edizione, desunta come le altre dai codici manoscritti, apparve a Roma tra il 1484 e il 1487 curata da Pomponio Leto e Sulpicio Verano; quindi furono date alle stampe numerose altre in diverse città d'Europa tra le quali è da segnalare quella di Giovanni Poleni, matematico ed ingegnere veneto, pubblicata a Padova nel 1722.

[10] Questi ultimi capitoli sono sostenuti da una ricerca letteraria e quindi probabilmente non redatti con immediatezza.

[11] Più in particolare il Magistrato alle Acque ha competenza sulle lagune di Venezia, Murano e Grado nonché sui bacini fluviali nazionali dell'Adige, del Brenta-Bacchiglione, del Piave, del Livenza, del Tagliamento e dell'Isonzo di carattere internazionale.

[12] FRONTINO, *De aquaeductu* cit., III.

[13] Nei capitoli C, CXVI, CXVII e CXIX Frontino illustra l'articolata composizione del corpo tecnico a cui era demandata la manutenzione e il controllo quotidiano dell'erogazione idrica. Sull'argomento si legga inoltre C. D'AMATO, *L'Amministrazione delle acque in età romana*, in AA. VV., *Il trionfo dell'Acqua. Acque e Acquedotti a Roma IV sec. a.C. – XX sec.*, Roma, Paleani Editrice, 1986, pp. 176-186.

[14] FRONTINO, *De aquaeductu* cit., XVII, 3.

[15] Sul testo cinquecentesco cfr. A. M. BRIZIO, *Il rilievo dei monumenti antichi nei disegni d'architettura della prima metà del cinquecento*, relazione svolta nella seduta ordinaria del 12 febbraio 1966, Accademia Nazionale dei Lincei, a. CCCLXIII, quaderno n. 84, Roma.

Ciro Robotti

Francesco de Marchi, ingegnere-trattatista del Rinascimento

Premessa

Con questo contributo si intende interpretare e descrivere alcune tra le numerose attività professionali dell'ingegnere Francesco de Marchi (1504-1576), bolognese di nascita, cittadino romano, studioso di ingegneria militare in cui eccelle per le sue doti di ricercatore e di realizzatore di opere difensive "alla moderna".

La sua vita è caratterizzata da forte volontà conoscitiva basata su una acquisita cultura umanistica raggiunta progressivamente con soggiorni a Roma, a Napoli e a l'Aquila oltreché a seguito di numerosi viaggi in Italia e all'estero per l'attività progettuale di edifici civili e militari. Attività quella delle fortificazioni che lo pone in posizione preminente tra i teorici europei del Cinquecento che pur numerosi si accingevano a sviluppare studi e ricerche sulle nuove opere di fortificazione militare per nuclei urbani, territori e impianti campali. Dell'ingegnere de Marchi sono registrate le presenze a Roma dall'età di sedici anni e per più tempo a Napoli e in Abruzzo alla corte di Margarita d'Austria (1522-1586) figlia naturale di Carlo V d'Asburgo. Tra le esperienze militari sul campo sono da registrare la partecipazione alla battaglia di Pavia (1525) e all'assedio di Firenze (15291530) nonché le sue peregrinazioni (nel 1556) in Belgio e in Inghilterra e poi nelle Fiandre (1558) per realizzare edifici civili e fortificazioni.

I viaggi del de Marchi indicano un momento particolare della ampia diffusione in Europa della nuova tecnica difensiva di città e territori. È l'epoca dell'attività del "maestri" e della supremazia della nuova architettura da guerra sviluppata in Europa e nei paesi del Mediterraneo nonché in siti dell'America centrale. Il riferimento è alla panoramica delle fortificazioni in Austria, Spa-



Fig. 1 – Ritratto di Francesco de Marchi. Dell'architettura Militare*, Brescia 1599; Madrid, Biblioteca Nazionale. Il volto del capitano è incorniciato in una panoplia*

gna, Francia, Fiandre, Polonia, Germania, Inghilterra, Ungheria, nei Paesi Bassi, nel Marocco, a Malta, a Cuba e nel principato di Monaco.

Per l'operato del de Marchi tra i capitani d'arme e ingegneri[1] giova far riferimento al gruppo di trattatisti italiani -invero numerosi- e alle loro pubblicazioni in cui ritroviamo descritte e disegnate le rispettive esperienze sulle fortifica-zioni "alla moderna" ovvero mura bastionate e cittadelle per città fortificate. Con i loro trattati fu orientata la "modellazione" dei pre-esistenti agglomerati urbani, dapprima arroccati intorno a castelli medievali e poi aperti al territorio ancorché difesi da un nuovo perimetro urbano con mura bastionate creando così nuovi spazi, nuovi quartieri per residenze civili nonché per l'acquartieramento di milizie. Le teorizzazioni formarono anche "scuole" che sono state distinte in quelle cortigiana e militare; la prima basata su intuizioni e aspetti storici delle fortificazioni e perciò a prevalente carattere letterario, la seconda su esperienze di guerra e di cantiere. In quest'ultimo gruppo viene generalmente incluso il trattatista Francesco de Marchi che per le sue esperienze sul campo e per il pensiero esplicitato accanto ai progetti è da includere nel gruppo degli scienziati quando l'architettura delle fortificazioni diventa vera e propria arte con i suoi specifici statuti sorretti altresì dalla riscoperta della classicità.



Fig. 2 – Figura allegorica dal controfrontespizio del Trattato. In alto sulla cornice ovale, lo stemma nobiliare del capitano de Marchi

La sua sensibilità e formazione alla cultura militare si è venuta formando come egli stesso scrive- sin dall'età giovanile (dal 1520 in poi) approfondita durante i soggiorni nel 1533 presso Alessandro de Medici (morto nel 1537) e poi dei Farnese nel 1536, a Roma e a Napoli e ancora dal 1536 quando stette sino alla sua morte alla corte di Margarita d'Austria andata sposa in seconde nozze con Ottavio Farnese (1524-1586) nipote di Paolo III e futuro duca di Parma e Piacenza. I viaggi nelle Fiandre orientali del de Marchi avvengono a seguito dell'impegno assunto da Margarita d'Austria (nota poi come duchessa di Parma) quale governatrice imperiale di tali territori su investitura del fratellastro Filippo II (1527-1598) re di Spagna.

Le fortificazioni territoriali

Nel periodo in esame si andava altresì intensificando la costruzione di torri di avvistamento per la difesa delle coste italiane sottoposte a continue scorrerie di turchi e barbareschi. In proposito è da annotare che durante un viaggio nel Tirreno (1538) per portare a termine un incarico per i Farnese il de Marchi scrive: "Abbiamo veduto alli giorni nostri presso Napoli il fuoco fare un altissimo monte dentro il mare. Io vidi questo fuoco e dove è il Monte misono ritrovato stare con molte barche

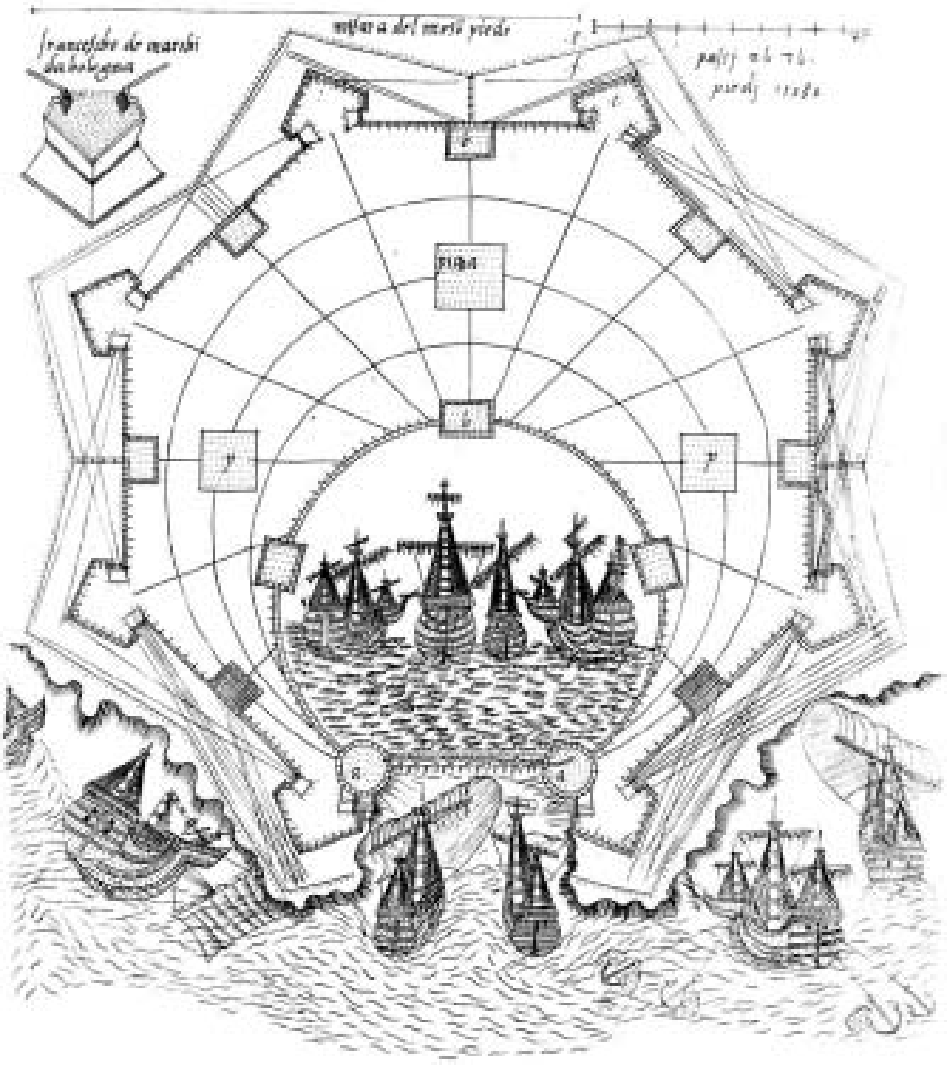


Fig. 3 – Fortificazione portuaria ottagonale con due torrioni sulla bocca di porto. Francesco de Marchi, Dell'Architettura militare*, Brescia 1599*

di vini grechi che venivano a Roma". E con il gusto dell'avventura che gli è proprio aggiunge: "Mi sono trovato nell'isola di Ponza, mi fu preso da corsari una barca carica di vini grechi, ma non la mia, ch'era leggera e piccola, mi salvai con dare in terra nel fiume di Terracina". Ancora: "l'anno 1543 venendo da Napoli in una fregata e fuggendo dalle fruste de' Corsari turchi, arrivammo con fortuna alle bocche del Tevere e qui si perse la barca. Io benché sapessi nuotare presi un barile tutto ben serrato e nuotando venni a terra con fatica assai perché ero in mare un buon terzo di miglio".

Questa breve avventura del Nostro che si commenta da sola- riveste un certo interesse perché ci fa sapere di una azione piratesca, una delle tante lungo le coste italiane e del suo coraggio nel mettersi in salvo con l'aiuto di un "barile" per portarsi a terra nuotando. È un evento quest'ultimo che rimanda a quello celebre svolta nel lago di Nemi nel 1535 dopo l'esperienza fatta da Leon Battista Alberti per il recupero delle navi romane dell'im-peratore Caligola. L'impresa si rivelò interessante sia sotto il profilo conoscitivo di una architettura residenziale galleggiante -antesignana delle navi per passeggeri dei tempi nostri- sia per l'approccio ad un complesso architettonico antico da acquisire da parte di studiosi dell'architettura civile. È questo un impegno del de Marchi che interessato allo studio delle nuove fortificazioni aggiunge quello di attento ricercatore su forme dell'antico; infatti interviene a Nemi per il recupero delle navi giacenti sul fondo del lago. L'operazione di recupero purtroppo andò fallita come quella intrapresa 89 anni prima da Leon Battista Alberti su incarico del cardinale Prospero Colonna. I due architetti -la cui prima formazione culturale si basa, per entrambi, su studi compiuti a Bologna in età giovanile- risultano essere inerenti all'architettura contemporanea a quella antica, mostrando impegno concreto rispetto a pratiche realizzazioni finalizzate alla conoscenza e allo sviluppo della tematica operativa nella dialettica tra antico e moderno. Il pluralismo di interessi ha infatti reso ai due avventurosi architetti una aura di nobiltà nell'avanzamento degli studi dell'arte figurativa.

Con riferimento al recupero della nave di Nemi giova ricordare che, nel 1446 il cardinale Prospero Colonna chiamò a se lo studioso che meglio d'ogni altro sembrava preparato all'ardua impresa: Leon Battista Alberti che concepì un ingegnoso piano per il recupero, ricorrendo a corpi galleggianti (botti vuote) per valersi di essi per far sollevare dal fondo la nave, ma che non poté riuscire per la difficoltà di un sicuro mezzo per imbracare lo scafo; infatti nonostante l'opera di marinai chiamati da Genova e abilissimi nel tuffarsi, e nonostante il gran numero di uncini piantati nelle strutture lignee, la nave si schiantò, e non se ne trasse alla superficie che un frammento della prora.

Nel 1535, circa un secolo dopo l'impresa di Leon Battista Alberti, fu tentato un secondo recupero dall'inge-gnere militare Francesco de Marchi che volle

sperimentare una nuova invenzione di un suo compagno Guglielmo di Lorena. Trattatavasi di una specie di campana da palombaro, adattata a1 corpo coprendolo dalla cintola in su, lasciando libere le mani e con un vetro per consentire la visione sott'acqua. Con tale strumento il de Marchi poté esplorare la nave, e per quanto lo consentivano la scarsezza di luce e le alterazioni che alla visione apportavano lo spessore del cristallo e gli strati d'acqua e la quantità di materiale leggerissimo in sospensione nell'acqua stessa, riuscì a formarsi una idea abbastanza esatta della imbarcazione che presentava una struttura sopra coperta fatta di elementi articolati in modo da sembrare una residenza galleggiante. Tali sovrastrutture, da quanto aveva potuto vedere, gli erano sembrate le camere di un palazzo edificato sopra la tolda dell'imbarcazione dove non entrò per paura di perdere lo scafandro e quindi di poter essere invaso dall'acqua se egli non fosse rimasto nella posizione verticale. Nella descrizione dell'operazione alquanto rischiosa il de Marchi dice di essere riuscito ad agganciare una parte della barca a mezzo di un argano e un mulinello che, da un ponte fatto di botti, si poteva tirare all'aria il relitto. Con questi attrezzi furono tirati fuori d'acqua legni, qualche frammento di pavimento musivo, travi, chiodi, lamiere di piombo e di rame; due muli furono caricati dei suddetti reperti mentre sedici uomini impegnati nel tiraggio delle gomene non furono sufficienti per la rottura di esse durante l'operazione del recupero dello scavo.



Fig. 4 – Niccolò Tartaglia, Nuova Scientia. Invenzione nuovamente trovata*, Venezia 1537; controfrontespizio. Sullo sfondo la rappresentazione della Filosofia -affiancata da Platone e Aristotele-, in posizione predominante sulle altre scienze: la Musica, la Prospettiva, l'Astronomia, l'Aritmetica e la Geometria*

Questa avventura resta impressa con evidenza nelle sue ideazioni di città e fortificazioni se nel suo trattato scrive: "Le città e castella si doveriano fare con quella propozione che fanno li valenti maestri le navi, che le fanno di tanta grandezza che le onde del mare non le fariano vacillare"[2].

I disegni per il volume Dell'architettura militare.

Ma per conoscere il "pensiero" dell'ingegnere de Marchi, bisogna esplorare le sue molteplici invenzioni architettoniche, militari e civili, sostenute dalla conoscenza della geometria e del-

la prospettiva e di tutti gli assunti teorici e pratici dell'epoca per ottenere risultati adatti a soddisfare dapprima egli stesso come progettista poi il committente e quindi i realizzatori dell'opera e le maestranze affinché tutti potessero acquisire le forme e le ideazioni tecniche da lui elaborate. L'ingegnere de Marchi -come risulta da questa mia ricerca- si è interessato di architettura civile accanto a quella militare e degli aspetti inerenti all'artiglieria, per cui il suo modo di progettare e di esporre in disegni è altamente convincente e di immediato approccio alle definizioni tecniche di difesa delle città in relazione agli impianti urbani.

Di notevole preziosità scientifica tradotta in rappresentazioni grafiche- è il volume membranaceo, rilegato in cartapecora, di cm 57,5 x 43,5, contenente ben 165 tavole "fatte a mano" oltre al frontespizio con la figura femminile in ovale su sfondo paesaggistico con nella parte superiore lo stemma del capitano Franc. de Marchi bolognese, cittadino romano inventore (conservato presso l'ISCAG di Roma). Nel libro quarto, cap. I, è scritto: "Questa opera si cominciò dal Cap.^{no} Franc.^{co} de Marchi da Bologna Cittadin Romano del mese di Agosto de l'anno mille cinque cento quarantasei 1546 in Roma"; su tutte le tavole compare la scritta "Cap. Franc. de marchi da Bologna cittadino Romano Author habet commentum". I disegni sono completi di scale a diversi rapporti: palmi, canne romane, pertiche, braccia lombarde, passi, pertiche parmigiane. I progetti risultano tracciati con la riga in maniera netta e precisa, con diverso spessore della penna mentre le linee più sottili indicano in genere le traiettorie delle armi da fuoco. Tra le mura bastionate spesso risulta delineata la struttura di città, di terra e di mare con porto. Nel capitolo XXX del suo trattato, il de Marchi affronta il problema della struttura urbana (ponti, strade, piazze, palazzi,ecc.) in rapporto all'impianto fortificatorio e nel cap.XXXVI del libro secondo sostiene la necessità del "disegnare in carta e fare modelli, scrivere discorsi sopra delle fortificazioni è cosa necessaria, perché altramente non si può fare cosa buona alla mente se in carta o modello non si farà prima."

***

Una seconda impresa vede come teatro ancora una volta la natura quando nel 1573 è in Abruzzo dove effettua l'ascensione all'asprissimo monte Corno nel complesso del Gran Sasso; di essa scrive le impressioni nel libro sesto, cap. IV del già citato *Dell'architettura militare*. Al testo aggiunge alcune rappresentazioni lasciando così al lettore la possibile emozione partecipativa all'impresa. I disegni che mostrano la perizia nelle descrizioni grafiche del Nostro, indicano il campo base, il tortuoso percorso per raggiungere la cima del monte, la vegetazione arbustiva delineata con notevole perizia grafica.

Quest'ultima esperienza è di tre anni precedente alla sua morte a l'Aquila. Sono attività segnate da razionale inge-

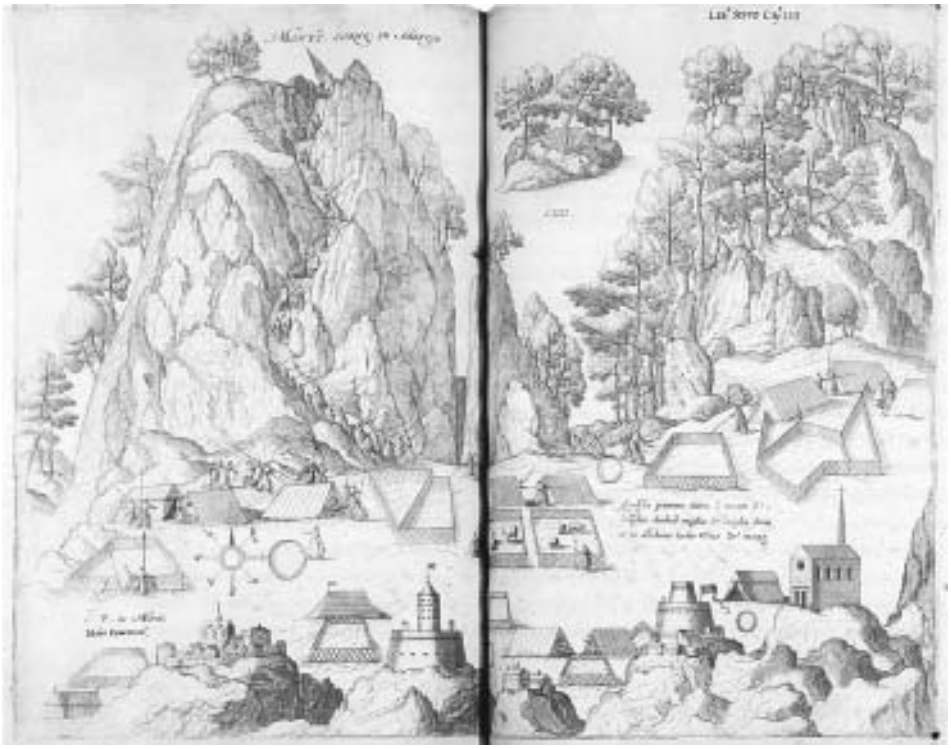


Fig. 5 – Monte Corno in Abrucio.
Francesco de Marchi, Dell'Architettura militare*, Brescia 1599, lib. Sesto cap. IIII*

gno ancorché sorrette da un costume di vita e di ricerca scientifica tipico degli ingegneri-architetti del Rinascimento. I contenuti del volume sono stati ripresi nel 1810, da Luigi Marini, che rielabora l'opera del de Marchi e l'arricchisce con molti suoi contributi; fu edita a Roma, in folio, in cinque tomi.

Tra le altre annotazioni il Marini offre al lettore un nutrito glossario di termini militari, diversi commenti ai 160 disegni delineati dal de Marchi e note sulla pratica di cantiere per realizzare fortificazioni che hanno inciso sullo sviluppo di numerose città europee nei due secoli successivi.

Alcune considerazioni

La sua sensibilità e formazione alla cultura dell'ingegneria militare "alla moderna" si è venuta formando -come egli stesso scrive- sin dall'età giovanile (aveva sedici anni) ed ancora più perfezionata stando al servizio di Alessandro de Medici dapprima a Roma, nel 1533, e poi di Margarita d'Austria in Abruzzo dal 1536 sino alla sua morte all'Aquila all'età di settantadue anni dopo aver svolto una vita avventurosa partecipando ad eventi straordinari oltreché di notevole importanza storica e di studi raccolti in un ponderoso lavoro di arte militare con disegni e descrizioni che lo

videro impegnato per molti anni. L'opera dal titolo *Della architettura militare libro tre* fu edita a Brescia nel 1599[3] - dopo la sua morte- e poi ancora nel 1602; l'autorevole ingegnere non voleva che le sue determinazioni militari potessero danneggiare, se divulgate, le intraprese strutture difensive da parte del sovrano Filippo II a cui l'opera aveva dedicata in vita. Sono tratti che delineano il comportamento di un professionista non certo permeato di piaggeria bensì di vera consapevolezza che lo pone in posizione eminente nel gruppo della Scuola militare italiana. È un poliedrico personaggio nel settore dell'ingegneria sempre proteso alla acquisizione di avanzati ritrovati tecnici sorretti altresì da forte volontà partecipativa agli eventi del suo secolo, quello d'oro del disegno, dell'arte figurativa e della scienza.

L'ingegnere de Marchi[4] è paragonabile ad una tessera vitrea che riflette il suo rutilante colore in più direzioni di un grande mosaico composto da altrettante numerose tessere ovvero i "trattatisti" che si interessano di opere ossidionali e di radenza. Tra i più numerosi teorici sono da ricordare Nicolò Tartaglia, Girolamo Cataneo e Carlo Theti.

Il mio accenno al mosaico non è casuale se si fa riferimento ad una antica composizione pavimentale un tempo presente nella grande casa del Menandro a Pompei -ora nel Museo Archeologico di Napoli- che racchiude l'immagine di una barca da diporto sul Nilo. Al suo

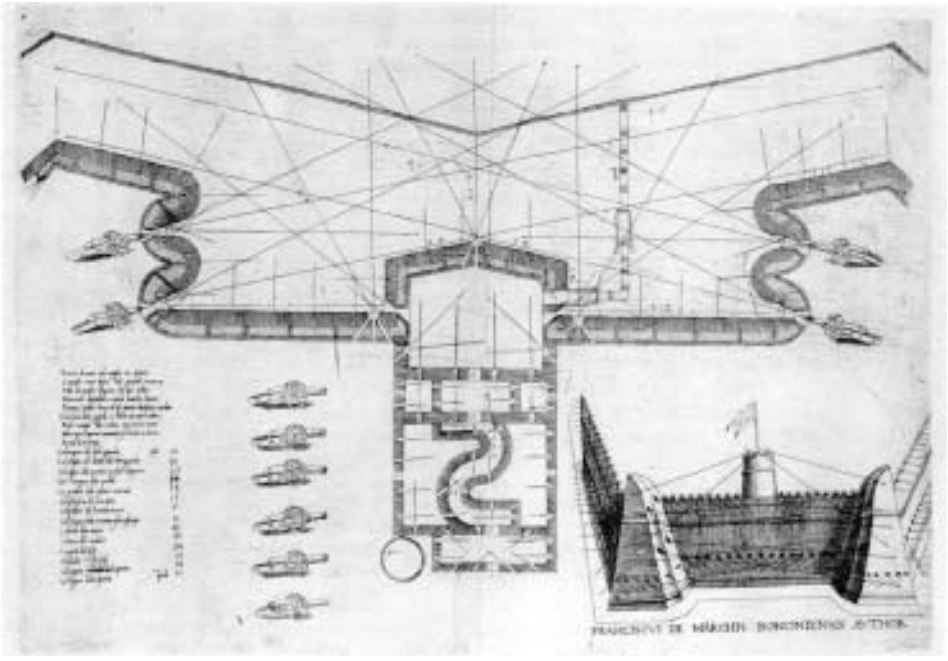


Fig. 6 – Tavola del manoscritto conservata presso la Biblioteca dell'Escorial di Madrid

centro vediamo innalzata una struttura residenziale -come quella, ma ben più maestosa, di Caligola a Nemi- con tre pigmei ai remi e un pilota al timone. Peraltro una immagine una casa residenziale. Ma per meglio riandare al tempo di Caligola si può osservare altresì un affresco -negli scavi di Stabia- che rappresenta una villa sull'acqua. È un tema suggestivo ripreso in età barocca sul lago Fusaro in Campania.

Le ricerche, intuizioni e disegni del de Marchi hanno illuminato il pensiero di costruttori e urbanisti -durante la sovranità dell'imperatore Carlo V d'Asburgo e di Filippo II- in Italia e in Europa. Il trattato ne è testimonianza efficace per sviluppare ulteriori studi e riflessioni sulle fortificazioni e sulle articolazioni delle città moderne.

Sull'antico e pur sempre attuale fascino paesaggistico del "sacro" lago di Nemi, ritengo interessante ricordare tra le più numerose riprese ambientali di quando l'Italia era intesa come modello estetico per l'umanità- la tela (1821) del pittore Fedor Matveen (Pietroburgo 1750 - Roma 1826) primo tra i paesaggisti russi, il cui punto di vista è di notevole effetto percettivo e tale da "riprodurre" i momenti dell'avventura subacquea dell'ingegnere de Marchi.


DISCORSI DELLE
FORTIFICATIONI
DI CARLO THETI
IN VENETIA M. D. LXXXIX

Fig. 7 – Frontespizio del volume Discorso delle Fortificazioni *di Carlo Theti, Venezia 1589*

[1] Un mio contributo dal titolo *Girolamo Cataneo, Francesco de Marchi e Carlo Theti: teorici e progettisti nell'arte nuova di fortificare* è negli Atti del Colloquio Internazionale svoltosi a Salerno dal 20 al 30 aprile 2004 "Luci tra le rocce", Firenze, Alinea, 2005, vol. I (a cura di F. Ribera) p. 299-311. Cfr. inoltre C. Robotti, P. Argenziano (a cura di) *L'architettura delle fortificazioni: innovazioni e riuso nelle città del Mediterraneo,* 2 voll., Lecce, Edizioni del Grifo, 2005; ed ancora *Disegni e progetti di città e paesaggi fortificati*, a cura di C. Robotti, P. Argenziano, pre-print del Colloquio Internazionale di Studi, Capua, Castello di Carlo V, 3-4 dicembre 2005.

[2] Un ulteriore tentativo di recupero della nave fu fatto nel 1895 da Eliseo Borghi, con l'impiego di palombari. Anche in questa occasione furono inflitti danni alla nave ma si ebbe la fortuna di ritrovare la nave minore, quella di appoggio e trasporto dalla riva al centro del lago dove era la maggiore. Di questa furono portati all'aria una buona quantità di legname in buono stato di conservazione, (tronchi di larice rosso) un gran numero di chiodi di rame dalla lunghezza variabi-

le sino a mezzo metro, lamiere di rame e di piombo, pezzi di pavimenti formati da tessere di pietre colorate e paste vitree, ornamenti di bronzo raffiguranti teste di lupo e teste di leone; queste ultime a rivestimento dei bagli, le travi maggiori che collegano le fiancate della nave e sostengono il ponte. Della seconda nave, più piccola, fu recuperata una scatola di bronzo rivestita con il rilievo di una mano aperta, portafortuna sui fermi dei timoni. Per un approfondito studio sulle due navi cfr. M. Bonino, *Un sogno ellenistico: le navi di Nemi,* Pisa 2003.

[3] La pubblicazione del 1599 risulta eseguita con la collaborazione di esperti tra cui il francese Antoine Lafrery (1512-1577) attivo a Roma dal 1544 dove si associa nel 1553 ad Antonio Salamanca, primo dei grandi editori di stampe attivo a Roma. Alcuni disegni del trattato sono di Giulio Bonasone. Lo stemma del de Marchi sovrasta l'ovale riccamente ornato di figure geometriche e svolazzi mentre in basso in corrispondenza dello stemma è disegnato un logo composto da lettere dell'alfabeto che ricordano il nome dell'autore del trattato.

[4] Essendo a carattere strategico, i progetti del de Marchi per la difesa di città e territori se divulgati avrebbero reso di pubblico dominio le prerogative difensive che egli andava inventando a seguito di accresciute esperienze di vita, di osservazioni, di ricerca. Peraltro giova sottolineare che anche altri ingegneri italiani nel Cinquecento si dedicavano allo studio delle fortificazioni "alla moderna": nuovo sistema difensivo reso necessario dall'evoluzione delle armi da guerra che avevano indebolito le difese urbane incentrate su sistemi castellari antichi.

FRANCO STRAZZULLO

Notizie sulla storia dell'ingegneria napoletana tra Cinque e Seicento

Monsignor Franco Strazzullo è autore ben noto a tutti gli studiosi di Storia dell'Arte e dell'Architettura meridionali, in quanto i Suoi numerosissimi scritti costituiscono da oltre cinquant'anni una preziosa fonte per la ricerca storica.

Egli era stato subito entusiasta all'idea di un'Associazione di Storia dell'Ingegneria e di essa fu partecipe socio onorario. All'annuncio del Convegno Nazionale iniziò subito a raccogliere i primi appunti per una relazione.

Purtroppo la Sua improvvisa scomparsa, avvenuta il 31 maggio scorso, gli ha impedito di completarl: con profondo rammarico si pubblicano pertanto le sue ultime note, datate 19 maggio 2005.

Nei secoli XVI-XVII incontriamo differenti tipi di ingegneri: quelli nominati dalla Regia Camera della Sommaria si chiamavano Ingegneri camerali[1], quelli nominati dalla Regia Corte, ossia dal Re, si dicevano Regi Ingegneri[2]. Passo in rassegna questi ultimi, in ordine alfabetico.

AGHILERA Francesco. Sulla fine del '500 il viceré duca di Alcalà lo affiancò al commissario generale delle regie strade Ferrante Figueroa nei lavori di costruzione e riparazione delle regie strade. Nel 1564 si aprì la via del Chiatamone secondo il suo progetto[3].

ALAPPIO Tommaso. Ingegnere dei Regi Lagni. Fu luogotenente di Bartolomeo Picchiatti Ingegnere maggiore del regno.

ALFIERI Vito. L'8 aprile 1588 si impegnava a costruire nella capitale (Napoli) il monastero benedettino di Monteverginella.

ANTONELLO. Ingegnere militare di Trani. Fu impegnato nelle fortificazioni di Gaeta, Crotone e Manfredonia (1522-23).

ARIANO Marco Antonio. Ingegnere di macchine nella Regia Zecca di Napoli.

ASTARITA Giuseppe. Ingegnere camerale. Il 28 aprile 1745 fu eletto ingegnere della Regia Corte. Morì nel 1775.

ATTENDOLO Ambrogio. Ingegnere e Architetto civile e militare. Nato a Capua nel 1515, vi morì nel 1585. Nel 1543 dirigeva i lavori della fortificazione di Capua.

AVELLONE Costantino. Regio In-

gegnere. Tra la fine del ‘500 e l’inizio del ‘600 dirigeva i lavori del campanile di Santa Chiara (Napoli).

BERNUCCI Ceccardo. Nato a Carrara intorno al 1562, si trasferì a Napoli circa il 1577. Nel 1607 disegnò la pianta dell’area sulla quale sarebbe stata edificata la Cappella del tesoro di San Gennaro.

BIGOTTI Giovanni Battista. Ingegnere militare e brigadiere generale nella seconda metà del ‘700. Figura di primo piano per la storia della ingegneria militare napoletana nel periodo borbonico.

BONPIEDE Giovannu. Ingegnere della Marina militare (‘700). Gli fu affidata la sistemazione del nuovo molo. Toccò a lui il compito di appianare regolare e ampliare la nuova strada del molo, detta poi la Marinella.

CAFARO Donato Antonio. Ingegnere militare e Ingegnere ordinario dei Regi Lagni nel ‘600. Mi piace ricordare l’accenno che fa il Celano (1692) alla fontana di Monteoliveto: “Usciti da questa chiesa (Sant’Anna dei Lombardi), calando giù, vedesi una vaga fontana con una statua di bronzo di sopra, che rappresenta il monarca Carlo II. Questa fu fatta circa gli anni 1668 a spese della Città, essendo vicerè D. Pietro Antonio d’Aragona: e il disegno di questa fontana fu del nostro Donat’Antonio Cafaro Regio Ingegnere”[4].

CARTARO Bartolomeo, figlio del più noto Ing. Mario Cartaro (sec. XVII). Fu impegnato nel rilievo e nel restauro delle torri marittime del regno di Napoli. Nel 1590 le torri di avvistamento erano 339 e su 173 torri da lui ispezionate neppure una era in buone condizioni[5].

CARTARO Mario. Nato a Viterbo intorno al 1540, si diede tutto allo studio della cartografia. Tra il 1560-87 visse a Roma, dove pubblicò la carta topografica del territorio di Pozzuoli (1584). Invitato a Napoli dal viceré conte di Miranda, ebbe “il carico di disegnare e ponere in pianta qualsivoglia sito di questo regno” (1591). Tra il 1590-94 collaborò con l’architetto-ingegnere Colantonio Stigliola ad una carta generale del regno di Napoli.

CARTARO Michelangelo, figlio di Bartolomeo. Fu anche lui Ingegnere della Regia Corte, addetto ai Regi Lagni. Fu impegnato nelle perizie dei lavori in corso alla fabbrica dei regi Studi (poi Real Museo borbonico). Nel 1642 era impegnato nella costruzione del campanile della chiesa benedettina dei Santi Severino e Sossio.

CASALE Vincenzo. Architetto fiorentino. Frate dell’ordine dei Servi di Maria, si trasferì a Napoli nell’ultimo quarto del ‘500 e si aggregò ai confratelli del convento di S. Maria del Parto a Mergellina. Fu impegnato nell’impianto del nuovo arsenale (1579).

CAVAGNA Giovan Battista. Archi-

tetto e pittore romano attivo a Napoli nell'ultimo trentennio del '500 e i primi anni del '600. Criticò il progetto di Domenico Fontana per il nuovo Palazzo Reale. Tagliente come lama il suo *discorso sopra la fabbrica del nuovo Regio Palazzo*. Cavagna l'avrebbe edificato tra via Toledo e Castel Nuovo. Motivate le sue critiche: sito urbanisticamente infelice, devastato il parco del Castello, demolita la Fonderia reale, abbattuto il Palazzo Vecchio.

CIMAFONTE Pietro. Ingegnere della Real Corte. Nella seconda metà del '700 diresse il restauro del Seminario Urbano di Napoli, nel 1692 adibito ad Archivio storico diocesano dall'arcivescovo card. Alfonso Castaldo.

CONFORTO Giovan Giacomo. Ingegnere e Architetto napoletano. Nacque intorno al 1569. Nel 1603 avviò la costruzione della chiesa di S. Maria della Verità. Tra il 1606-7 diresse la fabbrica del Pio Monte dela Misericordia e chiesa annessa. Edifici ricostruiti da Franceso Antonio Picchiatti ingegnere maggiore del regno (dal 1656). Giovan Giacomo Conforto fece testamento il 7 giugno 1630.

DE MARINO Pietro. Architetto e ingegnere della Regia Corte. Una polizza del 1628 ce lo rivela pure cartografo, avendo eseguito la pianta del territorio di Avellino. Tra il 1634-36 diresse l'ampliamento di via Costanti-nopoli. Nel 1634 progettò il soffitto a cassettoni per la Chiesa di Gesù e Maria.

DE SANTIS. Regio Ingegnere di ponti e strade nella seconda metà del '500. Nel 1588 gli si chiedeva una perizia per accertare l'entità delle frodi nella costruzione delle fortezze di Pescara, Civitella del Tronto e di altre torri marittime sul litorale abbruzzese.

DONZELLI Giuseppe (Fra Nuvolo). Architetto e frate domenicano, attivo a Napoli dall'ultimo ventennio del '500 alla prima metà del '600. Nel 1631 ultimò la cuspide "a pera" del campanile del Carmine Maggiore.

FONTANA Giulio Cesare, figlio di Domenico (ingegnere maggiore dal 1596 al 28 giugno 1607, anno della sua morte). Sepolti nella chiesa di S. Anna dei Lombardi, nella cappella di famiglia.

MAGLIONE Ferrante, napoletano, regio Architetto (sec. XVI). Con Giovanni Benincasa progettò il palazzo del viceré su richiesta di Pietro di Toledo viceré dal 1532 al 1553.

MORMANNO Andrea. Ingegnere della Regia Corte. Tra il 1563-68 diresse i lavori della nuova regia strada Napoli/Salerno. Cfr. G. Ceci, "Una famiglia di architetti napolotani del Rinascimento: Andrea Mormanno", in "Napoli nobilissima", IX 81900), 185.

NENCIONI Dionisio di Bartolomeo. Architetto. Nato a Firenze nel 1550, si trasferì a Napoli intorno al 1584. Cfr. M. Borrelli, L'architetto Nencioni

Dionisio di Bartolomeo, Napoli 1967, pp. 211.

PICCHIATTI Bartolomeo. Ingegnere maggiore di Napoli. Nacque a Firenze nel 1571. Intorno al 1597 andò a Roma, ove restò poco più di un anno, poi si trasferì a Napoli (1598). Fu luogotenente di Giulo Cesare Fontana che partì per la Spagna nel 1616. Suo primogenito Francesco Antonio (1617) anche lui ingegnere della Real Corte dopo la morte del padre (3 aprile 1643), poi ingegnere maggiore del regno alla morte di Onofrio Antonio Gisolfo (1656).

[1] F. Strazzullo, *Ingegneri camerali del '700,* in *Partenope 1960*, pp. 51-60,
[2] *Ibidem*.
[3] C. Celano, *Delle notizie del bello, dell'antico e del curioso della Città di Napoli,* terza giornata., 1692, p. 12.
[4] O. Pasanisi, *La costruzione generale delle torri marittime ordinata dalla R. Corte di Napoli nel sec. XVI*, in *"Studi di storia napoletana in onore di M. Schipa",* Napoli 1926, pp. 436-37.
[5] F. Strazzullo, *Documenti per la storia di castelli e torri del Regno di Napoli. Prefazione di Attanasio Mozzillo*, Ed. Franco Di Mauro, 1992.

Maria Gabriella Pezone

Ingegneria idraulica in età borbonica: l'opera di Giovanni Bompiede

Introduzione

La lunga attività di Giovanni Bompiede consente, attraverso l'analisi dei moltissimi interventi progettati e talvolta solo coordinati, di percorrere la storia della ingegneria idraulica del '700 nel regno di Napoli dal governo di Carlo di Borbone fino agli anni di Ferdinando IV.

Le conoscenze idrauliche erano ritenute indispensabili per un buon ingegnere militare che doveva conoscere le tre parti dell'architettura, la civile, l'idraulica e la militare, come ricorda un trattato di fine secolo: "[...] spetta ad esso di fare de' ponti sopra de' fiumi, spianare le strade per dare il libero passaggio alle truppe, prendere le piante de' luoghi per farli accampare ne' posti più vantaggiosi. Finalmente spetta all'Architetto Militare costruire de' porti di mare, inalveare i fiumi, e formare canali navigabili, e per tutte queste operazioni si debbono impiegare tutte le tre parti dell'Architettura [...]"[1].

Nelle operazioni idrauliche sopra descritte Bompiede fu un tecnico di primaria importanza, la figura centrale intorno alla quale ruotarono le più importanti costruzioni portuali del regno. Nella sua carriera all'interno della struttura della Marina Militare borbonica si possono, inoltre, ripercorrere le tappe dell'evoluzione burocratica e della organizzazione didattica di questa istituzione militare.

L'idraulica tra "Teorica" e "Pratica"

L'idraulica è sicuramente il campo dell'ingegneria nel quale è indispensabile, più che in altri, coniugare, per dirla con Carletti, le "scienze di ragione" con quelle "di natura", poiché essa contiene "molte cognizioni sensibili, tratte dalla scienza della natura" e "molte cognizioni razionali, che han per obietto la quantità pura matematica"[2].

Questa peculiarità dell'idraulica ha forse contribuito allo scollamento tra teoria e prassi che è possibile ravvisare, in maniera più sensibile rispetto agli altri campi dell'ingegneria, analizzando l'evoluzione di tale scienza fino al XVIII sec. Le conquiste teoriche cioè non sempre si riversarono nel campo applicativo che continuò a mantenersi legato alla consuetudine di pratiche ormai collaudate da secoli. Basti pensare, ad esempio, alle macchine nate in origine per l'irrigazione dei campi, perfezionate per gli acquedotti e trasformate per alimentare gli straordinari giochi d'acqua dei giardini barocchi, che rimasero ancorate per secoli ai prototipi antichi. Oppure, all'organizzazione cantieristica degli acquedotti in cui si continuarono ad applicare principi consolidati dalla tecnica romana. Non a caso,

riferimenti indiscussi fino al XVII secolo furono nel campo teorico le enunciazioni di Archimede e, per quanto riguarda la manualistica di stampo ingegneristico, il VII libro del *De Architectura* di Vitruvio oltre che, naturalmente, il *De aquaeductibus urbis Romae* di Sesto Giulio Frontino[3].

La scienza idraulica compì progressi apprezzabili dal XVII secolo quando gli studi condotti in Italia, in Inghilterra e in Francia finalmente posero le basi per il consolidamento dei principi della meccanica dei fluidi e, quindi, per la definitiva evoluzione settecentesca della disciplina. Furono gli apporti innovativi di Simon Stevin (1548-1620) e indirettamente di Galileo Galilei (1564-1642) che crearono le premesse ai contributi scientifici fondamentali di Evangelista Torricelli (1608-1647) e di Benedetto Castelli (1577-1643)[4].

Il primo giunse a definire le proprietà idrauliche delle sezioni fluviali attraverso la legge della continuità del moto permanente, con enormi conseguenze in campo applicativo soprattutto per quanto riguardava le soluzioni ai problemi delle esondazioni dei fiumi.

Il secondo, studiando il comportamento dei fluidi in sezioni ristrette, riuscì a individuare le relazioni esistenti tra la pressione e la velocità delle acque in un condotto e a formulare, quindi, una delle leggi più importanti dell'idrodinamica, sulla quale poggiarono anche i successivi approfondimenti di Pascal, di Boyle, di Newton e Leibniz[5]. Una sistematica definizione della scienza idraulica si ebbe però solo nel Settecento pieno ad opera di Bernoully, di Clairaut, di Le Rond D'Alambert e dell'italiano Ottaviano Cametti, che pubblicò nel 1777 a Firenze la *Mechanica Fluidorum*[6].

Nel campo delle applicazioni all'edilizia il manuale di riferimento del Settecento fu l'*Architecture hydraulique* pubblicato a Parigi tra il 1737 e il 1753 dal Belidor che, sebbene non contenesse risultati originali, contribuì finalmente alla saldatura tra teorie e tecnica[7]. Quest'ultimo, è ormai noto, era tra i libri posseduti dal Vanvitelli, il quale per affrontare le molte opere idrauliche fece in modo che nella sua biblioteca non mancassero anche il libro del Lecchi, *La idrostatica esaminata ne' suoi principi e stabilita nelle sue regole della misura delle acque correnti* (Milano 1765), i trattati di Domenico Guglielmini (1655-1710), di Giovan Battista Barattieri (1601-1677)[8] e il libro di Carlo Fontana (1638-1714), che in verità l'architetto non giudicò benevolmente, salvandone solo la parte sulla misurazione delle fistole[9].

L'*Utilissimo trattato delle acque correnti* (1696) era una sorta di manuale teorico-pratico nel quale il Fontana si proponeva di unire le "scienze dimostrative" con "l'Esperienze" e di coniugare "la Teorica" con "la Pratica", dichiarando di voler mettere la sua ultratrentennale esperienza in questo campo a disposizione non solo degli addetti ai lavori ma anche degli amatori di libri e dei potenziali committenti, desiderosi di arricchire i propri giardini con fontane e giuochi d'acqua[10].

Gli altri due testi citati erano già ampiamente conosciuti nel regno di Napoli, posseduti anche dalla biblioteca dell'accademia militare. *Della natura de' fiumi, trattato fisico matematico* di Guglielmini, pubblicato postumo a Bologna nel 1739, affronta i problemi connessi al moto delle acque fluviali, applicando i principi di Castelli[11]. Sulla stessa linea ma di stampo manualistico è l'*Architettura d'acque* di Barattieri in due volumi pubblicati a Piacenza nel 1656 e nel 1663, nei quali l'autore dichiara di voler "unire" la fine scienza di Castelli con le sue "fatiche", illustrate attraverso efficaci disegni[12].

Dal 1750 si riscontra anche a Napoli una certa vivacità nella produzione manualistica. Carlo Zoccoli, che fu professore di Idrostatica nell'Accademia di artiglieria, progettista di mulini (fu il primo a introdurre nel regno le "dighe all'Olandese"), scrisse, probabilmente in questi anni, *Della Gravitazione de' corpi, e della Forza de' Fluidi*, un trattato realizzato per compendiare i più importanti risultati scientifici sulla meccanica dei fluidi fino ad allora dispersi in una miriade di pubblicazioni specialistiche[13]. Scritto con ambizioni meno teoriche e dal taglio applicativo fu, invece, il trattato dell'Ingegnere Vincenzo Lamberti sulla *Misura delle acque correnti ne' canali inclinati* (1778)[14]. Per completare questo sintetico quadro va ricordato anche il trattato di Niccolò Carletti scritto con finalità didattiche su sollecitazione di Ferdinando IV per gli allievi dell'accademia del Battaglione Real Ferdinando[15].

Attività di Giovanni Bompiede (?-1789)[16]

Di origini torinesi, ebbe una carriera lunga e costellata di successi all'interno della Marina Militare borbonica arrivando a ricoprire i ruoli più prestigiosi tra gli anni '70 e gli anni '80, "capitano di nave" tra il 1776 e il 1777, dal 1780 "Ingegnere Direttore delle opere di Marina", "Brigadiere di Marina" e Comandante del nuovo "Corpo degli Ingegneri Idraulici"[17]. Quest'ultima carica fu l'esito della riforma che rinnovò completamente i reparti della Marina Militare, promossa da Giovanni Acton, dopo la nomina nel 1778 a Segretario interino e Direttore della Marina. Anche in questa struttura militare, come avvenne per l'artiglieria e gli ingegneri, furono chiamati molti ufficiali dall'estero[18]. Il rinnovamento riguardò soprattutto lo svecchiamento degli apparati burocratici, attraverso una nuova strutturazione amministrativa e gerarchica, composta da cinque divisioni: lo stato maggiore[19], l'amministrazione[20], il comando e servizio dei legni[21], il corpo degli ingegneri idraulici[22] e, infine, un settore della "costruzione de' legni"[23].

Il Corpo degli Ingegneri idraulici era formato da tre tenenti colonnelli sottodirettori ingegneri, tre tenenti ingegneri, tre alfieri ingegneri, tutti "sotto il comando del brigadiere Bompiede"[24]. In accordo con l'impulso internazionale impresso dalla riforma di Acton probabilmente fu proprio il Bompiede a sollecitare i rapporti con le analoghe strutture francesi per istruire i giovani ingegneri del Corpo idraulico sulle più a-

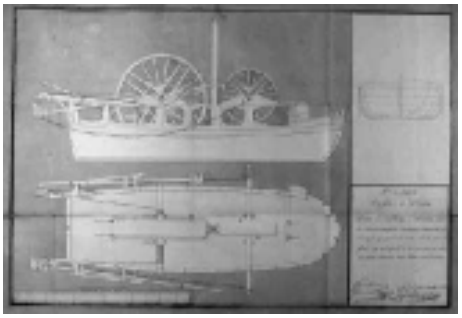


Fig. 1 – L. de La Via, Pianta profili, e vista di un Cavafango a Ruota, vistato da Bompiede (ASN)

vanzate tecniche che si andavano sperimentando in quegli anni[25].

Agli apici della carriera Bompiede arrivò attraverso un'attività intensa che lo vide impegnato nell'adeguamento del sistema portuale del regno, nella costruzione degli edifici della Marina Militare e nel coordinamento e supervisione di molte opere idrauliche nel regno. In qualità di Ingegnere Direttore delle opere di Marina, Bompiede fu impiegato in un così gran numero di progetti importanti e di opere minori[26] che nel 1763 fece richiesta al Tanucci di un segretario "per le tante incumbenze" alle quali doveva far fronte quotidianamente[27].

Tra i suoi primi impegni figura la collaborazione al cantiere del porto di Napoli dal '40 dove poi diventò, dopo l'allontanamento del Medrano, unico responsabile nel '43, quando progettò la sede del Corpo di Guardia all'estremità del braccio grande[28]. Nei lavori per il porto rientrava anche il completamento della "strada nuova al molo" (poi detta della Marinella), allargata e prolungata attraverso l'abbattimento del versante meridionale delle mura entro il 1748, come attesta il disegno firmato del frontespizio con l'iscrizione da apporre sul Ponte del Borgo di Loreto per la fine dei lavori (18/11/1748)[29].

Dopo il porto della capitale, l'attenzione dell'amministrazione borbonica si concentrò sui porti della Terra di Bari (Trani, Bisceglie, Barletta, Bari), non trascurando, nella Terra d'Otranto, il porto di Taranto, negli Abruzzi quello di Ortona, nelle Calabrie quello di Crotone e nel Principato il porto di Salerno.

Nella maggior parte di questi interventi fu coinvolto l'ingegnere piemontese, chiamato a elaborare progetti *ab ovo* o solamente a dare semplici consigli tecnici su come rinnovare le strutture portuali[30]. Nel 1750 si occupò del recupero dei porti di Salerno, di Croto[31], dei lavori per il porto di Trani, già iniziati nel 1746 su progetto di Casimiro Vetromile e Giovanni Tisi, proponendo una variante attuata entro gli anni '60[32].

Nel 1751 intervenne a Bisceglie consigliando lo spostamento del molo nell'attuale posizione, dopo che una violenta tempesta aveva danneggiato le opere appena iniziate nel 1747[33] e nel 1755 progettò la ristrutturazione del porto di Barletta, del quale si conservano i disegni autografi e una dettagliata relazione[34].

Nel 1756 fu inviato a Bari per studiare le indispensabili riparazioni al porto di quella città[35], delineando una pianta autografa nel 1760[36], e dopo il '58 a Taranto per proseguire i lavori alle strutture portuali, già iniziati da Gennaro Ignazio Simeone[37].

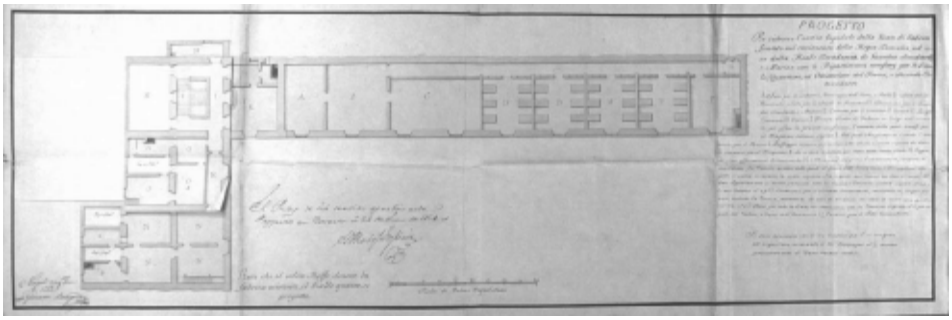


Fig. 2 -Progetto per ridurre l'antico Ospedale della Gente di Galera situato nel tenimento della Regia Darsena, ad uso della Reale Accademia de Guardia Stendardi, e Marine (ASN)

Prima del successivo affidamento a Pigonati, negli anni Sessanta fu coinvolto nei lavori per il porto di Brindisi[38] per il quale stilò una dettagliata relazione sulle riparazioni[39]. Dopo che la Gazzetta di Utrecht aveva diffuso la notizia del progetto della riapertura del doppio porto di Brindisi a opera di Bompiede, si era fatto avanti un francese, Antoine Macary, inventore di una macchina idraulica, per offrire i propri servigi. La fiducia indiscussa di cui l'ingegnere piemontese godette presso il governo anche in questa occasione è espressa chiaramente dal Tanucci che, nelle lettere al re Carlo, non nasconde la sua irritazione per la protervia del Macary, difendendo le qualità di Bompiede, "un antico officiale che serve tra gli Ingegneri il re, e non […] un ignorante di idrostatica"[40]. Negli stessi anni gli fu affidata la costruzione di un nuovo porto a Nisida per le navi provenienti nella capitale da Oriente (dopo il 1763)[41] e il completamento dei lavori all'antico porto di Agrigento[42]. Nel 1773 ebbe l'incarico dal sovrano e nel 1774 iniziarono i lavori per la costruzione di un piccolo porto nella marina del Granatello a Portici con due moli, uno radicato alla terra ferma che ospitava un casino per il sovrano e il secondo con la batteria per la difesa del porto[43].

Giovanni Bompiede si occupò anche della progettazione e della trasformazione di tutti gli edifici della Marina. Tra il '47 e il '52 curò l'ampliamento e le opere di adeguamento degli Ospedali della Marina[44]. Al 1750 risalgono i lavori nell'Ospedale dei Forzati a Piedigrotta con l'indicazione delle "variazioni necessarie da farsi per ingrandire" il palazzo acquistato dal marchese di Peschici nel borgo di Chiaia[45]. Questo edificio che doveva ospitare la struttura ospedaliera, originariamente collocata nella darsena, è visibile nella bella *Vue de la ville de Naples du côte de la Chiaia* (1771), dove è indicata col numero 9[46]. Nel vecchio ospedale della Darsena, smantellato per le pericolose condizioni igieniche, lo stesso Bompiede progettò nel 1753 la nuova sede del la *Reale Accademia di Guardia Stendardi*, con le Scuole, il Quartiere e le abitazioni dei due comandanti, approva-

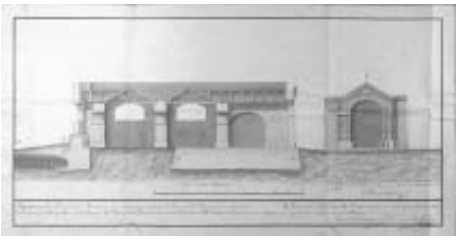


Fig. 3 – Spaccato del Magazeno, e Batteria, che si progetta dietro la Torre di San Vincenzo, ora demolita (Portici, 30/6/1754) (ASN)

ta dal sovrano nel 1754[47]. Trovava la sua definitiva collocazione la struttura didattica che aveva avuto una serie di sedi provvisorie. Insediata originariamente nel palazzo Trotti, fu spostata nel 1739 nel palazzo del duca diFrisa e di suo fratello Nicola Cella a Pizzofalcone e nel 1752 nel Noviziato dei Gesuiti a Pizzofalcone[48].

Solo dopo la riforma di Acton, l'accademia fu dislocata definitivamente a Portici nell'ex collegio dei Gesuiti, rafforzando la vocazione militare dell'area lungo la direttrice costiera acquisita attraverso la pre senza della caserma della Maddalena nell'area orientale di Napoli, dei fortini e di molte strutture insediate nell'area intorno alla reggia di Portici[49]. Ancora nell'area della Darsena nel 1754, sul sito dell'antica *torre di San Vincenzo*, l'ingegnere piemontese concepì la Batteria "dalla M. S. ordinata per maggior difesa della Darsena" e un grande magazzino, riutilizzando le fondamenta dell'antica torre demolita fino al pian terreno[50]. Diversi anni dopo, tra il 1782 e il 1783, lo stesso ingegnere sarebbe stato coinvolto nella progettazione di un nuovo edificio per accogliere 2000 forzati nella piazza del Molosiglio[51].

Giovanni Bompiede, inoltre, coordinò e diresse la maggior parte delle opere idrauliche del regno affidate ad altri ingegneri, effettuando sopralluoghi nei casi più complessi. Nell'ambito di questi lavori vanno collocati l'ispezione alla contrada *alli Bagnuoli* dove fu inviato nel 1769, per rimediare alle opere inadeguate dell'ingegner Filippo Fasulo nel 1767[52], l'intervento al ponte di Torcino per risolvere i problemi di allagamento della strada di Venafro, come egli stesso illustrò nella relazione inviata al marchese Tanucci[53] e molte consulenze e sopralluoghi fatti a Capua per ripristinare l'acquedotto cittadino affidato a Francesco Gasperi[54]. Proprio in questa occasione dovette entrare in contatto con i Governatori dell' A. G. P. di questa città, che lo coinvolsero fino all'anno della morte nelle annose questioni del cantiere dell' Annunziata, incarico per il quale gli fu necessario ottenere il permesso reale[55].

In molti interventi condotti alla fine della sua carriera lo affiancò Errico Sanchez, il suo più stretto collaboratore che lo avrebbe sostituito, dopo la morte, nelle cariche più importanti.

Su iniziativa del Bompiede fu insediato nei pressi di capo Posillipo il "magazino da servire per riporvi la polvere de'bastimenti che capiteranno nel porto di Napoli", registrato nella Pianta del duca di Noja come *La conservazion della polvere da scoppio*[56], che sarebbe diventato nell'Ottocento il R. Opificio Pirotecnico[57]. Nel 1771 l'ingegnere idraulico, interpellato dal sovrano per un parere sull'acquisto del casino e della

masseria del defunto Domenico Ossorio, per impiantarvi il magazzino di deposito provvisorio delle polveri da sparo, stilò una relazione con le motivazioni favorevoli incaricando Errico Sanchez (?-1820) di redigere il progetto di trasformazione, come dimostra il disegno conservato all'Archivio di Stato di Napoli, firmato da quest'ultimo e solo vistato dal Bompiede[58]. Al 1772 risale la progettazione di nuovi lavori al quartiere della Marina nella Darsena, occasione in cui Errico Sanchez disegnò la *Pianta, veduta e profili del nuovo quartiere per servizio degli individui del Battaglione di Marina in rimpiazzo del piano superiore dell'attuale quartiere destinato d'ordine di S. M. per servizio degl'individui della reale squadra di Marina* da sottoporre all'approvazione di Bompiede e del Ministro[59].

L'individuazione dello *stato di servizio* presso la Marina di Errico Sanchez ci consente di ripercorrere le tappe più significative della carriera anche di quest'ingegnere idraulico, che affiancò Francesco La Vega in vari progetti[60]. Nel 1753 entrò nella Marina con una dispensa speciale per la minor età come *Guardiamarina sopranumerario*, divenendo nel 1755 *Guardiamarina proprietario* e partecipando nel 1759 e nel 1760 a due campagne di mare sulla real fregata Sant'Amalia.

Dal 1761 iniziò l'attività ingegneristica con Bompiede accompagnandolo nel 1763 a disimpegnare lavori idraulici nei porti siciliani. Nella brillante carriera passò da *alfiere di galera* (1767) a *tenente di fregata* nel 1774, a *tenente di vascello* nel 1778, entrando nel Real Corpo Idraulico nel 1784, come *tenente colonnello*.

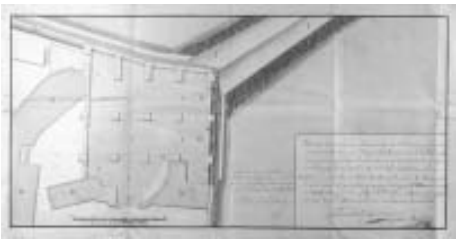


Fig. 4 – Pianta del sito,che si dice dietro la Torre di S. Vincenzo ... con il progetto della Batteria , che dalla M.S. è stata ordinata per maggior difesa della darsena (ASN)

Lavorò a stretto contatto con l'ingegnere piemontese alle più importanti opere idrauliche del regno, ottenendo la nomina nel 1788 di Comandante del real cantiere di Castellammare di Stabia.

Proprio dopo la morte di Giovanni Bompiede ereditò i suoi più prestigiosi incarichi: fu nominato, infatti, Capitano del Porto di Napoli nel 1792, soprintendente dei lavori idraulici della Real Marina nel 1794 e colonnello direttore del Corpo Idraulico, carica che ricoprì, con un'interruzione dopo il 1799, fino al 1806. Seguì il sovrano in Sicilia, dove fu nominato nel 1808 "interino soprintendente generale dei porti di Sicilia"[61]. Alla restaurazione, col grado di Maresciallo di campo, divenne Ispettore del Corpo del Genio Militare Idraulico della Real Marina (1815), Consigliere reggente del Supremo Consiglio di Cancelleria, e, infine, per i suoi meriti fu decorato con la medaglia di bronzo e insignito della nomina di cavaliere del real ordine militare cavalleresco di San Giorgio della Riunione[62].

[1] R. Gambardella, *Istituzioni di Architettura civile composte secondo il metodo matematico*, Napoli, presso Michele Migliaccio, 1798, pp. 7-8.
[2] N. Carletti, *Istituzioni di architettura idraulica dedotte dalle scienze di ragione, e di natura*, 3 tomi, Napoli, Stamperia Raimondiana, 1780, p. 8.
[3] Sull'evoluzione delle teorie idrauliche attraverso i secoli si cfr. l'efficace e chiara sintesi di N. Marconi, *Teorie e macchine idrauliche nei cantieri edili tra Rinascimento e Barocco*, in *Architettura e tecnologia Acque, tecniche e cantieri nell'architettura rinascimentale e barocca*, a cura di C. Conforti e A. Hopkins, Roma, Nuova Argos, 2002, pp. 278-293.
[4] *Ivi*, p. 280.
[5] *Ivi*, p. 282.
[6] *Ibidem.*
[7] B.F. de Belidor, *Architecture hydraulique, on l'art de conduire, d'élever, et de mènager les eaux pour les differens besoins de la vie*, Paris, parte I t. I 1737, parte I t. II 1739, parte II t. I 1750, parte II t. II 1753.
[8] Si cfr. A. Buccaro, *Aspetti della cultura tecnico-scientifica in epoca vanvitelliana: dall'architetto allo «scienziato artista»*, in *Tecnologia scienza e storia per la conservazione del costruito. Seminari e letture*, "Annali della Fondazione Callisto Pontello", Marzo-Giugno 1987, pp. 169-199, p. 173; 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, Napoli, ESI, 2003, pp. 347-359, p. 348.
[9] "Ho pensato ancora che vi è un certo libro di Carlo Fontana sulle acque, e l'unica cosa buona che vi è appunto è quella della misura delle fistole; il resto a nulla serve, essendo cosa che non merita attenzione. Questo libro forsi il nepote di esso Cavalier Fontana, che è il signor Mauro Fontana, amicissimo del signor Tomaso Bianchi, si puotrebbe avere o pure in prestito, facendo copiare il foglio ove sono le fistole [...]". Cfr. F. Strazzullo, *Le lettere di Luigi Vanvitelli alla Biblioteca Palatina di Caserta*, Galatina, Congedo, 1976, vol. I, n. 34.
[10] Il manoscritto del trattato è conservato al Soane Museum di Londra. Cfr. C. Fontana, *Utilissimo Trattato dell'Acque correnti (Roma, 1696)*, a cura e con introd. critica di Hellmut Hager, Roma, Edizioni dell'Elefante, 1998; si cfr. anche A. Braham, H. Hager, *Carlo Fontana. The Drawings at Windsor Castle*, London, A. Zwemmer Ltd, 1977, p. 13; H. Hager, *Le opere letterarie di Carlo Fontana come autorappresentazione*, in *In Urbe Architectus. Modelli, disegni, misure. La professione dell'architetto, Roma 1680-1750*, a cura di Bruno Contardi, Giovanna Curcio, catalogo della mostra, (Roma Museo nazionale di Castel Sant'Angelo 12/12/1991-29/2/1992) Roma, Argos, 1991, pp. 155-203, 178.
[11] D. Guglielmini, *Della natura de' fiumi,* trattato fisico-matematico del dott. Domenico Guglielmini, in Bologna, Lelio Dalla Volpe, 1739.
[12] G.B. Barattieri, *Architettura d'acque*, 2 voll., Piacenza, nella stampa camerale di Gio. Bazachi, 1656-63.
[13] Si cfr. M.G. Pezone, *Un architetto poco noto nelle* Memorie *di Milizia: Carlo Zoccoli (1717-71) «serio, semplice, diritto, grato»*, in *Ferdinando Sanfelice Napoli e l'Europa*, a cura di A. Gambardella, Napoli, ESI, 2004, pp. 461-480. Con lo stesso scopo negli anni '60 fu pubblicata la *Raccolta d'Autori che trattano del moto dell'Acque…disposta in un ordine più comodo per gli studiosi di questa scienza*, 9 tomi, Firenze, Stamperia di S. Altezza Reale, 1765-1774.
[14] P. Napoli Signorelli, *Gli artisti della seconda metà del secolo XVIII* con note di Giuseppe Ceci, in «Napoli nobilissima», n.s., II (1921), 1, p. 15; A. Comolli, *Bibliografia storico-critica dell'architettura civile e arti subalterne*, 4 voll., Roma, Stamperia Vaticana, 1788-92, vol. III, 1791, p. 261 e sgg.
[15] *Ordinanza del Re delle Sicilie che servir dee d'istruzione, e regolamento a' cadetti … del Battaglione Real Ferdinando*, Napoli, Nella Regia Stamperia, 1772 (pubblicata in R. Majolo, *Il Battaglione Real Ferdinando*, Napoli 1989; *Memoria storica scientifico-politico-militare del Regno delle due Sicilie dal 1734 al 1815 del fu cavalier gerosolmitano Don Raffele Logerot antico uffiziale del corpo Reale d'artiglieria e Ge-*

nio, ms. XXVI.C.6 conservato alla Società Napoletana di Storia Patria (SNSP), cap. V, par. II.

[16] La data di morte si ricava da un documento pubblicato da F. Strazzullo, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica nel Regno di Napoli dal '500 al 700*, Napoli, Arte Tipografica, 1993, p. 78, doc. 36 bis. Per approfondimenti sugli aspetti dell'attività di Bompiede qui sintetizzata si rimanda a M. G. Pezone, *Architetti dei Borbone nel Settecento. Formazione e cultura professionale tra arte e tecnica*, estratto anticipato da *L'architettura dei Borbone di Napoli e delle due Sicilie*, a cura di A. Gambardella, Napoli, ESI, 2005, pp. 181 sgg.

[17] Dallo spoglio sistematico del *Calendario e notiziario della Corte* in diversi anni si riesce a ricostruire in parte la sua carriera: nel 1776 (p. 27) e nel 1777 (p. 32) è indicato come «capitano di nave», nel 1780 (p. 66) compare come Ingegnere delle opere di Marina e tra il 1781 (p. 65) e il 1782 (p. 94) come Ingegnere Direttore delle opere di Marina; nel 1786 (p. 111) è segnalato come Ingegnere Direttore delle opere di Marina col grado di Brigadiere, mentre solo nel 1787 (p. 101) è indicato come Ingegnere Direttore delle opere di Marina e Comandante del Corpo degli Ingegneri Idraulici.

[18] Tra essi, il cavalier Bartolomeo Forteguerri, il cavalier Guillichini e il cavalier Spannocchi dalla Toscana. Cfr. L. Radogna, *Storia della Marina Militare delle Due Sicilie,* Milano, Mursia, 1978*,* p. 27.

[19] Lo stato maggiore era composto da un comandante del ripartimento di Napoli, un ispettore dell'arsenale, un ispettore della fanteria di Marina, un sottoispettore degli armamenti, un comandante dell'artiglieria e delle costruzioni, un comandante della fanteria di Marina, un comandante della compagnia dei cavalieri guardiamarina, un secondo comandante, un maggiore. Cfr. *Memoria storica scientifico-politico-militare del Regno*, cit., cap. V, par. II.

[20] Questo settore era composto "da un ministro commissario, e direttore d'azienda economica, un contadore principale". *Ibidem.*

[21] Era formato da un caposquadra, quattro brigadieri, sette capitani di vascello, quindici capitani di fregata, trentacinque tenenti di vascello, ventiquattro alfieri di vascello. *Ibidem.*

[22] *Ibidem*.

[23] Questo settore era retto da un solo ingegnere costruttore. *Ibidem*.

[24] Dell'istituzione del Corpo degli Ingegneri Idraulici mi sono occupata per la prima volta nella comunicazione *Carlo Pollio da erede dell'esperienza tecnica vanvitelliana a precursore dell'Ingegnere di Ponti e strade* letta al Convegno *Luigi Vanvitelli Millesettecento-Duemila* il 16 dicembre del 2000, pubblicata in *Luigi Vanvitelli* a cura di A. Gambardella, Caserta, Saccone, 2005, pp. 529-545. Cfr. anche *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, *passim.*

[25] *Ibidem.*

[26] Nel 1764 fu incaricato dei lavori "alla calzata che da terra conduce a Castel dell'Uovo", che minacciava rovina e redasse una relazione per l'ampliamento e la trasformazione della Torre di Calapergola nella Marina di Vieste. Cfr. B. TANUCCI, *Epistolario*, vol. XIII, 1764, a cura di M. Barrio, Napoli 1994, p. 320.

[27] Piuttosto che un segretario gli fu concessa una gratifica di 180 d. l'anno "per le incumbenze straordinarie". Cfr. B. Tanucci, *Epistolario*, vol. XII (1763-64) a cura di M.C. Ferrari, Napoli 1997, p. 287.

[28] M.R. Pessolano, *Il porto di Napoli nei secoli XVI-XVIII*, in *Sopra i porti di mare. II, Il Regno di Napoli*, a cura di G. Simoncini, Firenze, Olschki, 1993, p. 113. Cfr. anche A. Colombo, *I porti e gli arsenali di Napoli*, in «Napoli nobilissima», III (1894), p. 142; F. Strazzullo, *Architetti e ingegneri napoletani dal '500 al '700*, Napoli, G. e M.T. Benincasa, 1969, pp. 37-41.

[29] SNSP, inv. 12368, Giovanni Bompiede, *Progetto del frontespizio da situarsi sopra il nuovo ponte detto del Borgo di Loreto, in cui includersi deve l'iscrizione in gloria di S. M. per li travagli fatti in costruire la nuova strada al lido del mare di questa città* (18 novembre 1748). I lavori di Bompiede al porto sono ricordati anche dal Carletti: "la struttura del Molo grande, e la riordinazione del Molo piccolo, colla strada nuova [...] a tale obietto attorno agli anni 1740 si diè

mano alle sostruzioni dirette dall'Architetto Buonpiede di Turino". Cfr. N. Carletti, *Topografia universale della città di Napoli in Campagna felice e note enciclopediche storiografe*, Napoli, Stamperia Raimondiana, 1776, nota XIX, pp. 50-51.

[30] *Sopra i porti di mare*, cit., *passim.*

31 Cfr. A. Buccaro, *I porti flegrei e l'alternativa allo scalo napoletano dal XVI al XIX secolo*, in *Sopra i porti di mare*, cit., pp. 125 sgg.

[32] ASN, *Piante e disegni*, cart. XXXII, 11bis, *Pianta del porto di Trani* (1760). Cfr. F.A. Fiadino, *I porti delle province pugliesi fra Settecento e Ottocento*, in *Sopra i porti di mare*, cit., p. 207. Un'altra pianta senza data ne firma è in Archivio di Stato di Napoli, *Piante e Disegni, Piante della Segreteria d'Azienda*, cart.1, *Pianta del porto di Trani*. Un interessante grafico che registra la situazione del porto all'inizio dell'Ottocento, firmato dall'architetto G. Gimma è conservato alla SNSP, *Pianta e descrizione del porto di Trani* (1809), n. 12743.

[33] F.A. Fiadino, *I porti delle province pugliesi fra Settecento e Ottocento*, cit., p. 208.

[34] ASN, *Piante e Disegni, Piante della Segreteria d'Azienda*, cart. 2, G. Bompiede – Pianta del porto di Barletta con la marina adiacente e antico molo (15 agosto 1755). Allegata al disegno è una dettagliata relazione con tutte le istruzioni necessarie alla realizzazione. I lavori di ampliamento del porto di Barletta, iniziati su progetto degli ingegneri Valentino e Sallustio, ebbero un lungo iter proseguendo fino agli anni '90. Le opere eseguite fino a questi anni sono registrate nelle piante di Domenico Magarelli, direttore dei lavori (ASN, Piante e Disegni, Piante della Segreteria d'Azienda, cart.1). Cfr. M.R. Perna, *Il progetto settecentesco*, in *Barletta tra il grano e la sabbia. I progetti per il porto*, a cura dell'Archivio di Stato di Bari - Sez. Archivio di Stato di Barletta, Bari 1983, p. 49 e sgg.; F.A. Fiadino, *I porti delle province pugliesi fra Settecento e Ottocento*, cit., p. 209.

[35] Nel '59 per la gravissima situazione in cui versava il porto il progetto di Bompiede fu integrato dalla perizia dell'ingegner Paolo Carlier. Cfr. F. Strazzullo, *Architetti e ingegneri napoletani dal '500 al '700*, cit., p. 38.

[36] ASN, *Piante e Disegni*, *Piante della Segreteria d'Azienda*, cart. 3, G. Bompiede – Pianta del porto di Bari (30 luglio 1760). Un'altra pianta è anche presso la SNSP. Cfr. anche F.A. Fiadino, *I porti delle province pugliesi fra Settecento e Ottocento*, cit., p. 211.

[37] *Ivi*, p. 210.

[38] *Ivi*, p. 212.

[39] F. Strazzullo, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica*, cit., p. 70, doc. 17.

[40] Cfr. B. Tanucci, *Epistolario*, vol.XII, cit., p.351.

41 A. Buccaro, *I porti flegrei e l'alternativa allo scalo napoletano dal XVI al XIX secolo*, cit., p. 137. Cfr. anche ASCN, *Municipio di Napoli* – I serie, *Conclusioni e Appuntamenti del Tribunale della Fortificazione*, parte I, Sez. IV, vol. 38.

[42] Nel 1763 viene inviato ad Agrigento per verificare e provvedere agli "errori commessi nelle opere" (B. Tanucci, *Epistolario*, vol. XII (1763-64), cit., p. 303). Nello stesso anno parte con l'alfiere Sanchez, un capomastro e un sommozzatore per verificare le gravi lesioni nella lanterna di Agrigento (ivi, p. 320) per concludere i lavori nello stesso anno (ivi, p. 351).

[43] N. Nocerino, *La Real villa di Portici*, Napoli, Fratelli Raimondi, 1787, pp. 133-135; M. D'Ayala, *Napoli Militare*, Napoli, Stamperia dell'Iride, 1847, p. 308. Cfr. anche A. Formicola, *Il porto borbonico del Granatello*, Napoli 1984, pp. 23-25; G. AMIRANTE, *Istruzione e difesa, cultura e produzione a Napoli*, in *L'edilizia pubblica nell'età dell'Illuminismo*, a cura di G. Simoncini, t. III, Firenze, Olschki, 2000, pp. 872-873, p. 876; Ead., *Fuga soprintendente alla politica urbana di Ferdinando*, in in *Ferdinando Fuga 1699-1999 Roma, Napoli, Palermo*, Atti del Convegno Internazionale di Studi (Napoli, teatrino di corte, 25-26 ottobre 1999), a cura di A. Gambardella, Napoli, ESI, 2001, pp. 177-195.

[44] G. Amirante, A. Buccaro, *Regesto-Napoli*, in *L'edilizia pubblica nell'età dell'Illuminismo*, cit., pp. 926-941.

[45] L'ospedale della Marina a Piedigrotta è ricordato dal D'Ayala come capace di accogliere 300 ammalati. Cfr. M. D'Ayala, *Napoli militare*, cit., p. 63, p. 315. Dell'intervento del Bompiede sono

conservati alla SNSP i disegni di pianta, con le indicazioni delle trasformazioni da apportare. Cfr. SNSP, *Pianta del piano terra dell'Ospedale della Gente di Galera situato nelle vicinanze di N. Signora di Piedigrotta, con le variazioni necessarie da farsi per ingrandire il detto Ospedale, ed acciò vi siano li convenienti comodi*, 3 dicembre 1750, n.10429; SNSP, *Pianta del primo appartamento dell'Ospedale dei Forzati, sito vicino a Piedigrotta, dove vi sono marcate le corsee con li suoi letti, secondo il nuovo progetto per renderlo capace di maggior numero di dannati, dando alle corsee suddette la sua ventilazione necessaria*, 3 dicembre 1750, n. 10429. Cfr. anche M. R. Pessolano, *Interventi pubblici nella Napoli del Settecento*, in *L'edilizia pubblica nell'età dell'Illuminismo*, cit., pp. 813-855, p. 824. Il Bompiede fu il tecnico di questa struttura se lo ritroviamo nel 1771 impegnato, insieme all'ingegnere camerale Astarita, alla redazione di una perizia riguardante la ricostruzione di un muro di recinzione confinante col Quartiere dei soldati a Piedigrotta. Cfr. F. Strazzullo, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica*, cit., p. 114, doc. 124.

46 *Vue de la ville de Naples du côte de la Chiaia comencant depuis le tombeau de Virgile jusqu'au château de l'œuf, 1771, dis. Stefano Giraud*, in C. de Seta, *Cartografia della città di Napoli. Lineamenti dell'evoluzione urbana*, Napoli, E.S.I., 1969.

[47] Il re ha approvato il progetto di Bompiede "di far colla spesa di 9200 d. un nuovo quartiere pel battaglione di marina". Cfr. Le lettere di Bernardo Tanucci a Carlo III di Borbone (1759-1776), a cura di R. Mincuzzi Roma, 1969, p. 774. Per il disegno cfr. ASN, Piante della Segreteria d'Azienda, cart. 1, Progetto per ridurre l'antico Ospedale della Gente di Galera situato nel tenimento della Regia Darsena, ad uso della Reale Accademia de Guardia Stendardi, e Marine, con li Ripartimenti necessarij per le scuole, Quartiere, ed Abitazioni del Primo e Secondo comandante, datata (Napoli 30 novembre 1753) e firmata, con l'approvazione reale il 24 gennaio 1754.

[48] M. D'Ayala, *Napoli militare*, cit., p. 108; B. Maresca, *La Marina militare nel secolo XVIII*, Napoli 1902, pp. 34-35; L. Radogna, *Storia della Marina Militare delle Due Sicilie*, cit., p. 15, pp. 183-184. Cfr. anche G. Amirante, *Istruzione e difesa, cultura e produzione a Napoli*, cit., pp. 872-873.

[49] Su Portici "presidio militare della capitale" cfr. G. Amirante, *Fuga soprintendente alla politica urbana di Ferdinando*, cit., p. 192 e sgg.

[50] ASN, *Piante della Segreteria d'Azienda*, cart. I, A) Pianta del sito,che si dice dietro la Torre di S. Vincenzo, ora demolita sin al piano della terra, con il progetto della Batteria, che dalla M.S. è stata ordinata per maggior difesa della darsena; con qual congiuntura si progetta un Magazeno per servizio della Marina attiguo alla batteria suddetta, datato (Portici 30 giugno 1754) e firmato. B) Spaccato del Magazeno, e Batteria, che si progetta dietro la Torre di San Vincenzo, ora demolita datato (Portici, 30/6/1754) e firmato. – catalogazione provvisoria. Questi lavori sono ricordati anche dal D'Ayala, che li colloca nel 1740: "La batteria del Molo è rifatta dal Bompiede, poi nuovamente ricostruita nel 1792". Cfr. M. D'Ayala, *Memorie storico militari dal 1734 al 1815*, cit., pp. 307-308.

[51] Cfr. il Regesto a cura di G. Amirante, A. Buccaro, M. R. Pessolano, in *L'edilizia pubblica nell'età dell'Illuminismo*, cit., t. III, p. 938.

[52] M. P. Iovino, scheda n. 38 in *Scienziati-artisti*, cit., p. 157.

[53] M.R. Simeone, scheda n. 37 in *Scienziati artist*, cit., p. 156-157. Il disegno è pubblicato a p. 198.

[54] Cfr. M. G. Pezone, *Francesco Gasperi e Collecini: tangenze e distanze*, in *Francesco Collecini*, atti del Convegno (Belvedere di San Leucio, dicembre 2004), in corso di stampa.

[55] Dopo la morte fu sostituito nel 1790 da Francesco Collecini. Cfr. F. Strazzullo, *Documenti per la storia dell'edilizia e dell'urbanistica*, cit., p. 78, doc. 36 bis. Cfr. anche R. Serraglio, *Interventi settecenteschi per la Santa Casa dell'Annunziata di Capua*, in *Ferdinando Fuga 1699-1999 Roma Napoli Palermo*, cit., pp. 353 sgg.

[56] La costruzione si trova immediatamente prima di capo Posillipo, adiacente al fortino accanto al casino dei principi di Ischitella. Cfr. la pianta del duca di Noja in *Cartografia della citta di*

Napoli, cit., vol. III, tav. 30.

[7] Cfr. *Cenno sul R. Opificio pirotecnico militare di Posilipo per Leopoldo Badini, capitano direttore del suddetto opificio comandante la compagnia artifizieri*, estratto da «L'Araldo Giornale militare politico» del 25 settembre n. 209, Napoli 1851, p. 4: "che sino da' tempi del generale francese de Pommereuil […] venne stabilito allo estremo capo di Posillipo: concorrendo nella scelta di tale sito […] sia l'amenità di quell'aere necessaria per contrastare le esalazioni […] sia l'isolamento completo e la discreta distanzia […] dalla capitale".

[58] ASN, *Piante e Disegni*, *Piante della Segreteria d'Azienda*, cart.1: *Pianta del Casino del fu D. Domenico Ossorio colle sue adiacenze, e progetto per ridurlo in Magazzino, da servire per riporvi la polvere de' Bastimenti che capiteranno nel Porto di Napoli, nel qual Magazzino dovrà rimanervi depositata sino alla loro partenza* (Napoli, 15/7/1771). Sulla questione cfr. anche la scheda di A. Di Salle in *Scienziati-Artisti*, cit., p. 158, che però individua Sanchez solo come il disegnatore. Il disegno è pubblicato a p. 200.

[59] SNSP, *Disegni di Architettura*, inv. 12398: *Pianta, veduta e profili del nuovo quartiere per servizio degli individui del Battaglione di Marina in rimpiazzo del piano superiore dell'attuale quartiere destinato d'ordine di S. M. per servizio degl'individui della reale squadra di Marina*, Napoli 7/10/1772, firmato da Errico Sanchez, vistato da Bompiede e approvato il 20 novembre 1772. Il disegno, pubblicato anche in G. Amirante, *Istruzione e difesa, cultura e produzione a Napoli*, in *L'edilizia pubblica*, cit., t. III, pp. 872-873, p. 874, è però attribuito alla prima fase progettuale.

[60] M.G. Pezone, *Studio dell'antico e cultura architettonica neoclassica. La formazione e l'attività di ingegnere militare di Francesco La Vega*, in *Napoli-Spagna. Architettura e città nel XVIII secolo*, a cura di A. Gambardella, Napoli, ESI, 2003, pp. 73-90.

[61] Cfr. ASN, *Sezione Militare*, *Stati di servizio della Marina*, f. 4, f.lo 92, dal quale ho ricavato le notizie qui riportate. Nel fascicolo è contenuta la richiesta al Ministro della Marina della "pensione delle orfane" da parte delle figlie Teresa, Marianna e Ulderica Sanchez.

[62] *Ibidem*. Cfr. anche *ivi*, f. 1, f.lo 2.

Nicola Augenti

Storia e vicende edilizie del Teatro di San Carlo a Napoli

Per volontà di Carlo di Borbone il giorno 11 marzo 1737 iniziava a Napoli la costruzione del "Real Teatro di San Carlo", il più bello e grande d'Europa, degno monumento per la capitale del "Regno delle due Sicilie".

Il Teatro, all'epoca, era simbolo di potere e dava lustro al regnante: esso costituiva, altresì, strumento di governo che consentiva al Re di riunire l'aristocrazia nobiliare per indottrinarla con manifestazioni e spettacoli mirati, ovvero per celebrare pubblicamente eventi politici e dinastici.

Il primo Teatro pubblico di Napoli, il "Teatro di San Bartolomeo", era stato costruito nel 1620 sotto il viceré Ognatte nel vico San Bartolomeo, a poca distanza dalla residenza dei Viceré, nel cuore della Napoli spagnola: esso occupava l'area ove è attualmente ubicata la Chiesa di Santa Maria delle Grazie (nota anche come "Graziella") alle spalle della Calata San Marco. Questo Teatro era caratterizzato da una pianta rettangolare, di tipo tradizionale, ed era dotato di 34 palchi disposti su due ordini, oltre che di una galleria e di una platea capace di circa 300 posti. Esso fu distrutto da un incendio nel 1681 e riedificato nel 1684.

Re Carlo, considerando che tale Teatro, non solo era ubicato in zona decentrata rispetto alla Reggia e di difficile accesso per le carrozze, ma che era divenuto insufficiente per capienza e poco adatto alle esigenze della Corte, lo comperò nel 1736 e, poco tempo dopo, lo fece demolire utilizzando le strutture lignee per la costruzione di palchi e palcoscenico del nuovo Teatro.

Sull'area della vecchia platea fu costruita, da Medrano e Carasale, la Chiesa di Santa Maria delle Grazie.

Il progetto del nuovo "Teatro di San Carlo" fu affidato all'arch. Giovanni Antonio Medrano, brigadiere dei reali eserciti. La costruzione venne appaltata all'imprenditore arch. Angelo Carasale e fu completata in soli otto mesi. L'opera costò 100.000 ducati, di cui 20.000 vennero pagati dal Re e circa 12.000 furono ricavati dalla demolizione del vecchio "Teatro di San Bartolomeo".

Per procedere alla costruzione, prevista nell'area a nord del nuovo Palazzo Reale e ad est del Palazzo Vecchio, si dovettero demolire molti edifici, anche per lasciare alle spalle del palcoscenico lo spazio necessario a una scenografia all'aperto che consentisse movimenti di massa e scene equestri. Lo stato dei luoghi precedente la costruzione si può osservare in un dipinto anonimo, conservato nel Museo di San Martino, che rappresenta "Il Carnevale" del 1711 a Napoli", tra "Largo del Palazzo Reale" e "Largo del Castello".

Per quanto attiene il disegno della pianta, è stato scritto che il modello as-

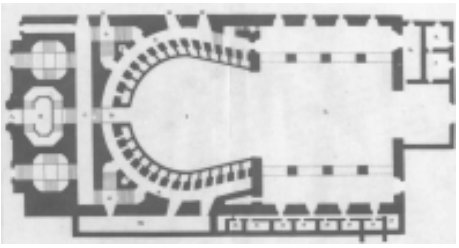


Fig. 1 – Pianta originaria (Encyclopédie)

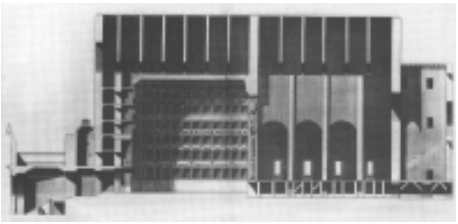


Fig. 2 – Sezione longitudinale originaria (Encyclopédie)

sunto fu quello del "Teatro Argentina" di Roma, realizzato nel 1732 su progetto dal marchese Theodoli. Basta, però, confrontare la pianta del "Teatro di San Carlo" con quelle del "Teatro Argentina" e del "Teatro Nuovo" di Monte-calvario sui "Quartieri Spagnoli", per comprendere come il vero modello ispiratore fosse all'epoca costituito da quest'ultimo, del quale il Teatro Reale copiò la pianta integralmente.

Il "Teatro Nuovo" era stato costruito nel 1724 dallo stesso imprenditore Angelo Carasale, su progetto di Domenico Antonio Vaccaro che aveva introdotto in Campania la platea a "ferro di cavallo". La pianta del "Teatro di San Carlo" redatta dal Medrano il 22.03.1737 appare piuttosto scarna. Per avere notizie più precise sulla struttura originaria bisogna far riferimento ad altre fonti iconografiche, come le tavole redatte dallo scenografo Vincenzo Re nel 1747, i tre rilievi originali di Gabriel Pierre Martin Dumont (uno dei quali stampato al contrario) e le due tavole dello stesso Dumont pubblicate sull'Encyclopédie e rappresentate nella Fig. 1 e nella Fig.2.

Da tali fonti, e in particolare dalle due tavole riportate sull'Encyclopédie, si evince che il primo impianto era costituito dai seguenti corpi: Un primo corpo di fabbrica monopiano sul fronte strada contenente i tre scaloni di ingresso e la porta laterale (a oriente) di accesso al palcoscenico; confrontando il dipinto del 1711 con la pianta del Dumont si può ipotizzare che il corpo di ingresso fosse stato alloggiato in vecchie strutture esistenti e ciò darebbe ragione dell'assenza di esso nella pianta del Medrano.

- Un adiacente volume, su due piani, contenente i corridoi di ingresso alla platea e al palco reale.

- Un grande corpo di fabbrica comprendente sei ordini di palchi (28 per i primi due livelli e 30 per gli altri quattro), le scale laterali di accesso ad essi, la platea e il palcoscenico; l'intero volume era sovrastato da una copertura a tetto, realizzata con capriate in legno impostate tutte alla stessa quota, sia sulla Sala che sul Palcoscenico; la pianta della Sala si presentava in forma di semicerchio prolungato agli estremi da rette convergenti verso il Palcoscenico; l'area di quest'ultimo era suddivisa in tre parti da due murature laterali, erette su tre alti pilastri sovrastati da altrettanti archi e da timpani sui quali poggiavano le capriate del tetto; la

quota della platea era più elevata di circa 3 m. rispetto al piano stradale, mentre al di sotto della quota palcoscenico era stato ricavato un sottopalco in legno.

- Un corpo di estremità più basso, alle spalle del palcoscenico, conteneva il cosiddetto "nicchione" di fondo per il deposito delle scene e tre locali laterali destinati ad attrezzeria e guardaroba;

- Un corpo laterale (ad occidente) conteneva la galleria di collegamento tra il Palazzo Reale e il palco reale, oltre che i camerini per gli attori.

Le strutture portanti erano tutte in muratura naturale o in laterizi; solamente le coperture e il primo sottopalco erano realizzati in legno.

Sotto l'aspetto cartografico il Teatro trova la sua prima, inequivocabile, rappresentazione nella "*Mappa Topo-grafica della Città di Napoli e de' Suoi Contorni*" incisa nel 1775 da Nicolò Carletti per don Giovanni Carafa duca di Noja, mentre non è ancora presente, ad esempio, nella *"Pianta ed Alzata della città di Napoli*" incisa da P. Petrini nel 1748 e nelle stampe successive fino al 1775.

Il Teatro Reale fu inaugurato il 4 novembre 1737, nel giorno di San Carlo, con l'opera "*Achille in Sciro*" (libretto di Pietro Metastasio e musica di Domenico Sarro). Lo stesso costruttore, Angelo Carasale, ne fu l'imprenditore fino al 1741, sfruttando l'analoga esperienza già fatta con il "Teatro di San Bartolomeo" e con il "Teatro Nuovo".

Nel mese di settembre del 1742, su progetto di Giovanni Maria Galli Bibiena, venivano eseguiti interventi finalizzati a migliorare l'acustica.

Nel mese di novembre del 1747, in occasione della nascita dell'erede al trono, Filippo, lo scenografo Vincenzo Re addobbava il Teatro e lo trasformava in sala da ballo per i festeggiamenti: dai suoi disegni in pianta e in sezione, come già detto, è possibile risalire alla struttura originaria dell'edificio.

Nell'anno 1767 Ferdinando I di Borbone, in occasione delle proprie nozze con Maria Carolina d'Austria, incaricava l'architetto Ferdinando Fuga di rinnovare gli interni del Teatro: venivano aggiunti otto palchi di proscenio tra i pilastri del boccascena, si cambiavano gli addobbi, venivano aggiunti cristalli a specchio nella sala e un cornicione sull'ultima fila di palchi.

Ferdinando Fuga, nel 1777, operava altri interventi di restauro delle decorazioni e del palcoscenico.

Nel 1797, in occasione dell'arrivo a Napoli dell'arciduchessa Maria Clementina d'Austria, sposa del principe ereditario Francesco, l'architetto Domenico Chelli, direttore della scenografia, riceveva l'incarico di abbellire il teatro; in tale occasione venivano anche eliminati gli specchi montati dal Fuga.

Durante la Repubblica Partenopea, nel 1799, il "Teatro di San Carlo" assunse il nome di "Teatro Nazionale".

Sotto il regno di Gioacchino Murat, l'architetto Antonio Niccolini, direttore di scenografia, vinceva il concorso bandito per il rinnovamento del Teatro: i lavori iniziarono il 4 novembre 1809.

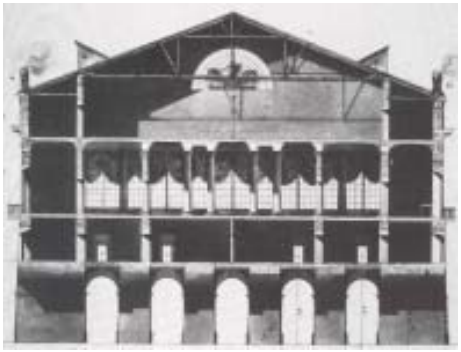


Fig. 3 – Sezione trasversale del nuovo corpo progettato dall'arch. Niccolini (Museo Naz. di San Martino)

La parte più importante del progetto consisteva nell'edificazione di un corpo di fabbrica antistante l'ingresso del Teatro e prevedeva:

- al primo livello, realizzazione di un porticato di protezione per il transito dei pedoni e delle carrozze; trasformazione delle preesistenti scale laterali in sale d'aspetto; costruzione della scala di accesso ai piani superiori;

- al piano ammezzato, realizzazione dei vani costituenti la cosiddetta "Trattoria" sovrastante il porticato e il corpo scale;

- al livello corrispondente al terzo ordine di palchi, realizzazione del "Ridotto" con sovrastanti stanze e saloni da gioco;

- al livello corrispondente al quinto ordine di palchi, realizzazione dei locali destinati alla pittura delle scenografie.

Nella Fig. 3 è rappresentata una sezione trasversale del progetto di Antonio Niccolini.

Il nuovo prospetto venne realizzato con un bugnato, a finitura grezza in basso, sempre più levigato nel procedere verso l'alto sino ad essere interrotto da cinque bassorilievi in numero pari agli archi. Il portico era sovrastato da una balaustra di travertino e da quattordici colonne ioniche di marmo bianco che sostenevano il cornicione sormontato da un frontone triangolare (che sull'acroterio centrale sosteneva una statua di Partenope nell'atto di coronare i Geni della commedia e della tragedia). Sui muri ai lati del colonnato erano incisi i nomi di Alfieri, Metastasio, Goldoni e quelli di Pergolesi, Iommelli, Piccinni .

Nell'anno 1812 venivano eseguiti lavori di abbellimento e di ristrutturazione della sala consistenti nella riduzione dell'altezza dei parapetti dei palchi, nel sollevamento del calpestio della sala e nella disposizione ad arco delle poltrone. Al fine di ridimensionare l'altezza della sala, il Niccolini fece realizzare sotto il soffitto un velario, simile a quello dei teatri classici, sul quale era dipinta "L'apoteosi degli uomini sommi nelle arti e nelle scienze".

Modifiche di carattere strutturale riguardarono il boccascena, la creazione di una fossa al di sotto del palcoscenico e la trasformazione degli archi ubicati ai lati di quest'ultimo in un grande arco centrale, affiancato da due archi di minore luce. Il giorno 13 febbraio 1816, mentre erano in corso le prove generali del ballo "*Venere pellegrina*" un incendio distrusse, nel volgere di poche ore l'intero edificio, come ben si può osservare in Fig. 4.

Solamente sei giorni dopo, Ferdinando I di Borbone incaricava don Antonio Niccolini, architetto della Real

Casa e decoratore dei Teatri reali, del progetto di ricostruzione e della sua esecuzione.

Il Teatro venne interamente riedificato così come era prima dell'incendio e arricchito internamente: i parapetti dei palchi (uno ogni quattro) furono decorati con fregi dorati e bassorilievi in argento; le tappezzerie interne dei palchi, previste in rosso dal Niccolini, furono realizzate in azzurro per disposizione del Re; il nuovo palco reale fu addobbato con un drappo rosso e gigli dorati; la tela del soffitto fu dipinta a tempera da Giuseppe Cammarano, che raffigurò Apollo mentre presentava a Minerva i primi poeti greci e italiani, da Omero ad Alfieri. Lievi modifiche vennero anche realizzate nella zona degli ingressi.

Nell'area del palcoscenico, ai lati del boccascena, furono realizzati due sistemi di archi che costituivano la struttura di appoggio per le capriate di copertura alle quali dovevano essere sospese anche le macchine teatrali, ma nel contempo consentivano il deflusso dell'aria verso la sala, requisito che il progettista riteneva essenziale per una buona acustica.

Al di sotto del palcoscenico, per l'intera superficie di esso, furono realizzati due livelli di sottopalchi che raggiungevano la quota stradale e nei quali trovarono collocazione i meccanismi di scena di Giacomo Pregliasco. Nuovi locali furono realizzati, sempre in prossimità del palcoscenico, anche ad oriente per ospitare gli artisti e ad occidente per creare luoghi di ristoro. La struttura del tetto venne realizzata in maniera ardita per i tempi, con capriate in legno; nel sottotetto furono ricavati saloni per le scene, per i costumi e per l'attrezzeria.



Fig. 4 – L'interno del teatro dopo l'incendio (Museo Naz. di San Martino)

La copertura della Sala, appoggiata sui muri perimetrali, possedeva quota di imposta più bassa di quella del Palcoscenico. Quest'ultima poggiava, oltre che sulle pareti di facciata, anche sulle murature interne costituite da archi e pilastri; essa presentava, all'estradosso, alcuni abbaini ed era divisa dal tetto del Palazzo Reale mediante un timpano in muratura più elevato.

I lavori di ricostruzione vennero appaltati da Domenico Barbaja.

La nuova costruzione presentava le seguenti caratteristiche: platea di larghezza 24 m , lunghezza 25 m e altezza 22.83 m ; superficie del palcoscenico pari a 3522.50 m^2 ; 2500 posti; 158 palchi; 2 loggiati.

Il nuovo Teatro venne inaugurato il giorno 12 gennaio 1817 con lo spettacolo "*Il sogno di Partenope*" (libretto di Urbano Lampredi e musica di Simone Mayr). Nel 1822 il re Ferdinando concedeva sia i locali adibiti a "Ridotto" del Teatro che le sale da gioco, alla "Reale Accademia dei Cavalieri" (già "No-

bile Accademia di ballo e di musica delle signore dame e cavalieri napoletani"): si trattava di tutti i locali sovrastanti il portico e le scale, sia al piano "mezzanino" che al piano "nobile".

Interventi sul palcoscenico venivano eseguiti da Antonio Niccolini nel 1824. Dieci anni dopo, la "Società di Industria e Belle Arti" promuoveva il restauro della Sala affidandolo al medesimo architetto.

Al fine di procedere all'ampliamento del Palazzo Reale verso settentrione (la cui costruzione era iniziata nel 1600 su progetto dell'arch. Gaetano Genovese), il giorno 6 gennaio 1838 iniziavano, sul lato occidentale del Teatro, i lavori di demolizione del Palazzo Vecchio dei Viceré, antica Reggia progettata dall'arch. Manlio e fatta costruire da Pietro di Toledo: i lavori furono completati nel febbraio del 1842.

Nell'anno 1840 il Teatro veniva dotato di illuminazione a gas.

Quattro anni dopo, Ferdinando II affidava al Niccolini importanti lavori di ristrutturazione riguardanti: le tappezzerie (cambiate dall'azzurro al rosso), le decorazioni (mutate dall'argento all'oro), i palchi e il lampadario.

Nello stesso anno gli architetti Francesco Gavaudan e Pietro Gesuè vincevano il concorso bandito per la sistemazione della facciata occidentale del Teatro, resasi necessaria in seguito alla demolizione del Palazzo Vecchio e all'ampliamento del Palazzo Reale. Nel corso dei lavori vennero aperti altri ingressi laterali e la nuova ala settentrionale della Reggia, rifatta dal Genovesi, fu messa in diretta comunicazione con l'"Accademia dei Cavalieri" e con il Teatro, tramite un ampio corridoio.

Il giorno 28 giugno 1854 Ferdinando II ordinò i lavori di restauro della Sala (terminati in soli 3 mesi e 6 gg) nel corso dei quali vennero, tra l'altro, realizzati: i rivestimenti dei palchi, le nuove sedie della platea in ferro fuso e il sipario di Giuseppe Mancinelli (in collaborazione con Salvatore Fergola) raffigurante il Parnaso.

Dopo l'annessione del Regno di Napoli al Regno d'Italia, nel 1863, essendosi sciolta l'"Accademia dei Cavalieri", i locali già da essa occupati (comprendenti il piano "mezzanino" e il piano "nobile" sul portico per circa 1000 mq) venivano concessi in uso al "Casino dell'Unione" (oggi "Circolo Nazionale dell'Unione").

Nel 1875 una Commissione Tecnica nominata dalla Giunta Municipale per esprimere un parere sulle condizioni statiche del teatro riferì che, mentre le strutture murarie (già risanate e incatenate in più punti) si trovavano in condizioni soddisfacenti, le capriate di copertura (sia nella zona del palcoscenico che in quella sovrastante la Sala e il Circolo dell'Unione) si presentavano in condizioni statiche precarie, a causa dei carichi eccessivi e delle infiltrazioni d'acqua.

Su indicazioni dell'ing. Carlo Martinez fu rinforzata l'orditura secondaria in legno e fu sostituito il manto di copertura del tetto con lamiere ondulate. Avendo il Parlamento del Regno deliberato di cedere i teatri di proprietà del-

lo Stato ai rispettivi Municipi, il 14 ottobre 1887 il "Teatro di San Carlo" e il "Teatro Mercadante" vennero ceduti gratuitamente al Comune di Napoli.

Nell'anno 1927, sotto la direzione di Mario Folinea, ingegnere capo dell'Ufficio Tecnico Comunale, fu iniziata dalla ditta *Ferro-Beton* la ricostruzione integrale delle strutture di copertura. Una fase dei lavori è illustrata nella foto d'epoca di Fig. 5.

Poiché le travi lignee delle capriate risultavano aggredite dai tarli in modo diffuso ed erano profondamente deteriorate agli appoggi, si ritenne opportuno sostituirle con capriate in cemento armato. Atteso che le zone di copertura relative al Palcoscenico e alla Sala presentavano problemi differenti, furono adottate soluzioni distinte.



Fig. 5 – Realizzazione delle nuove coperture

Nell'area del Palcoscenico si trovavano due grossi pilastri che, come si è già detto, tramite un sistema di muri ed archi sovrapposti sostenevano le strutture del vecchio tetto in legno: tali elementi, però, ostruivano la scena e intralciavano le operazioni relative agli allestimenti. Nel contempo il piano di manovra dei macchinisti, risultando particolarmente angusto per effetto delle ingombranti capriate lignee, richiedeva un innalzamento del piano delle catene che consentisse di ottenere spazi di manovra adeguati all'importanza degli spettacoli da allestire. Al fine di risolvere tali problemi si decise, allora: di eliminare tutte le murature presenti nell'area del palcoscenico (che ne risultò notevole ampliato); di impostare le nuove strutture di copertura direttamente sui muri perimetrali (rinforzati con l'inserimento di cordoli in cemento armato); di sollevare la quota d'imposta di 4.50 m. rispetto al livello precedente (ma non oltre, per non turbare l'equilibrio architettonico esistente tra i volumi della Reggia e quelli del Teatro). La quota di copertura della Sala, viceversa, non poté essere modificata nella stessa misura per la presenza del soffitto affrescato del Cammarano. Per evitare danni a tale dipinto, furono progettate perciò capriate in conglomerato cementizio armato le cui anime erano costituite da travi metalliche reticolari autoportanti, alle quali poter sospendere il dipinto, già nella fase di costruzione.

Nella Fig. 6 sono rappresentate (sovrapposte) sia le antiche capriate

lignee di copertura del Palcoscenico che le nuove travi reticolari in conglomerato cementizio armato Nella Fig.7 si possono osservare le nuove capriate in cemento armato di copertura della Sala: all'interno di esse si intravedono le travature reticolari metalliche cui furono sospese le catene delle antiche capriate in legno e il soffitto affrescato del Cammarano. Al termine della costruzione, l'intera copertura venne protetta con un manto di lastre di zinco e con tegole di argilla.

Nello stesso periodo vennero realizzati anche: il sipario di sicurezza "tagliafuoco", una nuova scala di accesso ai palchi di seconda fila nel proscenio e l'impianto di riscaldamento. Nell'anno 1937, in considerazione dell'impossibilità di ripristinare il foyer del Teatro nei locali già concessi al "Circolo Nazionale dell'Unione", su progetto dell'ing. Michele Platania, venne edificato un nuovo corpo di fabbrica da destinare a tale uso. La costruzione, realizzata nei giardini reali in aderenza al prospetto orientale del Teatro, si elevava sino al piano ammezzato ed era coperta a terrazzo.

Nel 1941 il palcoscenico venne arretrato di 2.75 m. per ampliare la platea e fu ripristinata la navicella acustica, ma poco dopo, in seguito agli eventi bellici, il Teatro venne chiuso. Il giorno 4 agosto 1943 il nuovo corpo di fabbrica adibito a foyer fu distrutto durante un bombardamento. Nel corso della sua ricostruzione furono create due nuove porte (una di comunicazione con il corridoio dei palchi di prima fila e una con il vestibolo), fu realizzato l'impianto di montascene e furono ricavati, nel sottosuolo dei giardini reali, ampi locali da destinare a falegnameria.

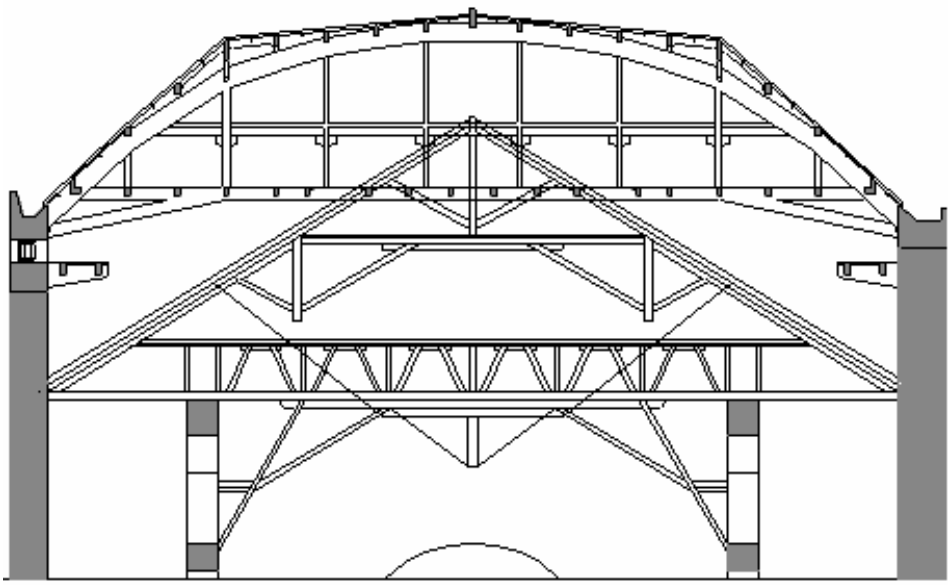


Fig. 6 – Strutture di copertura del palcoscenico, nuove e antich

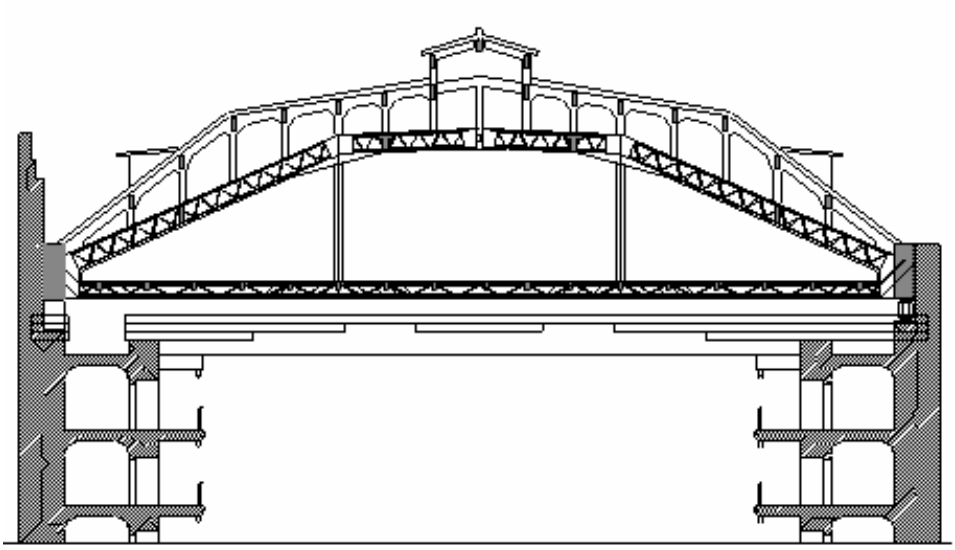


Fig. 7 – Nuove strutture di copertura della Sala e catene delle antiche capriate

Il Teatro riprese la propria attività il giorno 15 maggio 1944 con la rappresentazione dell' "*Aida*" messa in scena per le truppe alleate.

In Fig. 8 è rappresentata l'attuale pianta di primo livello del Teatro.

Il terremoto campano-lucano del 23 novembre 1980 provocò solamente dan-

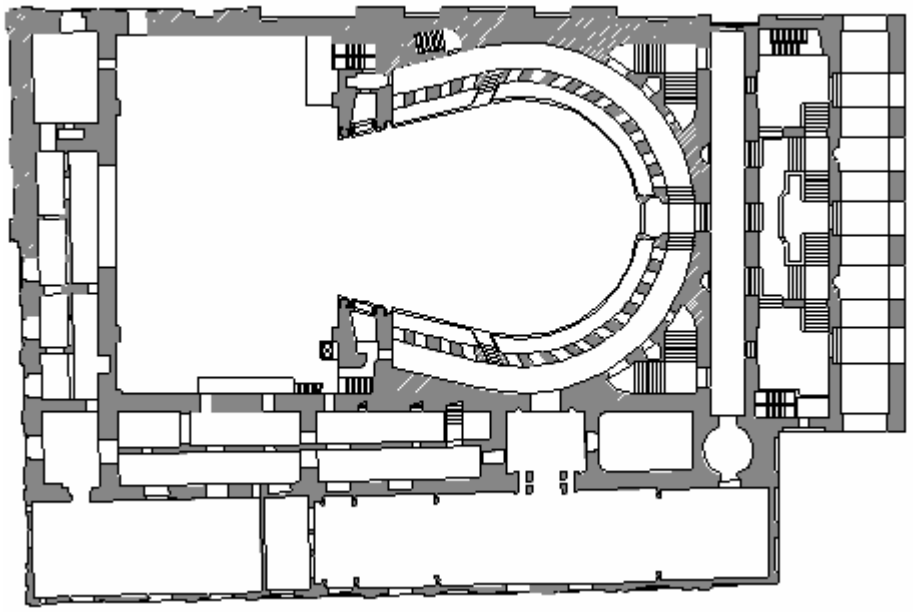


Fig. 8 – Pianta del primo livello dopo gli ultimi interventi edilizi

ni di entità tale da non richiedere la chiusura del Teatro.

Nel settembre 1989 ebbero inizio radicali opere di ristrutturazione mirate in particolare a rendere le strutture e gli impianti del Teatro conformi alle norme di sicurezza vigenti. I lavori, eseguiti dal Provveditorato alle Opere Pubbliche per la Campania con la consulenza strutturale dello scrivente, sono consistiti, essenzialmente, nei seguenti interventi:

- consolidamento delle strutture portanti dei palchi;

- adeguamento dell'impianto elettrico e dell'impianto di rilevamento fumi;

- ripristino dei pavimenti in cotto napoletano e rifazione di tutte le tappezzerie con materiale ignifugo;

- costruzione di ascensori per disabili;

- recupero dei locali sottostanti la piazza San Ferdinando (ex Albergo Diurno Cobianchi per circa 400 m^2) e collegamento di essi al terzo sottopalco, mediante una galleria;

- costruzione di un grande serbatoio interrato in c.a. e dell'impianto antincendio;

- ricostruzione delle strutture di montascene;

- bonifica e adeguamento funzionale dei tre livelli di sottopalchi.

Dopo i lavori di restauro funzionale, il Teatro riprendeva ufficialmente la propria attività il giorno 19 aprile1990, con la rappresentazione dei "*Carmina Burana*" di Carl Orff.

Nella Fig. 9 è possibile osservare la sezione longitudinale del Teatro, così come si presenta oggi. Procedendo da sinistra verso destra si riconoscono: il corpo di fondo; la zona del Palcoscenico con i tre livelli di "sottopalchi"; la Sala e i sovrastanti ambienti adibiti a scenografia; la zona degli ingrassi e del portico al disopra dei quali si trovano i saloni del "Ridotto".

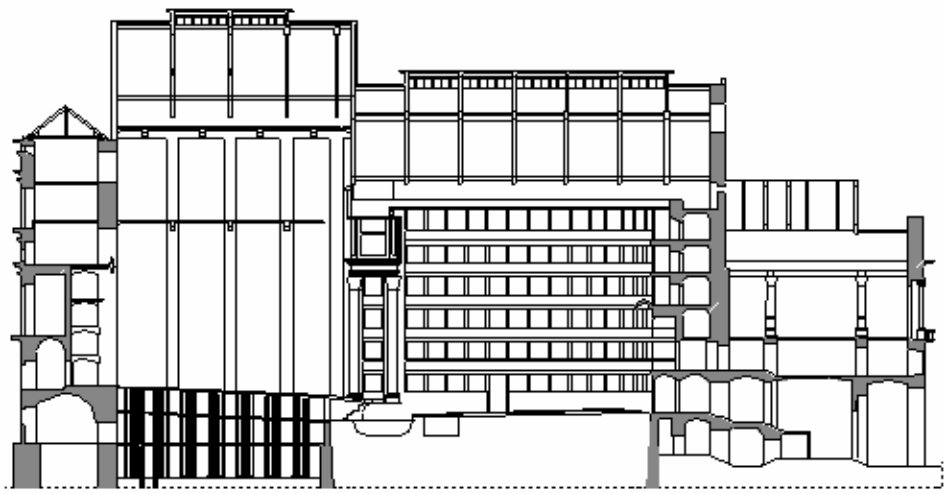


Fig. 9 – Sezione longitudinale dopo gli ultimi interventi edilizi

Negli ultimi quindici anni sono stati effettuati altri interventi di adeguamento funzionale consistiti, principalmente, nella realizzazione dei nuovi Uffici Amministrativi ricavati nel sottotetto, nel consolidamento delle strutture lignee dei tre livelli di "sottopalchi", nella creazione della nuova centrale elettrica.

Nell'estate dell'anno 2003 sono stati, invece, eseguiti imponenti lavori di risanamento e consolidamento statico delle travi reticolari in c.a. di copertura del Palcoscenico. In particolare gli interventi (di cui lo scrivente è stato collaudatore statico) si sono resi necessari per poter installare i nuovi argani e i nuovi tiri sul "piano forato", necessari alle moderne scenografie: gli attuali allestimenti, infatti, richiedono il sollevamento e la movimentazione di carichi molto superiori a quelli per i quali erano state progettate le travi di copertura. Il consolidamento è stato condotto in parte mediante applicazioni di "beton plaqué" e parzialmente attraverso l'applicazione di FRP.

Le vicende edilizie del "Teatro di San Carlo" occupano un posto di rilievo nella Storia dell'Ingegneria, conquistato attraverso 368 di lavori condotti per realizzare e conservare il Teatro Lirico più importante e più bello del mondo.

Bibliografia

Aa.Vv., *Cento Anni di Vita del Teatro di San Carlo*, Napoli, Ente Autonomo del Teatro, 1948.

Aa.Vv., *Il Teatro di S. Carlo*, Napoli, Ente Autonomo del Teatro, 1951.

Aa.Vv., *Cronache del Teatro di San Carlo*, Napoli, Arti Grafiche Ricordi, 1969.

Aa.Vv., *Il Teatro di San Carlo*, Napoli, Guida, 1987.

Aa.Vv., *Il Teatro di San Carlo 1737-1987*, Napoli, Electa Napoli, 1987.

Aa.Vv., *Il Teatro del Re – Il San Carlo da Napoli all'Europa*, Napoli, E.S.I., 1987.

Francesca M. Lo Faro

Ingegneri e lavori pubblici in Sicilia tra Sette e Ottocento

Capita spesso di leggere, in opere di autori siciliani, tirate polemiche contro gli ingegneri del corpo di Ponti e strade, considerati la peggiore specie di "canaglia napoletana" e ritenuti responsabili delle mediocre qualità delle opere pubbliche realizzate in Sicilia[1]. Di converso, è abbastanza consueto trovare nelle stampe pubblicate a Napoli bruschi e taglienti giudizi contro i tecnici isolani, oggetto di feroci critiche per i sistemi di costruzione ed il pessimo tracciato delle strade siciliane dell'epoca[2]. Una tale polemica -che offre la misura del conflitto e dello scontro tra ingegneri napoletani e siciliani- si sviluppò soprattutto dopo il 1838, quando, per effetto di una nuova legge, gli ingegneri napoletani appartenenti a Ponti e strade assunsero la direzione dei lavori pubblici nell'isola, realizzando delle strade che risultarono tecnicamente migliori, sia nella struttura sia nella scelta del tracciato[3]. Indubbiamente la maggiore capacità dei tecnici formati nelle scuole napoletane era dovuta all'accurata istruzione riservata agli ingegneri meridionali fin dall'epoca del decennio francese. Mentre, infatti, il Napoletano aveva visto, durante il regno di Gioacchino Murat, l'istituzione nel 1808 del Corpo degli ingegneri di Ponti e strade e, nel 1811, la relativa scuola di applicazione (modellata sulla gloriosa "École des Ponts et Chaussées" francese), in Sicilia bisognò attendere il 1860 per avere, su iniziativa governativa, proditattore Giuseppe Garibaldi, la creazione a Palermo di una Scuola di applicazione per ingegneri e architetti, come mezzo di efficace istruzione formale[4].

I meriti dei tecnici di formazione napoletana, le loro indubbie capacità professionali, le loro innovative modalità operative, l'inadeguatezza delle infrastrutture prodotte in Sicilia, furono riconosciuti a malincuore da Giuseppe Perez (intellettuale,impiegato a Palermo con mansioni nelle opere pubbliche), che nel 1861, diede alle stampe "La Sicilia e le sue strade" (Palermo, tip. di Francesco Lao). Ecco cosa scriveva Perez, con un'intonazione di "sicilianismo" che connota tanta parte della produzione isolana dell'epoca: "Gl'ingegneri napoletani, educati già ai sistemi di costruzione francese, seguivan quelli pari passo e non v'era novità che in Francia nascesse che in Napoli non fosse imitata". Indicando, poi, il direttore generale di Ponti e strade, Carlo Afan de Rivera, come il maggior responsabile della dipendenza amministrativa della Sicilia da Napoli nel campo delle opere pubbliche, Parez aggiungeva: "È doloroso che i Siciliani non possano sentire per quest'uomo quella stima che va dovuta al suo intelletto, imperoché incarnato egli nella idea di un'assoluta fusione contribuì non poco coi suoi consigli alla dipendenza continentale cui fummo sottoposti". "Un so-

vrano amante del benessere del suo popolo" -concludeva Giuseppe Perez- avrebbe dovuto lasciare alla Sicilia la sua indipendenza amministrativa e, allo stesso tempo, introdurre nell'isola, in fatto di lavori pubblici, quelle stesse istituzioni che Napoli doveva alla dominazione francese[5].

Le riflessioni del Perez confermano un quadro ampiamente noto: dopo il 1815, il Regno delle due Sicilie fece proprio il modello statuale napoleonico e le conseguenti novità legislative; ma, fondamentalmente, fu la parte continentale del Regno a mantenere gli apparati amministrativi e giudiziari impiantati nel decennio. In Sicilia, invece, furono molte le resistenze alla cosiddetta politica"dell'amalgama" e, soprattutto nella parte occidentale dell'Isola e a Palermo, prese vigore una sorda politica autonomista che, più propensa a guardare al modello statuale britannico, non accettò la forma di organizzazione napoleonica, portatrice di storia e valori considerati estranei al tessuto locale. Nel campo dei lavori pubblici, questo rifiuto provocò una profonda differenza tra le Province borboniche al di qua e al di là del Faro, come ebbe modo di dire con approfondita competenza lo stesso Carlo Afan de Rivera, nel 1823, in uno scritto in cui - accentuando l'arretratezza della Sicilia in tutti i campi e fin dal tempo di Carlo III- non si sottraeva alle controversie politiche tra "Sicilia citeriore" e "Sicilia ulteriore", conseguenti la rivoluzione del 1820-21[6]. La validità del "modello francese" nel campo dei lavori pubblici, per la verità, fu subito chiara allo stesso governo borbonico fin dall'estate 1806, quando erano trascorsi soltanto pochi mesi dall'ingresso delle armate straniere a Napoli. Un prezioso fascicolo dell'Archivio borbone, dimostra che Ferdinando IV – costretto a Palermo con la Corte, mentre nel napoletano regnava Giuseppe Bonaparte – nominò una Giunta (formata da Medici, Migliorini e dal duca d'Ascoli) incaricata di definire il metodo "come riordinare lo Stato riguardo ai cambiamenti che francesi vi avevano fatto, quantunque non si sia riconquistato il Regno"[7]. In tema di lavori pubblici, la Giunta ritenne opportuno aumentare i fondi destinati alle infrastrutture e considerò necessari, per i successivi dieci anni, almeno 400 mila ducati, da utilizzare per la sistemazione delle vecchie e la costruzione delle nuove strade.

Ma, quel che è più rilevante, è altro: la Giunta propose la creazione di una Direzione generale per ponti e strade, con un direttore in ciascuna provincia. Lo scenario auspicato – veramente innovativo, se paragonato alla sfilacciata e irregolare realtà napoletana di tardo Settecento – poneva attenzione alle esigenze delle comunità locali e, soprattutto, con un salto concettuale che si adeguava alle suggestioni dell'irrompente attualità, mirava a combinare la disponibilità di nuove istituzioni e di risorse pubbliche, per inserirle in un organismo controllato a livello centrale. Tale era il passaggio obbligato - a parere della Giunta -per attuare una strategia di comportamenti in grado assecondare, con una politica d'investimenti per le grandi infrastrutture, il flusso del consenso verso Ferdinando IV.

La maggiore diffusione della rete stradale -supponeva la Giunta- avrebbe anche propiziato il processo di commercia-lizzazione dei prodotti interni, creando, in ultima analisi, uno strumento per mutare il rapporto tra feudalità e produttività, con conseguenti processi di differenziazione sociale anche in rapporto al sistema fiscale. Nessun significativo accenno la Giunta borbonica dedicava però alle figure degli ingegneri e degli architetti, cioè dei tecnici che avrebbero dovuto promuovere con efficienza la politica delle infrastrutture, non appena il Meridione fosse stato sottratto alla "occupazione militare" di Giuseppe Bonaparte.

La Giunta borbonica non fu chiamata a dare alcun parere sulla situazione nel Regno di Sicilia, dove la mancanza di fondi e di strumentazioni moderne per le opere pubbliche fu sempre una costante, aggravata dal noto meccanismo dei "donativi" del Parlamento siciliano. Nel Regno di Sicilia, infatti, si investirono poche risorse per realizzare le infrastrutture che, invece, erano riconosciute fondamentali e prioritarie a Napoli, anche se poi, all'atto pratico, ritardi e indugi nelle attuazioni della viabilità non mancarono neanche nel Meridione, specie a causa delle difficoltà derivanti dall'impervia natura orografica del territorio[8]. A tali ostacoli, in Sicilia si aggiungevano freni provenienti da interessi particolari e localistici, emergenti tutte le volte che le politiche di riforma mettevano in discussione gli equilibri precedenti, provando ad avanzare una diversa articolazione del rapporto tra comunità e comunità, o tra Napoli e Palermo. La fallimentare politica stradale nel Regno di Sicilia fu iniziata dai governi riformistici dell'ultimo Settecento, con i viceré napoletani Caracciolo e Caramanico che nell'isola svolsero la stessa azione che a Napoli era sostenuta da un gruppo d'illuministi come Grimaldi, Filangieri, Palmieri e Galanti. Il Tribunale del real Patrimonio, in qualche occasione, fu lo strumento operativo dei riformatori. A quell'ambito appartenne l'economista Vincenzo Emanuele Sergio, che fu autore di una "Lettera sulla polizia delle pubbliche strade di Sicilia" (pubblicata a Palermo, nel 1777, dal "librario e impressore veneziano" Andrea Rapetti)[9]. La memoria del Sergio, letta nel 1772 in un'accademia scientifico-letteraria e stampata con gli auspici del principe di Scordia (l'allora "prefetto delle strade" del Regno di Sicilia), affermava che le spese per le principali vie di comunicazione dovevano ricadere "sopra tutta la nazione", perché vi è un generale vantaggio[10].

Questa affermazione del principio di pubblica utilità, rappresentò la data d'inizio della politica stradale d'epoca borbonica. Difatti, dalla pubblicazione di Sergio scaturì la prima spinta alla costruzione delle strade carrozzabili. Il 5 aprile 1778 il Parlamento siciliano avanzò al sovrano la richiesta per trasformare in rotabili le otto strade del servizio postale (che erano quasi interamente in terra battuta), che da Palermo dovevano diramarsi a raggiera verso i centri più importanti, sia della costa sia dell'interno, con bracci diretti alla volta dei "carica-

tori", che erano gli scali da cui si esportavano i prodottie le derrate, soprattutto il grano. Per una tale realizzazione si calcolò che occorresse una rete viaria estesa circa 700 miglia (il miglio siciliano equivaleva a m. 1.487), ma, a causa della scarsezza di fondi (i donativi votati dal Parlamento non raggiunsero mai la cifra necessaria), dal 1778 al 1824 si costruirono soltanto circa 250 miglia di carrozzabili. La Deputazione del regno doveva imporre nelle nuove strade il diritto di pedaggio. Ma è scontato pensare che, stante la scarsa circolazione interna, soltanto con quei proventi era certamente impensabile realizzare opere significative. Il risultato fu inevitabilmente fallimentare: la strada più lunga realizzata fu quella da Palermo a Vallelunga e S. Caterina; e, per tale costruzione, si fece ampio uso soldati di truppa e di forzati, per sopperire alla carenza di manodopera.Il direttore dell'opera fu il conte Lorenzo Persichelli, napoletano, capo degli ingegneri militari del Regno, che delineò tutte le strade di Sicilia, con un tracciato che aveva il vantaggio di avere poche pendenze e una buona stabilità di fondo, ed il merito di incrociare tutte le strade che mettevano in comunicazione la parte meridionale dell'isola con la costa settentrionale. Persichelli fu affiancato e poi sostituito dall'ingegnere Santi Ferdinandi.

Ragioni di natura politica fecero ritardare l'avanzamento dell'opera. Forte fu l'opposizione dell'ingegnere Salvatore Attinelli, direttore delle strade di Sicilia e rappresentante della Deputazione del regno[11]. Anche il baronaggio mal tollerò l'operato di Persichelli e dei tecnici inviati dalla Corte. Molti esponenti del notabilato, scontenti del tracciato delineato dagli ingeneri militari, vi si opposero, presentando una pioggia di perizie curate da agrimensori di paese, capomastri locali e persino preti[12]. Un portavoce dell'irritato malcontento dei proprietari terrieri, che mal sopportavano il dirigismo degli ingegneri di Corte, fu il marchese Domenico Maria Giarrizzo, autore del "Saggio sulle strade carrozzabili del Regno di Sicilia", con cui chiese, a nome del baronaggio, la direzione dei lavori e con essa i fondi necessari alla grande opera[13]. "Ogni padrone di feudo è obbligato alla costruzione e conservazione delle strade" – afferma il marchese Giarrizzo, facendo intendere che non è un dovere del governo costruirle, ma è compito dei singoli direttamente interessati. "A fare strade tutti son capaci" aggiungeva il marchese, assicurando che per la costruzione di tutta la rete stradale siciliana era sufficiente un solo architetto (che doveva provvedere, in primo luogo, alla rotabile Palermo-Messina via Catania, una direttrice nodale per i tanti interessi legati a questa strada).

Così affermando, Giarrizzo dimostrava la grave arretratezza del suo pensiero. Egli non pensava ai vantaggi civili derivanti dalla viabilità e, in tal modo, era assai lontano dalle posizioni dei fisiocratici (come Filangieri) e alle dottrine degli aderenti al neo-mercantilismo (come Genovesi e Galiani). Giarrizzo riproponeva una stanca concezione. Il suo era un ritorno al passato, se possibi-

le. Ma,nonostante il suo appello, i feudatari dal governo non ottennero quello che chiedevano. Difatti, nell'estate 1792, il viceré Caramanico appellò due "novatori" , l'architetto "giacobino" Léon Dufourny[14] e Felice Lioy[15], chiedendo loro di supervedere i progetti delle strade i Sicilia; e poi, più semplicemente, di dirigere la costruzione delle future strade che dovevano penetrare dei feudi sequestrati ai Gesuiti[16]. Val la pena a questo proposito ricordare che proprio i fondi appartenuti ad ordini religiosi e i beni della Magione (aggregati da Ferdinando IV alla Corona, con dispaccio del 28 luglio 1787) offrirono ad architetti ed ingegneri - e, più in generale, ai funzionari di governo più propensi ad un rinnovamento delle strutture socioeconomiche dell'Isola come Simonetti, Vivenzio, Balsamo, Lioy- il laboratorio in cui elaborare nuovi modelli di sviluppo, anche nell'ambito delle opere pubbliche, come lascia intendere il sistema di gestione attuato da Donato Tommasi (al tempo in cui fu avvocato della real commenda della Magione) e da altri esponenti del "partito napoletano" (come il Medici, il duca d'Ascoli, Francesco Carelli) che si trovarono a vivere in Sicilia nei difficili frangenti che videro la rivoluzione del 1799 e il decennio francese[17].

Proprio il "partito napoletano", inviso grandemente ad una parte consistente dei feudatari, ebbe dal sovrano il compito, nel 1808, di allestire un Piano per finanziare a spese del Parlamento la costruzione delle strade consolari (che erano le più importati), mentre le vie secondarie, dovevano essere pagate dalle università che se ne avvantaggiavano e dai proprietari dei fondi limitrofi[18]. La costituzione del 1812 volle conseguire un risultato di conservazione sociale e politica facendo ricorso a metodi ed esperienze di tipo rivoluzionario[19]. Nel proliferare di nuovi progetti un più incisivo programma di lavori pubblici, il parlamento accrebbe i donativi per le strade, soprattutto perché la presenza militare inglese in Sicilia imponeva rapidità negli approvvigionamenti delle truppe britanniche, che avevano fatto dell'isola un presidio al centro del Mediterraneo.

Nel 1813, il soprintendente alle strade, Antonio Lucchese Palli, principe di Campofranco, espresse le sue critiche all'operato degli ingegneri militari, colpevoli nel passato di aver dilapidato grosse somme[20]. L'anno successivo, Domenico Lo Faso Pietrasanta, duca di Serradifalco, (rimasto noto per le sue ricerche archeolo-giche) propose di riorganizzare l'amministrazione prendendo a modello il corpo francese di Ponti e strade, da lui ben conosciuto, come dimostrano i volumi di tecnici francesi che arricchivano la sua vasta biblioteca[21]. All'animato dibattito di epoca costituzionale, prese anche parte Carlo Afan de Rivera, ancor giovane ufficiale dell'ufficio topografico di Palermo, e quasi certamente autore delle "Riflessioni politiche e militari sulla Sicilia, compilate nell'Officio Topografico, terzo dipartimento dello Stato Maggiore Generale" (Palermo, Tip. Reale di Guerra, 1813)[22].

Lo scritto è un atto di accusa contro gli influenti proprietari terrieri che si op-

ponevano al progetto del catasto e alla creazione di una carta topografica a grande scala, strumento per gli accertamenti fiscali[23]. Contro tali resistenze, Afan de Rivera caldeggiava di affidare la formazione di un catasto all'Officio topografico di Palermo e confutava Giovanni Blasco, aiutante nel Corpo del genio, secondo il quale per delineare un catasto sarebbe stata sufficiente l'opera degli agrimensori locali. Di contro, reputava assurdo ingrandire la vecchia e imprecisa carta austriaca del barone Samuele von Schmettau (realizzata dal 1719 al 1721)[24] e sosteneva necessaria la creazione di una nuova carta a grande scala (ottima per il catasto), lavoro da compiersi sotto la direzione dell'astronomo Giuseppe Piazzi (Ponte di Valtellina 1746 Napoli 1826)[25].

Lo scienziato valtellinese, coinvolto in Sicilia nella realizzazione di opere di utilità pubblica, come l'Osservatorio astronomico, lungamente accarezzò il progetto di poter "levare" una carta geografica dell'isola. A tal fine nel 1808, aveva ordinato in Inghilterra ad un abile costruttore (Mat-thew Berge) l'intera serie di strumenti topografici, destinati alla realizzazione di quel piano, che naufragherà a causa della opposizione di chi, a ragione, vedeva nella carta un potente strumento a disposizione del ministro delle finanze Luigi De Medici che intendeva razionalizzarre il sistema di prelievo fiscale[26]. La rappresentazione grafica del territorio, fondamentale per qualsiasi piano infrastrutturale, fu considerata necessaria dagli Inglesi. Per assicurare la difesa militare della Sicilia, gli ingegneri britannici svolsero una attività di mappatura, attestata da documenti archivistici[27]. Nel 1813, William Henry Smyth, amico di Giuseppe Piazzi, ebbe l'incarico non ufficiale dall'Ammiragliato britannico di circumnavigare le coste siciliane, rilevando il litorale isolano, soffermandosi sulle aree costiere abitate; altro incarico ebbe poi nel 1816, da cui scaturì un Atlante coro-idrografico, nato dalla collaborazione con l'officio topografico dello stato maggiore[28]. In Sicilia l'attività cartografica fu stimolata anche da necessità di carattere amministrativo.

La costituzione del 1812, decretò la suddivisione dell'isola in 23 distretti e, in questa circostanza, necessitando una visualizzazione grafica della realtà territoriale, il parlamento si avvalse della collaborazione di Giuseppe Piazzi e dell'economista Paolo Balsamo,mentre non sembra, invece, che vi si stata la collaborazione dell'officio topografico dello stato maggiore generale dell'esercito che, stante a Palermo, negli anni 1809-1810 incise una rappresentazione della Sicilia[29]. Agostino Gallo (1790-1872) fu un poligrafo che rappresenta la nostra principale fonte (sebbene imprecisa) per conoscere gli le opere pubbliche progettate da ingegneri e architetti attivi in Sicilia30. Riguardo alle realizzazioni promosse dalla Corona, talvolta sembra che Gallo sia addirittura colpevolmente omissivo.

Benché egli fosse pienamente in contatto con l'ambiente degli architetti (Giuseppe Venanzio Marvuglia, fu suo parente e insegnante di architettura), tralascia di parlare di figure di primo piano,

come il napoletano conte Lorenzo Perischelli, capo degli ingegneri militari del Regno di Sicilia e tra gli artefici della ricostruzione di Messina, dopo il terremoto del 1783. Né cita l'ingegnere militare Giuseppe Valenzuola, che pianificò lo schema urbanistico Ustica, dopo il ripopolamento promosso dal viceré Fogliani.

Altra fonte per conoscere le realizzazioni dell'epoca è il messinese Andrea Gallo (17321814), professore di filosofia e matematica nel Real Collegio di Messina, legato al mondo della ricerca scientifica e tecnica (furono suoi corrispondenti i napoletani Tata, Cirillo, Pacifico) e professore di Francesco Sicuro (1746-1827), un messinese noto, oltre per la sue realizzazioni come architetto militare, anche per le celebri incisioni, con vedute della Città di Messina (1768)[31]. Francesco Sicuro e Andrea Gallo furono amici di un altro ingegnere militare, Andrea Pigonati, nato a Siracusa da una famiglia con tradizioni militari, rimasto noto per esser stato nel Regno di Napoli direttore per la costruzione della strada degli Abruzzi (da Castel di Sangro a Sulmona), realizzata dal 1784 al 1790, anno della sua morte[32]. Meno nota è l'attività di Pigonati ad Ustica, dove fu mandato, nel maggio 1759, per ordine del sovrano, Carlo III, assieme ad altri ingegneri militari, per progettare le forti-ficazioni, in vista di un prossimo popolamento dell'isola[33].

Pigonati volle scrivere il resoconto della sua missione, che pubblicò col titolo "Topografia dell'isola di Ustica ed antica abitazione di essa". Il lungo e complesso scritto, di estremo interesse per le notizie di carattere naturalistico e storico – oltre per l'ideologia regalista e riformatrice che lo anima – dimostra che Pigonati, come in altri architetti militari, fu animato da un vivido interesse per le scienze[34]. Le sue conoscenze di ingegneria idraulica gli valsero l'incarico regio per riaprire il porto di Brindisi, la cui bocca era stata ostruita nel 1449. Nella "Memoria del riaprimento del Porto di Brindisi" (Napoli, Michele Morelli, 1781) il tenente colonnello Pigonati ci rivela la sua intensa collaborazione con il matematico Vito Caravelli, con cui collaborò fianco a fianco per mesi, dal febbraio 1776. L'opera pubblica brindisina rappresentò uno dei momenti più alti dell'ingegneria di epoca borbonica, sebbene –a quanto pare- Pigonati non si rifece alle aggiornate teorie dell'ingegnere trapanese, Leonardo Ximenes (1716-1786), una delle maggiori personalità scientifiche della Toscana lorenese, nonché la massima autorità in Italia nel campo delle inalveazioni e livellazioni dei corsi d'acqua.

Di queste questioni si occupò anche Giuseppe Zahra (1730-1821), un ingegnere idraulico che ebbe una avventurosa ma ancora misteriosa esistenza. Nato a Malta, studiò a Napoli, dove conobbe le dottrine di Torres, Genovesi, Martino. Divenuto militare di marina, fu costretto a fuggire da Malta. Dopo un avvincente viaggio che lo portò a Pietroburgo, dove conobbe il celebre matematico svizzero Leonardo Eulero, giunse a Catania e vi introdusse le più avanzate ricerche europee nel campo delle matematiche su-

blimi[35]. Se si esclude il suo insegnamento all'università, i lavori per la viabilità e per la realizzazione di approdi secondari, la più importante opera pubblica progettata dallo Zahra fu il molo di Catania, in cui fece uso di "cassoni prismatici" (gettate di massi artificiali), che non era-no certo una grande innovazione tecnica[36]. La realizzazione del molo fu lunga e ostacolata, come attesta la coeva pubblicistica[37]. Il progetto fu presentato nel marzo 1785 e, dopo molti avvii e rinvii, l'opera pubblica fu abbandonata sino al 1823. A quella data Giuseppe Zahra era già scomparso, e il molo fu realizzato dal suo figlio adottivo, Salvatore Zahra Buda (1770- 1832), che fu autore della "Relazione sul molo di Catania", (Catania, Giuseppe Pappalardo, 1828)[38].

Nel momento in cui divenne direttore dei lavori, Salvatore Zahra Buda dovette confrontarsi con gli ingegneri napoletani e con i sistemi di costruzione suggeriti dall'architetto Giuliano de Fazio, ispettore generale di Ponti e strade, tecnico molto attivo nella prima metà dell'Ottocento a Napoli e in Sicilia (collaborò al Lazzaretto di Messina), e fautore del riutilizzo di alcune strutture superstiti del porto romano di Nisida per la riedificazione di nuovi moli[39].

L'architetto Giuliano de Fazio espresse queste idee nel "Discorso intorno al sistema di costruzione de' porti" (Napoli, tip. Angelo Trani, 1814) e nel "Discorso secondo intorno al sistema di costruzione dei porti concernente alcune ricerche sopra gli antichi porti d'Ostia, d'Anzio, d'An-cona, di Civitavecchia.." (Napoli, De Bonis, 1816). Anche al ritorno dei Bor-bone, quando furono ripresi i programmi di opere pubbliche per il Regno previste dai Francesi, non cambiarono i progetti di de Fazio per Nisida, come attesta lo scritto: "Intorno al miglior sistema di costruzione de' porti" (Napoli, stamperia dell'amministrazione provinciale e comunale, 1828)[40].

Proprio in quell'anno, cioè nel 1828, Giuliano de Fazio e Giuseppe Zahra Buda si conobbero personalmente in un incontro in cui era anche presente il giovane Federico De Bauden, ingegnere di acque e strade del servizio di Ponti e strade.

I tre tecnici discussero del problema degli interrimenti dei porti: de Fazio – da una parte - insisteva "a considerare dannosa la costruzione di moli continuati, alla maniera del moderno, perché produttrici degli interramenti" e proponeva per Catania un sistema di archi e pilastri "che vi succedono l'un l'altro". Salvatore Zahra Buda – da parte sua - sosteneva che il porto di Catania, posto in mare interno, non rischiava interrimenti e pur tuttavia – affermava conciliante - "se si vorrà, a maggior sicurezza dello stesso, si potrebbero lasciare aperte due bocche per due archi"[41].

Le diverse posizioni espresse da Giuliano de Fazio e Salvatore Zahra Buda in merito all'architettura portuale, lasciano aperti degli interrogativi intorno alla validità delle distinte teorie di cui si fecero portavoce i due tecnici meridionali. E allo stesso tempo, attestano lo scambio di esperienze tra i tecnici napoletani

e siciliani. La circolazione delle conoscenze tra Napoli e Sicilia fu continua nel corso del Settecento e proseguì anche col Regno delle Due Sicilie: Carlo Medrano, Nicola Anito, Andrea Pigonati, Francesco Sicuro, Ferdinando Visconti, sono solo alcuni degli ingegneri o architetti siciliani che si trovarono ad trovarono ad operare nel Napoletano. E, di converso, Ferdinando Fuga, Lorenzo Persichelli, Pompeo Schiantarelli e il suo allievo Giuliano de Fazio, Carlo Afan de Rivera, e molti altri tecnici "napoletani", lavorarono in Sicilia, una entità politico-territoriale profondamente diversa dal Regno di Napoli, soprattutto perché non conobbe la fondamentale esperienza del decennio francese.

[1] Tale è il giudizio dall'ingegnere C. Buda, *Elogio biografico di Salvatore Zahra Buda*, Catania, Felice Sciuto, 1848, p. 28.

[2] Tra gli ingegneri isolani che realizzaronole strade in Sicilia figurano Vincenzo Di Martino (nel 1810, architetto di prima classe), Giuseppe Patti (dal 1806, architetto camerale; nel 1824, ingegnere in capo; nel 1826, portò in luce un tratto della antica strada romana Messina-Catania), Pasquale Patti, Nicola Baiamonte, Emanuele Palermo; Carlo Ferdinando Dolce (17771842; pubblicò nel 1836 e nel 1838 due opere sulle strade di Sicilia), Gaetano Lo Piano, Sergio Saverio Bentivegna (autore nel 1848 di uno scritto per il Parlamento, con progetti di leggi sulle strade), Mario Musumeci, Nicola Cavallari, Giovanni Priolo, un tal Della Rocca, Giuseppe Mazzarella, Ignazio Giarrussso, Luigi Spagna, Vincenzo Greco, Pietro Palermo, Benedetto Ventimiglia, Giuseppe Selvaggi, Giuseppe Zahra. Gli ingegneri napoletani che lavorano alle strade dell'isola furono Benedetto Lopez Suarez, Marino Massari, Camillo De Tommaso.

[3] O. Cancila, *Il problema stradale sino all'unificazione*, in *Storia della Sicilia*,diretta da R. Romeo, Napoli, Società editrice Storia di Napoli e della Sicilia, 1977, vol. IX, pp. 75 e 77.

[4] La bibliografia sulle professioni tecniche nel Mezzogiorno è in *Scienziati-artisti, formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*, Catalogo della mostra (Napoli, 5 maggio 2002-15 marzo 2003) a cura di A. Buccaro e F. De Mattia, Napoli, Electa Napoli, 2003; *Dalla scuola di applicazione alla facoltà di ingegneria: la cultura napoletana nell'evoluzione della scienza e della didattica del costruire, Atti del convegno (Napoli, 5-6 giugno 2002)*, a cura di A. Buccaro e S. D'Agostino, Benevento, Hevelius, 2003.

[5] La memoria del Perez è stata ristampata in*Un secolo di politica stradale in Sicilia: Vincenzo Emanuele Sergio e GiuseppePerez*, a cura di C. Trasselli, Caltanissetta-Roma, Sciascia, 1962, pp. 31-123.

[6]C. Afan de Rivera, *Considerazioni sul progetto di prosciugare il lagoFucino…*, Napoli, Reale tipografia, 1823. Nella ricostruzione dei quasi cento anni di vita del regno borbonico, l'autore dimostra competenza e concretezza progettualevastissime, se paragonate a quelle dei componenti delle Società economiche siciliane. Per sopperire alla mancanza di strade, come altri ingegneri dell'epoca, crede che la soluzione stia in una rete di navigazione interna per la Sicilia.

[7] Archivio di Stato di Napoli, *Archivio Borbone*, b. 658, inc. 7, ff. 308f 317f, settembre 1806, Medici al re.

[8] N. Ostuni, *Le comunicazioni stradali nel Settecento meridionale*, Napoli, ESI, 1991.

[9] Ristampata in *Un secolo di politica stradale in Sicilia*, cit., pp. 3-29. Il Sergio fu impiegato del Tribunale del real patrimonio con incarichi a Ustica. Pubblicò il *Codice diplomatico del Commercio* e le *Lezioni di economia civile*. Fu prosegretario

del Supremo magistrato di commercio, professore di economia politica, socio della reale Accademia di Napoli .

[10] Per consuetudine i principi di Scordia, che erano "grandi camerari del Regno" ebbero incarichi nelle opere pubbliche. Nel 1839 Pietro Lanza di Trabia, principe di Scordia, dettò a Salvatore La Rocca (ufficiale nell'Intendenza di Messina) una *Dissertazione economico-politica sulla necessità e utilità delle strade territoriali rotabili*, Messina, tip. di Giuseppe Fiumara, 1839 (estratto da "L'Occhio", n 14).

[11] L. Sarullo, *Dizionario degli artisti siciliani* , vol. 1, *Architettura*, Palermo, Novecento, 1993, p. 632. Il Persichelli, dopo il terremoto di Messina del 1783, fu invitato dal governo per portare i primi soccorsi.

[12] *Archivio di Stato di Palermo*, Real Segreteria, Consulta del brigadiere Persichelli, Napoli, gennaio 1789, busta 5500, in O. Cancila, *Viaggi e trasporti*, cit. p. 70.

[13] In "Nuova raccolta di opuscoli di a utori siciliani", t. III (vol. 24 dell'intera serie), Palermo, Solli, 1790, 197-212 . Giarrizzo fu procuratore fiscale della Gran corte criminale e autore di un volume sulla genealogia dei re di Sicilia.

[14] Su questo architetto francese, che visseper qualche anno a Palermo, si veda L. Dufourny, *Diario di un giacobino a Palermo, 1789-1793*, introd. di G. Bautier Bresc. Palermo, Fondazione Lauro Chiazzese della Sicilcassa, 1991, 26 giugno e primo luglio 1792.

[15] Celebre massone pugliese, esule, e in Sicilia incisivo rifomatore con una attività che merita approfondimenti.

[16] L. Dufourny, *Diario di un giacobino*, cit., 26 giugno e primo luglio 1792.

[17] Il duca d'Ascoli fu fratello di uno straordinario architetto, Vincenzo Marulli. Su Francesco Carelli (1758-1832), segretario di governo (e con monsignor Airoldi coinvolto nel progetto politico che stava dietro all'abate Vella e dei falsi documenti del Consiglio d'Egitto) si veda la biografiain Dizionario Biografico degli Italiani.

[18] Nel 1808 la Giunta fu composta dal Medici, dal direttore delle reali segreterie di Casa reale e azienda, da Donato Tommasi, e dal conte di Priolo (Napoli 1779-Palermo 1843) che fu eletto sovrintendente generale. Col decreto "Istruzioni e ordini sovrani per la buona amministrazione della Soprintendenza delle strade", le strade rotabili vennero distinte in tre classi: consolari, traverse principali e secondarie.

[19] Questo giudizio è stato espresso più voltenei fondamentali scritti di Francesco Renda.

[20] *Memoria al Parlamento.... dove... s'espone un progetto intorno alla direzione, costruttura ed economico regolamento delle strade consolari*, Palermo, dalla Tipografia reale di guerra, 1813.

[21] *Memoria al Parlamento.... dove... si espone un progetto di una nuova organizzazione per lo accurato regolamento dell'opere*", Palermo, Reale stamperia, 1814. Un commento dei progetti in A. Abbadessa, *Tre allievi di Giuseppe Venanzio Marvuglia*, Palermo, Assessorato regionale ai beni culturali, 1999, p. 19. Si veda anche G. Bonanno, *Rapporto presentato a SAR dal curatore delle strade duca di Serradifalco intorno all'organizzazione delle barriere*, Palermo, stamperia di Giambattista Giordano, 1814.

[22] L. Gambi, *Carlo Afan de Rivera e l'Officio Topografico di Palermo*, "Archivio storico messinese", ser. III (1953-54), pp. 29-38.

[23] Progetti di introduzione del catastofondiario furono avanzati al tempo del viceré Caracciolo (1783) e del viceré Caramanico (1790). Nel 1810 il parlamento approvò la riforma del sistema fiscale, che doveva portare alla formazione del catasto fondiario (iniziato soltanto nel 1838).

[24] G. Blasco, *Progetto economico per la formazione delle tavole statistiche della carta topografica di Sicilia* [Palermo, reale stamperia] 1813. In Sicilia a lungo le mappe ufficiali furono redatte da una eterogenea e variegata molteplicità di figureprofessionali: notai, architetti, capimastro, ecclesiastici. Cfr. L. Salomone, *Le Piante geometriche e topografiche nell'Archivio Moncada di Paternò*, "Archivio Storico Messinese", 1994, n. 66, pp. 5-53; *Le mappe del Catasto Borbonico di Sicilia. Territori comunali e centri urbani nell'archivio cartografico Mortillaro di Villarena (1837-1853)*, a cura di E. Caruso e A. Nobili, Palermo, Regione siciliana, s.d.

[25] E. Manzi, *Alcuni documenti cartografici poco*

noti e inediti della Sicilia tra i secoli XVIII e XIX, "Rivista Geografica Italiana" a. 86 (1979), pp. 187-214, p. 210. Le rappresentazioni della Sicilia in *L'isola a tre punte. La Sicilia dei cartografi dal XVI al XIX secolo*, a cura di E. Iachello, Catania, Maimone, 1999.

[26] G. Piazzi, *Sulle vicende dell'astronomia in Sicilia*, a cura di G. Foderà Serio, Palermo, Sellerio, 1990.

[27] La mattina del 4 marzo 1811, gli ingegneri britannici, impegnati a "segnare i punti di veduta necessarii alla pianta" della linea di costa prospiciente Messina, ad insaputa delle autorità borboniche, in tutti i forti attorno alla città innalzarono la bandiera inglese, con il pretesto di avere dei punti di osservazione per la cartografia. La gente rimase indifferente. ASN, *Archivio Borbone*, b. 226, inc. 3, f. 145 rv.

[28] *The idrography of Sicily,* ripubbl icata in W.H. Smyth, *La Sicilia e le sue isole*, a cura di S. Mazzarella, Palermo, ed. Giada, 1989. La genesi del progetto in E. Manzi, *William Henry Smyth, l'Atlante coro-idrografico siciliano e i rapporti con la cartografia ufficiale delle Due Sicilie*,"Bollettino della Società Geografica Italiana", serie X, vol. XI (1982), pp. 721754.

[29] Nella Biblioteca Nazionale di Napoli (Inventario dei ms della Biblioteca Provinciale, 72, 72 bis, 72 ter) sono conservate le carte relative a Val di Noto, Val Demone e Val di Mazzara. Tali mappe forse erano preparatorie ad una carta del Regno.

[30] *I manoscritti di Agostino Gallo* , vol 2: *Notizie intorno gli architetti Siciliani e agli esteri soggiornanti in Sicilia da' tempi più antichi sino al corrente 1838*, a cura di C. Pastena, Palermo, Assessorato regionale dei beni culturali ambientali, 2000.

[31] Francesco Sicuro fu comune amico di Andrea Gallo e di Andrea Pigonati. Il suo nome appare nella corrispondenza tra i due,che è stata pubblicata da S. Leone, *Di Andrea Gallo poligrafo messinese*, in "Archivio storico Sicilia orientale", a. 63, 1967, fasc. I-III, pp. 5-140, sopr. pp. 40-44; e *Tra massoneria e illuminismo*, Ibidem, a. 76, 1980, pp. 431-572.

[32] Pigonati pubblicò al riguardo due opere:*La strada degli Abruzzi*...., Genova, Spiga, 1983, ripr. facs dell'ed.: Napoli, M. Morelli, 1783; *Le strade antiche e moderne del regno di Napoli sopra li metodi di escavazioni e meccaniche*, Napoli, M. Morelli, 1784.

[33] Nel 1759 Pigonati fu inviato ad Ustica assieme all'ing. militare Giuseppe Valenzuola. C. Trasselli, *Il popolamento dell'isola di Ustica nel sec. XVIII*, Caltanissetta-Roma, Sciascia, 1966. A Ustica, nel 1795 Giuseppe Valenzuola pianificò lo schema urbanistico. B. De Marco Spata, *Ustica, costruzioni civili militari e religiose nella seconda metà del Settecento*, Palermo, Leopardi stampa, 1992.

[34] L'opera su Ustica fu stampata in"Opuscoli di autori siciliani", tomo 7, Palermo, Pietro Bentivegna, 1772, pp. 251280.

[35]C. Buda, *Elogio biografico di Salvatore Zahra Buda* cit., ripreso da R. Grillo, *Giuseppe Zahra, maltese, professore nell'Università di Catania*, "Melita Historica", a. 7 (1978), fasc. 3, pp. 234-236.

[36]S. Zahra Buda, *Relazione sul molo di Catania*, Catania, Giuseppe Pappalardo, 1828. L'ingegnere afferma che il "metodo di fondar con cassoni in mare", fu conosciuto dagli antichi (come attestano Rodolet e Huet). Vanvitelli, prima del 1738, costruì con processi pressappoco simili un lazzaretto fortificato nel porto di Ancona. In tempi più recenti – prosegue Zahra Buda – i cassoni sono stati usati da progettisti stranieri, per ponti sul Tamigi o a Nizza, Tolone, Civitavecchia ecc. Gli ingegneri idraulici francesi così hanno costruito di ponti di epoca post-napoleonica a Parigi (Zahra Buda cita: Gauthey, *Construction de Ponts* , tome deuxieme). L'ingegnere catanese passa poi a fare un dettagliato elenco di tutte le macchine ed attrezzi necessari alla costruzione de molo: martinelli, ulivella, tramoggie, colombe. Ne spiega il funzionamento e le fasi necessarie alla loro costruzione. Gli ingegneri a cui fa riferimento sono Bernard Forest de Bélidor (1697-1761), Louis Alexandre de Cessart (1719-1806), Georg Wolfgang Krafft (1701-1754), Borguis. Un lungo capitolo Zahra Buda dedica alla preparazione delle calcine idrauliche e indica la giusta miscela di pozzolana, sabbia, ghiaia.

[37] Negli anni Trenta dell'Ottocento intorno alla costruzione del nuovo porto duellarono a colpi di opuscoli Michele Tedeschi, Vincenzo Paternò

Castello e molti altri. *Il porto di Catania, storia e prospettive economiche* , a cura di A. Coco e E. Iachello, Siracusa, Lombardi, 2003.

[38] Salvatore Zahra Buda cita i nomi di architetti italiani che si sono posti il problema degli interramenti dei porti e dimostra conoscenze approfondite ma forse non aggiornate. I suoi autori di riferimento sono: Vincenzo Viviani (1622-1703), Geminiano Montanari (1633-1687), Domenico Guglielmini (1655-1710), Bernardino Zendrini (1679-1747), Eustachio Manfredi (1674-1739), marchese Giovanni Poleni (1683-1761), Guido Grandi (671-1742), Benedetto Castelli (1577-1643), Paolo Frisi (1728-1784), Leonardo Ximenes (1716-1786).

[39] Tra le tante realizzazioni del De Fazio, si segnala la collaborazione all'ideazione del lazzaretto di Messina. F. Divenuto, *Pompeo Schiantarelli. Ricerca di architettura nel secondo Settecento napoletano*, Napoli, ESI, 1984.

[40]Sull'incidenza dell'antichità romana in Giuliano de Fazio, cfr. A. Buccaro, *Da "architetto vulgo ingeniero" a "scienziato artista"*, in *Scienziati artisti, formazione e ruolo degli ingegneri, ...*cit., p. 33.

[41] Scrive Zahra Buda che Giuliano de Fazio ricavò le sue idee "dalle osservazioni delle reliquie di vecchie costruzioni esistenti ne' porti di Pozzuoli, Miseno, e Nisita che il medesimo giudica essersi usate dagl'antichi per non darsi luogo a verun arrenamento". S. Zahra Buda, *Relazione sul molo di Catania*, cit. p. 78.

Mario Como

Progetto e costruzione dei grandi ponti dai primi dell'Ottocento ad oggi

Introduzione

Ai primi dell'Ottocento, all'inizio della rivoluzione industriale, il nuovo materiale innovativo, il ferro lavorato, fece la sua comparsa in Europa e negli Stati Uniti d'America.

Era la costruzione delle prime ferrovie ad influenzare, in misura notevole, lo sviluppo dell'Ingegneria dei Materiali. Nella tradizionale costruzione dei ponti erano stati prima utilizzati la pietra e il laterizio e poi anche la ghisa. Quest'ultima si rivelava molto utile se sottoposta a compressione, quando utilizzata negli archi da ponte; al contrario, risultava poco adatta a realizzare travature. La richiesta, d'altra parte, nella costruzione dei ponti, di nuovi modelli strutturali a travata, al posto di quelli costituiti da tradizionali sequenze di arcate, si presentava con sempre maggiore urgenza, per realizzare nuove opere di impegno e dimensione ben più grandi delle tradizionali. Le travate in ghisa risultavano poco affidabili: la ghisa cedeva infatti per fatica se sottoposta all'azione ripetuta di sollecitazioni di trazione prodotte dai pesanti carichi mobili. Divenne perciò necessario introdurre un materiale più affidabile e, dopo il 1840, l'uso del ferro lavorato trovò un generale consenso nella costruzione dei ponti.[10,12,14, 21].

Le prime travate in ferro erano costruite con il corrente superiore in ghisa e con il corrente inferiore ed i diagonali in ferro lavorato. L'uso di travate con impalcato realizzato da travi a sezione doppio T in piatto di ferro divenne invece sempre più comune nella costruzione di ponti ferroviari di piccola luce. Per strutture più grandi si era invece compreso che erano necessarie altre soluzioni per sostenere i pesanti carichi ferroviari.

In Inghilterra venne introdotta la travatura Warren ad aste disposte a triangoli. Contemporaneamente si cominciò a sviluppare la prima Teoria delle Strutture, basata sull'ipotesi di comportamento elastico lineare dei materiali, che ben si adattava allo studio delle strutture in ferro in condizioni di esercizio.

La prima formalizzazione della nuova Teoria delle Strutture può essere attribuita a Navier, in particolare per il suo *Résumé des lecons données à l'Ecole des ponts et Chaussées* del 1826, e per la successiva riedizione, riveduta e corretta da Saint-Venant, del 1864. Navier per primo infatti capì la differenza tra sistemi strutturali isostatici e sistemi iperstatici e formulò le prime equazioni di congruenza, in aggiunta a quelle di equilibrio, necessarie per la determinazione delle sollecitazioni interne di alcuni importanti sistemi strutturali iperstatici.

Fondamentali nella progettazione e nella costruzione delle nuove opere si

rivelarono poi gli studi di Eulero sull'instabilità delle aste elastiche compresse. Questi studi trovarono le prime applicazioni concrete e vennero anche adattati da Rankine per la verifica all'instabilità di aste compresse non più in campo elastico. Per attraversamenti di luce maggiore, da realizzarsi con un'unica campata, il sistema di ponte sospeso risultava comunque la soluzione vincente. Ponti sospesi anche di luce elevata ma con impalcato tradizionale esistevano già, ma la loro deformabilità sotto i pesanti carichi mobili li rendeva inadatti all'esercizio ferroviario. Strutture più rigide si rendevano quindi necessarie e in Inghilterra, sulla ferrovia in costruzione Londra-Chichester, vennero sperimentate travate a sezione tubolare in ferro. Robert Stephenson suggerì l'idea di costruire tali ponti con travate di adeguata sezione tubolare entro cui sarebbero passati i treni.

È nel campo della costruzione dei grandi ponti sospesi e strallati che la storia dell'Ingegneria delle Costruzioni ha scritto pagine di suggestivo interesse, lì dove la ricerca ha avuto continuo sviluppo in campi multidisciplinari, in particolare per fronteggiare l'azione del vento, la maggiore insidia per queste opere.

Nel ripercorrere brevemente, a partire dai primi dell'Ottocento, la storia di queste costruzioni, vedremo così come il problema della loro stabilità aerodinamica, anche se via via risolto, nella realizzazione di opere sempre più ardite si sia riproposto di nuovo ed abbia richiesto ogni volta approfondimenti ulteriori ed idee innovative.

L'epoca dei grandi pionieri: Telford, Brunel, Chaley, Roebling

In questa fase, che apre l'era della costruzione dei ponti con campate della luce di oltre 150 m, il progetto veniva effettuato grazie all'intuito fisico e alla percezione del progettista, senza calcoli strutturali.

I primi grandi esempi di tali opere segnarono grandi progressi nei sistemi di sospensione, prima realizzati con sequenze di barre di ferro lavorato ad occhielli terminali, e poi con funi ottenute avvolgendo trefoli, a loro volta realizzati mediante avvolgimento di fili in ferro lavorato. Tali strutture, generalmente caratterizzate da un forte ribassamento dei cavi risultavano adeguate al sostegno dei pesanti carichi ferroviari ma erano comunque troppo deformabili e quindi molto sensibili all'azione del vento. Questi primi grandi ponti ebbero generalmente vita breve: la maggioranza di essi infatti crollò durante violente tempeste di vento.

La storia della costruzione di queste opere, può farsi iniziare nel 1826, quando fu terminata la costruzione, in Inghilterra, del grande ponte sullo stretto di Menai [10,32] (Fig.1) realizzato per collegare l'isola di Anglesey con la terraferma. Il ponte aveva una campata centrale di 176 m. Tale soluzione scaturì dalla richiesta della Marina inglese che imponeva, per il transito delle navi militari nel canale, un'altezza libera sull' acqua di 30 metri ed una luce libera centrale di circa 168 metri. Il ponte, progettato dall'ingegnere inglese Telford, era costituito da due viadotti di accesso in

arcate in muratura e da un'unica campata centrale della luce di 176 m costituita da una travata reticolare in ferro sostenuta da 4+4 catene in ferro lavorato, realizzate assemblando articolazioni successive ad occhielli terminali, ciascuna della lunghezza di circa 3 m. La risonanza in Gran Bretagna della costruzione di quest'opera fu enorme. Venne fondata l'"*Institution of Civil Engineers*" e Telford ne fu il primo presidente.



Fig 1 – Il ponte sullo stretto di Menai

Il ponte, come illustra la Fig.1, era caratterizzato da pesanti e tozze torri in muratura e da un impalcato che, leggero e deformabile, era sensibile al vento. Vennero eseguiti vari lavori di rinforzo ma il ponte crollò nel 1839 in seguito ad una violenta tempesta di vento. Contemporaneo è il primo esempio di ponte sospeso in Italia, il piccolo ponte sul Garigliano, costruito, su progetto di Giura, tra il 1828 e il 1832. Esso fu mantenuto in funzione fino alla fine dell'ultima guerra e recentemente è stato ristrutturato. Numerosi altri ponti sospesi, realizzati con lo stesso sistema di catene articolate, vennero costruiti in Inghilterra: tra questi va ricordato il ponte Clifton presso Bristol, con campata centrale della lunghezza di 214 m, costruito nel 1860 su progetto di Isambard Kingdom Brunel, pioniere nei progetti di ferrovie, navi e ponti e che vinse il concorso per il progetto del ponte Clifton a cui aveva partecipato lo stesso Telford.

Sul continente europeo il più grande ponte sospeso fu per vari anni quello realizzato presso Friburgo in Svizzera sulla valle Sarina[21,32]. Il ponte, detto il "*Grand Pont Suspendu*" su progetto di Chaley, fu completato nel 1834 e fu utilizzato fino al 1923 per il traffico ordinario sulla strada tra Berna e Losanna. Esso aveva una campata centrale di 273 m. Due coppie di grandi cavi sostenevano l'impalcato ed ognuno di essi era realizzato da 20 trefoli ottenuti in opera avvolgendo tra loro 50 fili in ferro lavorato. Questa tecnica costruttiva e insieme le selle di appoggio dei cavi in ferro lavorato poste in testa alle pile, costituivano importanti innovazioni tecnologiche.

Negli Stati Uniti il primo ponte sospeso in ferro lavorato, della luce di circa 110 m, venne costruito a Fairmont. Esso venne progettato da Ellet, un ingegnere della Pensilvania che aveva studiato in Francia, all'Ecole Polytecnique. Lo stesso Ellet realizzò nel 1849 il "Wheeling Bridge", che scavalcava, con una luce di 305 m circa, il fiume Ohio all'altezza di circa 30 metri sul livello dell'acqua. Anche tale ponte venne distrutto da una tempesta di vento nel 1854.[32].

Sia in Europa che negli Stati Uniti in quei tempi nessuna indagine specifica veniva richiesta per considerare l'ef-



Fig.2 – Il ponte di Roebling sul Niagara

fetto del vento sui ponti, né c'era ancora una qualche conoscenza del problema. Fu il crollo del Wheeling Bridge che determinò negli Stati Uniti le prime riflessioni sul modo di affrontare il problema del dimensionamento al vento dei ponti di grande luce.

Sulla base di queste esperienze Roebling costruì un primo ponte sul Niagara nel 1855. Un doppio sistema di cavi e di stralli sosteneva una travata reticolare in legno a sezione chiusa, a due livelli, della luce di circa 250 m. I cavi principali in ferro lavorato erano quattro, del diametro di circa 25 cm. Stralli inclinati, che si irradiavano dalla testa dei piloni, contribuivano ad irrigidire l'alta travatura: sul livello superiore di questa era posta la linea ferroviaria e su quello inferiore la strada ordinaria (Fig.2).

Con il tempo il ponte di Roebling dovette essere rinnovato a causa del continuo logorio subito dalla sua struttura per effetto delle vibrazioni indotte dal vento e dai carichi ferroviari. Vennero prima sostituiti i fili danneggiati nei cavi. Nel 1880 la travata in legno venne sostituita da una in ferro. Nel 1897 l'intero ponte dovette essere sostituito con un altro più resistente a causa degli incrementi verificatisi nei carichi ferroviari.

Il ponte di Roebling sul Niagara rappresentò un grande passo avanti nella costruzione dei ponti sospesi in quanto dimostrò come il peso e l'uso di rigide strutture reticolari per la travata fossero ingredienti fondamentali per la loro sicurezza.

Tali esperienze vennero utilizzate da Roebling nel progetto del grande ponte di Brooklin [10,12,21] costruito nel 1883 sull'East River tra Manhattan e Long Island (Fig.3). Si tratta di un ponte misto sospeso-strallato della luce di circa 487m, con piloni in muratura; esso fu il primo ad essere realizzato con un sistema di sospensione in acciaio e con impalcato irrigidito da una travata reticolare in acciaio dell'altezza di m 5,60. I cavi portanti sostengono la pesante travata nella sua zona centrale mentre gli stralli, anch'essi in acciaio, la sostengono nelle zone laterali. Ciò è immediatamente percepibile alla vista in quanto i cavi portanti del ponte, che si

appoggiano sulle teste dei piloni, inizialmente corrono quasi rettilinei e si incurvano solo nella zona centrale della campata.

Il ponte ha struttura estremamente rigida e pesante e dimostra con chiarezza l'idea progettuale di Roebling di fronteggiare le azioni del vento e gli effetti del traffico con il peso, con l'utilizzo degli stralli oltre che dei cavi, e con una travata a rigida struttura reti-colare. Il ponte di Brooklin costituì un'opera a sè stante, di eccezionali ed originali caratteristiche statiche, ricca di insegnamenti, alcuni dei quali solo molti anni dopo sarebbero stati compresi. Lo sfortunato Roebling non potette però vedere realizzato il suo grande ponte perchè morì in un incidente avvenuto nel cantiere di costruzione del ponte.

L'uso di stralli di irrigidimento della travata portante, uscenti a ventaglio dalla testa delle pile, non era però un'idea nuova. Numerosi ponti, di più piccole dimensioni, erano stati infatti costruiti precedentemente in Inghilterra, con il cosiddetto sistema dell'*inverted bracket*", come il ponte Twerton costruito nel 1838 sull'Avon, nei pressi di Bath. Non si riusciva ancora comunque, a conoscere l'effettiva capacità di sostegno esplicata dagli stralli per la difficoltà di valutare la rigidezza di questi, fortemente condizionata da effetti geometrici non lineari dovuti alla configurazione curva del cavo per effetto del suo peso. Solo molto più tardi, come si vedrà più avanti, tale problema venne risolto.



Fig. 3 – Il ponte di Brooklin

A differenza del ponte sulla Sarina molti ponti in ferro a catene o a funi crollarono in Europa pochi anni dopo la loro costruzione, così come l'Union Bridge sul Tweed a Berwick, il Brighton Chain Pier, il Monstrose Bridge in Scozia, il ponte di Nassau in Germania sul Lahn e il ponte di Roche Bernard in Francia, sempre per azione del vento. Grandi ponti sospesi non vennero perciò più realizzati in Europa per diverso tempo nella seconda metà dell'Ottocento, a causa delle perplessità insorte nei costruttori europei per la lunga serie di crolli avvenuti. Per la costruzione di ponti di grande luce vennero così sviluppate nuove soluzioni strutturali, ed in particolare quella del ponte a struttura reticolare. Anche per questa tipologia di ponte le azioni del vento risultavano comunque sempre molto insidiose ed il Tay Bridge, costituito da 84 campate a struttura reticolare, nel 1879 crollò rovinosamente durante il passaggio di un treno nel corso di una tempesta di vento[21,32].

Dopo quest'ultimo disastro, in cui perirono molte persone, fu realizzato da Baker tra gli anni 1883 e 1889, il Forth Bridge (Fig.4) che con le sua enorme



Fig. 4 – Il ponte sul Forth

struttura reticolare, indubbiamente rifletteva il timore del progettista nei riguardi delle azioni del vento, così intense nel fiordo del Firth e del Forth in Scozia [32].

Il periodo della razionalizzazione dell'analisi statica

Il secondo periodo della storia della costruzione dei grandi ponti è caratterizzato dall'applicazione del calcolo strutturale, all'inizio con analisi molto approssimate, la cosiddetta *teoria di Rankine* [1], e poi in modo più preciso con lo sviluppo della *teoria elastica* dei ponti sospesi, formulata da Melan [3].

Il primo ponte che costituì la prima vera applicazione del calcolo strutturale del tempo è quello realizzato sull'East River a New York, il ponte Williamsburgh costruito nel 1903 con una campata centrale di 488m (Fig,6). Esso, costituito da una struttura sovradimensionata che certamente denunzia la preoccupazione del progettista nei riguardi dell'azione del vento, riflette anche le forti approssimazioni dei primi modelli di calcolo strutturale.

Il mondo scientifico era attirato dal problema dell'analisi del comportamento statico dei ponti sospesi o strallati di grande luce. Navier pubblico' il primo libro sul tema, " *Memoires sur les ponts suspendus*," nel 1823, nella forma di una relazione sulla visita tecnica da lui appena effettuata in Inghilterra, proprio per studiare i ponti sospesi inglesi. C'era molto interesse in Francia sull'argomento a quel tempo: si doveva costruire infatti un ponte sospeso sul Reno nei pressi di Tournon e anche Sequin pubblico' nel 1824 un libro dal titolo " *Des Ponts en Fil de Fer*". La prima teoria sulla Statica dei ponti sospesi risale pero' al 1858 e fu formulata da Rankine [1]. I punti base della teoria di Rankine erano i seguenti

•1- tutti i carichi permanenti q_g sono sostenuti dal solo cavo di forma parabolica.
•2- Qualunque carico accidentale, comunque variabile e comunque disposto sulla trave, determina, da parte dei cavi, un'azione di sostegno q uniformemente distribuita sulla intera luce della trave.
•3- Il carico uniforme q di sostegno dei cavi viene valutato dividendo la totalità dei carichi accidentali agenti sulla trave per la luce della trave stessa.

Con le ipotesi di Rankine, se, ad esempio, il carico accidentale è costituito da una singola forza P agente in una qualsiasi sezione della trave, risulta $q = P/L$. Nel caso di una forza concentrata P agenteal centro, così come rappresentato nella Fig.5, il momento flettente in mezzeria della trave irrigidente varrebbe $M = PL/8$. Il tiro addizionale h nel cavo portante, calcolato, come $h = qL^2/$

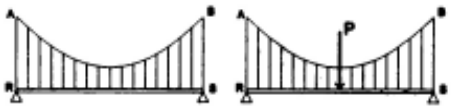


Fig. 5 – L'empirico modello di Rankine

8f, risulterebbe quindi $h = PL/8f$. Si osserva che, nel caso di travata soggetta a carichi accidentali qualsiasi, purchè simmetricamente disposti, le reazioni agli appoggi risulterebbero quindi nulle, essendo il carico accidentale sostenuto tutto dai cavi. Solo se il carico accidentale non agisse simmetricamente sulla trave, le reazioni agli appoggi non sarebbero più nulle ma uguali ed opposte, in quanto trarrebbero origine dalla necessità di equilibrare alla rotazione la travata.

Si comprende quindi che Rankine aveva intuito come l'azione di sostegno esplicata dai cavi sia nettamente differente a seconda che i carichi accidentali siano simmetrici o emisimmetrici. Solo in presenza di carichi emisimmetrici deve infatti, intervenire la trave. Possiamo riconoscere però anche gli errori e le approssimazioni contenute nelle ipotesi 2 e 3. Queste potrebbero essere infatti giustificate solo in presenza di trave infinitamente rigida su appoggi molto deformabili e simmetricamente sollecitata. In tal caso tutto il carico accidentale si trasferisce infatti sui cavi.



Fig. 6 - Il Williamsburgh bridge

Con i successivi sviluppi della teoria della elasticità venne proposta una modifica al modello di Rankine. I teoremi di Castigliano sugli archi elastici[2] indussero infatti vari studiosi del tempo ad utilizzare i suddetti teoremi nello studio della statica dei ponti sospesi. Si tentò di mettere in correlazione la deformazione flessionale della trave irrigidente, sollecitata dai carichi accidentali, con la deformazione del cavo, assumendo però ancora una interazione q uniformemente distribuita tra cavo e travata. In effetti il problema nel suo aspetto centrale non veniva ancora risolto.

Il carico addizionale applicato inflette la trave e determina l'insorgere del carico di sostegno q. La conseguente variazione dei carichi complessivi agenti sul cavo comporta il cambiamento della sua configurazione per il fatto che quest'ultima è funicolare dei carichi. La deformata addizionale del cavo deve d'altra parte eguagliare la deformata della trave, se si trascura la piccola deformazione degli elementi verticali di sospensione. L'interazione incognita q tra cavo e trave diventa quindi una funzione $q(z)$ variabile lungo l'asse z della trave, da individuare mediante la scrittura di opportune equazioni di congruenza della deformazione punto per punto tra cavo e travata.

Il problema della formulazione delle equazioni di equilibrio e di congruenza tra cavo e trave dei ponti sospesi venne risolto in modo magistrale da Melan in

un suo fondamentale studio del 1888, pubblicato nella 2ª edizione dell' *Hanbuch der Ingenieurwissenshaften* di Lipsia [3]. Melan pervenne così all'equazione *integrodifferenziale non lineare* dei ponti sospesi, nella quale l'incremento di tiro *h* nel cavo è espresso mediante un integrale degli sposta-menti verticali dell'asse della travata. Tale studio non fu però di dominio tecnico se non molti anni dopo la sua pubblicazione. Successivamente Moissefs generalizzò tale teoria al caso di carichi accidentali eccentrici sul ponte[5].

Il peso q_g della travata è assorbito interamente dalle funi perchè nella costruzione del ponte, la trave, realizzata a conci, è via via sospesa ai cavi. La risposta incognita del ponte è rappresentata dalla sua deformata addizionale conseguente all'applicazione del generico carico addizionale *p* sulla travata. Per i ponti di grande luce d'altra parte è frequente il caso in cui i carichi accidentali *p* siano nel complesso *piccoli* rispetto all'intero peso del ponte. Il tiro addizionale *h* in tal caso risulta piccolo rispetto al tiro iniziale *H*, derivante dal peso proprio del ponte in cui è compreso il peso dei cavi degli elementi verticali di sospensione. Le equazioni di Melan vennero allora linearizzate e si pervenne all' equazione *integrodifferenziale* della statica dei ponti sospesi di grande luce[4,5,15,24] nella incognita funzione v(z), lo spostamento verticale addizionale della travata, dove EI è la rigidezza flessionale della travata, L la luce della campata, pg il peso per metro lineare della travata, comprensivo del peso dei cavi e dei pendini di sostegno, H il tiro iniziale dei cavi dovuto al peso proprio del ponte, EA la rigidezza estensionale dei cavi, p il carico addizionale applicato sulla travata.

$$EIv^{IV} - Hv^{II} + (\frac{p_g}{H})^2 \frac{EA}{L} \int_0^L v(z)dz = p$$

Si coglie immediatamente perchè per il ponte l'equazione debba essere del tipo integrodifferenziale: il tiro addizionale h del cavo è funzione dell'intera deformata della travata.

$$h = \frac{EA}{HL} p_g \int_0^L v(z)dz$$

La diretta applicazione dei nuovi risultati acquisiti con la teoria di Melan nell'ambito della statica del ponte sospeso è l' elegante ed ardito ponte G. Washington[32]. Esso venne costruito nel 1931 su progetto di Ammann sull'Hudson. La luce della campata centrale è di 1066m. L'originale struttura di tale ponte potè conservarsi fino al 1960, anno in cui essa venne irrigidita con la costruzione della travata reticolare inferiore.

Grandi ponti sospesi furono costruiti in quegli anni negli Stati Uniti, nell'area di S.Francisco, tutti progettati nel contesto della teoria di Melan: i due ponti, posti uno di seguito all'altro, costruiti ad Oakland nel 1930 ed il Golden Gate nel 1933[4,5,15]. I primi, a più campate con la luce massima di 704 m, presentano una rigida trave reticolare, a sezione chiusa, a due livelli, per realizzare i due diversi impalcati: quello inferiore per la ferrovia, quello superiore per il traffico ordinario. Il Golden Gate, con campata

centrale della luce di 1280m, cioè più lunga di circa il 20% della campata del ponte G.Washington, già nel suo progetto iniziale presentava un solo piano di traffico. La travata reticolare del Golden Gate era quindi a C rovesciato e pertanto a debole rigidezza torsionale. Per il Golden Gate il rapporto tra l'altezza della travata e la luce massima, la cosiddetta snellezza del ponte, era molto basso in quanto pari a 1/168; l'analoga snellezza laterale, rapporto tra l'altezza e la larghezza della travata, era anch'essa bassa e pari a 1/47.

Una struttura più snella ancora, anzi estrememente snella, fu quella del Tacoma Narrows bridge, della luce di 853m, costruito nel 1940 sulla costa occidentale degli Stati Uniti da Moisseffs[32]. La snellezza longitudinale di questo ponte, ad una sola via di traffico e con impalcato in acciaio a travi metalliche longitudinali, era pari infatti ad a 1/350 e quella laterale risultava 1/72.

La concezione strutturale del Golden Gate, ed ancor più quella del Tacoma, si basava sull'ipotesi che il sostegno dei carichi dovesse essere affidato ai cavi e che la travata, flessibile, avrebbe dovuto solo regolarizzare le deformazioni dell'impalcato. Non venivano poste limitazioni alla deformabilità del ponte.

Il ponte di Tacoma, molto deformabile, risultava molto sensibile all'azione del vento e dopo solo cinque mesi di servizio, durante una tempesta di vento di intensità non eccessiva -la velocità media del vento era all'incirca di 50 km all'ora- improvvisamente cominciò ad oscillare torsionalmente in modo anti-simmetrico con ampiezze sempre più elevate e dopo qualche ora crollò vistosamente per flutter [6], come evidenzia la Fig.7.

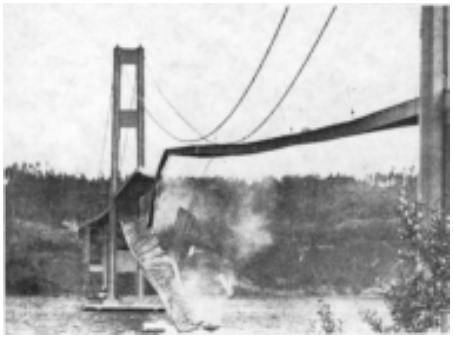


Fig. 7 – Il crollo del ponte di Tacoma

Lo sviluppo degli studi aeroelastici

Grande impulso ebbero gli studi sulla aerodinamica dei ponti dopo tale disastro [8,9,26]. Gli studi aeroelastici compiuti in Aeronautica sulla dinamica dell'ala vennero opportunamente trasferiti alla dinamica dei ponti sospesi. Inizia così un nuovo approccio alla progettazione dei grandi ponti nella quale la ricerca teorica e le prove in galleria del vento operano in piena simbiosi. Le ricerche sperimentali sull'argomento svolte in particolare da Farquharson [14] e gli studi teorici di F.Bleich [16], diedero inizio ad un lungo filone di ricerche sulla aeroelastica dei grandi ponti, ricerche che sono tutt'ora in corso.

Sulla base di tali studi, dopo il disastro del ponte di Tacoma, numerosi importanti rinforzi strutturali vennero apportati ai vari ponti esistenti che presentavano sotto vento non trascurabili oscillazioni. Tutti i nuovi ponti sospesi, che vennero costruiti poco dopo il disastro del Tacoma vennero realizzati ancora a

struttura reticolare, ma a travata molto più rigida Tra i grandi ponti realizzati in questo periodo c'è lo splendido ponte di Verrazzano (1964) posto all'ingresso della baia di New York[32]. Esso ha una campata centrale di 1298m, una snellezza pari a 1/180 e struttura simile a quella del ponte G.Washington. La travata reticolare del Verrazzano, a sezione chiusa, ha grande rigidezza a torsione (Fig.8). Tra questi nuovi ponti c'è anche quello sul Tago, a struttura molto simile a quella del Verrazzano, realizzato vicino Lisbona nel 1966 da Steinmann [32]. Esso ha una luce centrale di 1014 m e due livelli di traffico di cui quello inferiore destinato a due linee ferroviarie, attivate solo dopo il 1990, con l'aggiunta di altri due cavi portanti.

I ponti del Verrazzano e quello del Tago, nella loro eleganza e solidità, anche se più moderni, possono definirsi *classici*, in quanto si riportano ai modelli precedenti per la presenza della travata a struttura reticolare.

I grandi ponti di questi ultimi anni

Un parametro fondamentale, in grado di influenzare la maggiore o minore sensibilità del ponte all'azione del vento è la rigidezza torsionale della travata. Nei ponti più recenti sono state realizzate travate a sezione ancora più rigida a torsione, in molti casi a sezione scatolare chiusa a cassone, ovvero a grande sezione reticolare. Nello stesso tempo, più approfonditi studi statici, resi possibili con il grande sviluppo di programmi di calcolo agli elementi finiti, e più approfonditi studi aeroelastici in gallerie del vento tecnicamente molto sofisticate, hanno consentito una più precisa e innovativa analisi progettuale.



Fig. 8 – Il ponte di Verrazzano

Una nuova concezione progettuale presentava infatti il ponte sul Severn, costruito in Inghilterra nel 1966, con una luce centrale di 988m. La travata, invece che a struttura reticolare come nei ponti precedenti, è chiusa a cassone (Fig.9), con sagoma molto rastre-mata e sottile, di tipo alare[11].

L'altezza della travata, di soli 3,00 m, è caratterizzata da una snellezza geometrica longitudinale pari ad 1/324, vicina a quella del primo ponte di Tacoma. La sezione a cassone, realizzata con il sistema di saldatura automatica, presentava però, a differenza del Tacoma, una ben più elevata rigidezza torsionale ed inoltre caratteristiche aerodinamiche tali da ridurre drasticamente le azioni trasversali di resistenza al vento. Sulla scia di tale nuova concezione aeroelastica

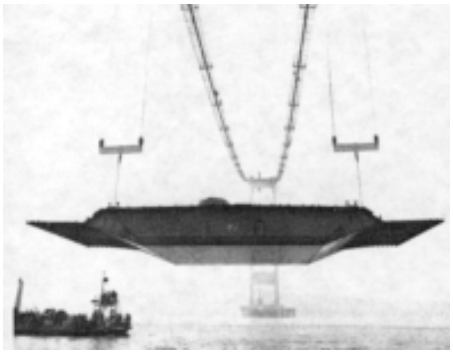


Fig. 9 – La sezione del ponte sul Severn

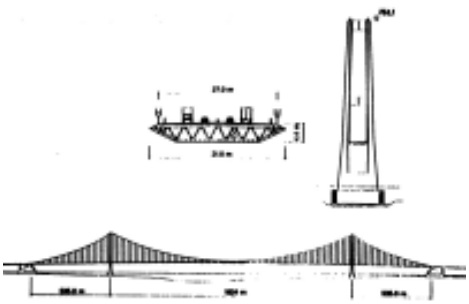


Fig. 10 – Il ponte East Bridge [27,29]

vennero così di seguito progettati e realizzati quattro grandi nuovi ponti, quello del Little Belt in Danimarca[17] del 1970, il secondo ponte sul Bosforo del 1973, il ponte sull'Humber del 1981, in Inghilterra[32], e quello analogo, realizzato nel 1990 in Cina sullo Jogyin, della luce di 1385m.

Il ponte sull'Humber, con la sua luce centrale di 1410m, fu per alcuni anni il ponte più lungo del mondo. Esso venne poi superato dal ponte East Bridge sul Gran Belt costruito tra il 1992 e 1997 tra due isole della Danimarca[30] (Fig.13): questo presenta una luce della campata centrale di 1624m, ed ha travata a sezione chiusa in acciaio, a sagoma ancora più rastremata e sottile di quella del ponte sull'Humber. Il ponte sul Gran Belt, l'East Bridge"[27,29] fu progettato sulla base di importanti studi aero-elastici effettuati nella galleria del vento in Danimarca sulla scorta degli ulteriori progressi sulla aeroelastica dei ponti di grande luce ottenuti dagli studi di Scanlan [18].Sulla base di questi nuovi studi vennero così individuate delle nuove tecniche sperimentali da utilizzare nella galleria del vento per valutare le azioni non stazionarie, di portanza e di momento esercitate dalla corrente agente trasversalmente sulla sezione della travata oscillante, come illustra schematica-mente la Fig.11 che segue.

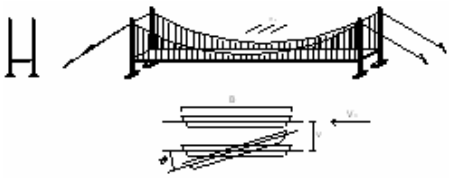


Fig. 11 – Il ponte sospeso investito dal vento trasversalmente alla travata

Tali azioni possono esprimersi come [8]

$$L_{ns} = 1/2\,\rho_a V_v^2 (2B)(KH_1^* \frac{\dot{v}}{V_v} + KH_2^* \frac{B\dot{\theta}}{V_v} + K^2 H_3^* \theta)$$

$$M_{ns} = 1/2\,\rho_a V_v^2 (2B^2)(KA_1^* \frac{\dot{v}}{V_v} + KA_2^* \frac{B\dot{\theta}}{V_v} + K^2 A_3^* \theta)$$

dove i coefficienti $A_1^*, A_2^*, A_3^*, H_1^*, H_2^*, H_3^*$ determinati alla galleria del vento, sono funzioni della frequenza K ovvero della velocità ridotta V_R

$$K = \frac{B\omega}{V_v} \quad V_R = \frac{2\pi}{K} = \frac{V_v}{NB}$$

dove B è larghezza della sezione della travata, la pulsazione della oscillazione della sezione, N la frequenza e Vv la velocita' della corrente. Le funzioni

$$K^2 H_3^* \text{ and } K^2 A_3^*$$

rappresentano le rigidezze aerodinamiche mentre le funzioni

$$KH_1^*,\ KH_2^*,\ KA_1^*,\ KA_2^*$$

sono gli smorzamenti aerodinamici.

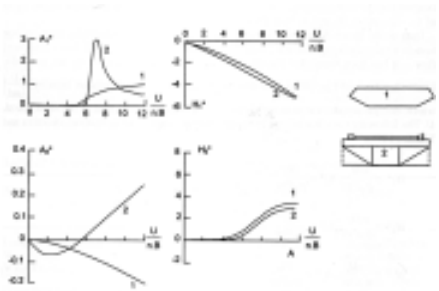


Fig. 12 – Tipici coefficienti di Scanlan

Di regola il coefficiente H^*_1 dello smorzamento aerodinamico è negativo e decrescente con V_R; il coefficiente A^*_2 dello smorzamento aerodinamico torsionale è negativo ma, in alcuni casi,



Fig. 13 – Oscillazioni stazionarie e di flutter

può cambiare segno al variare della velocità ridotta V_R; il coefficiente A^*_3 della la rigidezza torsionale aerodinamica è normalmente positivo e crescente con V_R, come illustra la Fig.12 riportata da uno studio di Scanlan[18].

Durante le oscillazioni della travata nel vento si producono forze aerodinamiche funzioni della deformata e del periodo di oscillazione del ponte che, in alcuni casi, possono determinare la condizione di *flutter* e quindi l'insorgere delle cosiddette oscillazioni autoeccitate [23,27,33] ad ogni ciclo delle quali il ponte assorbe energia dal vento. Nella Fig.13, sono rappresentati due diversi cicli di oscillazioni combinate verticali e torsionali in presenza di vento trasversale proveniente da destra e diretto verso sinistra. Per il primo di tali cicli, per il quale le componenti di oscillazione verticale e torsionale sono sfasate di 180°, il lavoro totale compiuto dalla corrente è zero. Si riconosce immediatamente, infatti, che in questo ciclo di oscillazioni c'è una fase in cui, mentre la sezione della travata scende le forze di portanza sono dirette verso l'alto ed una fase dell'oscillazione in cui lo spostamento della sezione e le forze di portanza hanno lo stesso verso. Complessivamente, sull'intero ciclo il lavoro compiuto dalle forze agenti sulla sezione è zero. Nell'altro ciclo, in cui le oscillazioni verticali e torsionali sono sfasate di 45°, il lavoro compiuto nell'intero ciclo è invece positivo. Nel primo caso, per la presenza delle azioni dissipative, si hanno allora oscillazioni smorzate, nel secondo si genera il flutter [32]. Più grandi sono la larghezza *B* della sezione, la massa e l'inerzia assiale di massa e la rigidezza torsionale della travata, più elevata è la

velocità di flutter così come questa è più elevata quanto più piccoli sono il coefficiente a_3 di rigidezza torsionale aerodinamica stazionaria e il rapporto h_1/a_2 tra gli analoghi coefficienti di smorzamento aerodinamico stazionario verticale e torsionale [35]. Decisivo però è il rapporto Φ tra le frequenze fondamentali torsionale e verticale del ponte in aria ferma: se tale rapporto tende all'unità, la velocità di flutter tende a zero[35]. Ciò spiega come i più recenti ponti, che hanno velocità di flutter pari ad almeno 70 m/sec, abbiano valori del rapporto Φ molto elevati, sempre superiori a 2.

La progettazione in atto di nuovi ponti, talvolta di luce estrema, dovrebbe cercare di ottenere quindi valori quanto più elevati possibile del rapporto che tende però fatalmente a ridursi al crescere della luce del ponte, ed inoltre prevedere, come effettivamente viene fatto, la realizzazione di travate a piccoli valori dei suddetti coefficienti a_3 e h_1/a_2 attraverso la realizzazionedi travate quanto più possibile traforate a mezzo di *slots*. Le tecniche di analisi delle caratteristiche aerodinamiche della sezione oscillante nella corrente hanno avuto in questi ultimi trenta anni, una grande diffusione nei vari centri di ricerca sulla aerodinamica dei ponti, in particolare in Giappone, dove sono stati recentemente costruiti grandi ponti, in conseguenza del grande sviluppo economico lì verificatosi. Il grande ponte di Akashi Kaikyo [28,30], completato nel 1998, realizza oggi il record della massima luce: 1a campata centrale è lunga infatti 1990m e ciascuna delle laterali ben 990m. Una enorme travata reticolare a sezione chiusa, della larghezza di 35,50m e dell'altezza di 14,00m, riporta in parte la filosofia costruttiva di questo nuovo grande ponte giapponese a quella dei ponti classici tipo G.Washington e Verrazzano (Fig.14). Inizialmente il progetto delponte prevedeva una travata reticolare a due livelli sovrapposti di cui uno utilizzato per il traffico veicolare e l'altro per quello ferroviario. In seguito, il ponte venne adibito solo al traffico veicolare su sei carreggiate. La sezione della travata è dotata di accorgimenti aerodinamici costituiti dall'inserimento di una lunga piastra sottile verticale di acciaio al centro, sotto l'impalcato superiore che, dalle prove su modello in galleria, è risultata molto efficace ad incrementare la resistenza al flutter del ponte.

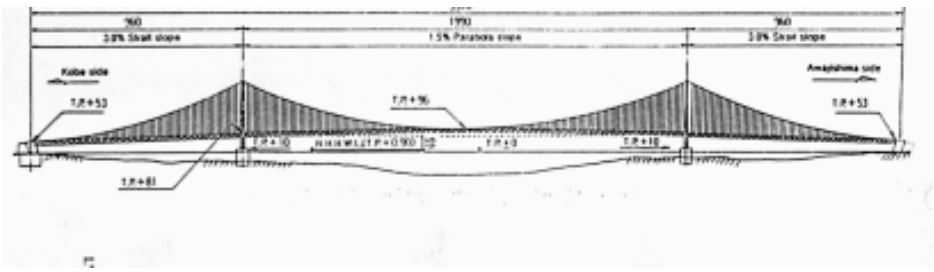


Fig. 14 - L' Akashi Kaikyo

Accanto allo sviluppo dei grandi ponti sospesi, parallelamente e più tardi si sono sviluppati i ponti strallati. Dopo i primi tentativi effettuati prevalentemente in Inghilterra nell'800 e prima richiamati, questi ponti cominciarono ad essere realizzati sistematicamente solo dopo la seconda guerra, particolarmente in Germania[32]. Elemento base di tale tipologia di ponte è lo strallo che, partendo dalla testa dei piloni, si aggancia alla travata[19,20,22]. La lunghezza di tali stralli è di diverse centinaia di metri ed il cavo si incurva sensibilmente per effetto del proprio peso, come rappresentato in Fig. 15.

La rigidezza estensionale del cavo, da cui dipende l'efficienza della sua azione di sostegno, è influenzata dalla sua configurazione curva. Dischinger [7] nel 1949 valutò con un'analisi rigorosa la *rigidezza tangente* del cavo ad un suo incremento *DL* di allungamento. Tale rigidezza è pari a $E^*_t A$, se A è l'area della sezione del cavo, considerando gli

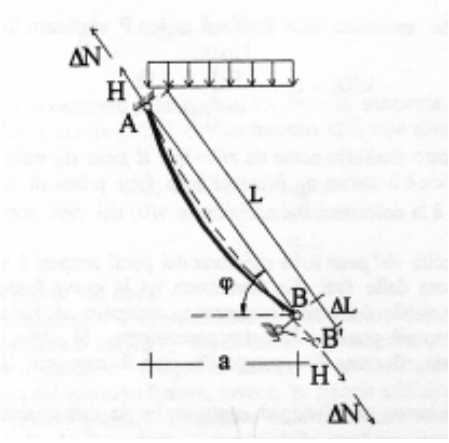


Fig. 15 – Risposta tangente dello strallo ad una deformata addizionale

effetti geometrici non lineari attraverso un opportuno modulo di elasticità E^*_t. Questo, per tali effetti, si riduce rispetto a quello effettivo E del materiale di cui gli stralli sono costituiti. Il modulo di Dischinger è il seguente

$$E_t^* = \frac{E}{1+\frac{\gamma^2 a^2 E}{12\sigma^3}}$$

se γ è il peso specifico del materiale, a la proiezione orizzontale dello strallo e la tensione in esso agente. Solo in seguito a tale precisa valutazione della rigidezza dello strallo fu possibile eseguire una progettazione razionale dei ponti strallati.

I veri primi ponti strallati a cortina furono il ponte Fridrich Herbert sul Reno a Bonn realizzato nel 1967, e il quasi contemporaneo ponte sul Reno a Rees [20,22,31]. Il tipo più comune di ponte strallato è un ponte a tre campate con una grande campata centrale affiancata da due campate laterali, di luce molto più piccola. Talvolta sono presenti schemi asimmetrici.

I ponti strallati, a differenza dei ponti sospesi, sono generalmente autoancorati: la componente orizzontale del tiro nel cavo di ormeggio è trasferita così alla travata mentre la componente verticale è assorbita dal pilone di ancoraggio. In direzione trasversale si utilizzano diverse disposizioni degli stralli. Per i ponti strallati di grande luce sono però generalmente presenti due cortine di stralli disposte a ventaglio ai bordi della travata. Nei moderni ponti strallati in acciaio il numero degli stralli è molto

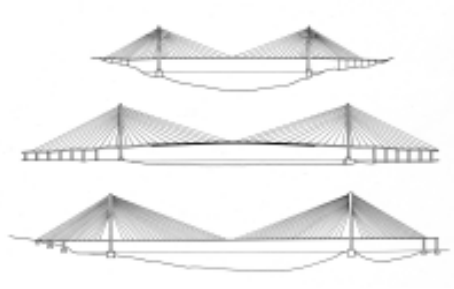


Fig. 16 – Schemi di ponti strallati

elevato ed ognuno di essi è costituito generalmente da un solo trefolo. Ciò comporta una facile installazione o sostituzione e determina un sostegno continuo per la travata irrigidente[31].

I ponti strallati sono molto più rigidi dei ponti sospesi e presentano una maggiore semplicità costruttiva, ma non raggiungono la lunghezza dei ponti sospesi. Numerosissimi furono i ponti strallati realizzati in Germania su progetto di Leonhard e in Francia da Muller. Si ricordano così il ponte Dusseldorf-Flehe sul Reno, realizzato con un'unica campata di 367 con un solo pilone di sostegno ed il ponte di Brotonne sulla Senna[31]. Vennero poi realizzati numerosi altri grandi ponti strallati come, ad esempio, quello, costruito nel 1993, che scavalca con una campata centrale di 602m il fiordo di Skarnsundet in Norvegia[31], il ponte di Normandie , terminato nel 1995, che scavalca la Senna con una campata di 856m di luce[16] ed, in Giappone, il ponte Tatara, completato nel 1998, della luce di 890m, il ponte strallato con la campata piu' lunga nel mondo[31]. Tali ponti, per ridurre la resistenza trasversale al vento della travata, utilizzano sezioni rastremate sottili in acciaio con sagome definite in base ad accurati studi in galleria del vento. In Fig.16 sono riportati a confronto gli schemi di questi tre ponti. Il primo è quello di Skarnsundet, il secondo, il Normandie e il terzo il Tatara.

I ponti strallati ebbero grande sviluppo con l'avvento dei computers nel calcolo strutturale. In analogia però al modello continuo di ponte sospeso, di cui alla teoria di Melan, anche per il ponte strallato è stato concepito un modello continuo del ponte mediante l'istituzione di una idonea equazione integro-differenziale [25]. Questa consente di acquisire informazioni di sintesi sul comportamento statico del ponte strallato di grande luce, assimilabile a quello di una grande travatura reticolare. La flessione della travata, molto più che nei ponti sospesi, ha carattere prevalentemente locale.

Per opere ancora piu' ambiziose ed ardite di quelle finora realizzate la ricerca teorica, da un lato, e la sperimentazione dall'altro, dovranno necessariamente continuare.

[1] W.J.M. RANKINE, *A Manual of Applied Mechanics*, 1st ed., 1858
[2] A. CASTIGLIANO, *Theorème de l' Equilibre des Systèmes Elastiques et ses applications*, Paris 1879
[3] J. MELAN, *Theorie der eisernen Bogenbrucker und der Hangebrucken, Handbuch der Ingenieurwissenshaften* , Leipzig 2nd ed. 1888, 3rd ed.1906
[4] D.B. STEINMAN, *A Practical Treatise in Suspension Brdges*, 2nd ed., John Wiley, 1929
[5] L.S. MOISSEIF, F. LIENHARD, *Suspension bridges under the action of lateral forces*, Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs. 1932
[6] *The Failure of the Tacoma narrows Bridge*, Report of Board of Engineers, 1941
[7] F. DISCHINGER, *Hangebrucken fur Schwerster Verkehrslasten*, Der Bauing., Heft 3, 1949
[8] F.B. FARQUARSON, *Aerodynamic Stability of Suspension Bridges*, Univ.of Washington Press U.S.A., 1949
[9] F. BLEICH, *The mathematical theory of vibrations in Suspension Bridges,* US. Dept. of Commerce, Washington 1950.
[10] H. STRAUB, *A History of Civil Engineering* , Leonard Hill 1952.
[11] R.A. FRAZER, C.SCRUTON, *A summarized Account of the Severn Bridge Aerodynamic Investigation*, H.M.S.O., 1952.
[12] S. TIMOSHENKO, *History of Strength of Materials*, Mc. Graw Hill 1953, Dover Publ., 1983.
[13] A.J.S. PIPPARD, J.F. BAKER, *The Analysis of Engineering Structures*, Ed. Arnold, 3rd ed.,1957.
[14] D.B. STEINMAN, S.R.WATSON, *Bridges and their Builders*, Dover, New York 1957.
[15] A. PUGSLEY, *The theory of Suspension bridges* , Edward Arnold ltd., London 1968.
[16] M. VIRLEGEAUX, *Le Projet du Pont de Normandie*, Ann. de Ponts et Chaussées, 50, 1969.
[17] M. JENSEN, *Motorway bridge across Lillebaelt*, publ. XII Chr. Ostenfeld and W. Jonsson, Copenhagen, 1970.
[18] R.H. SCANLAN, *Airfoil and bridge deck flutter derivatives*, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 97 1971.
[19] F. LEONHARDT, W. ZELLNER, *Vergleichezwischen Hangebrucken und Schragbelbrucken fur Spannweiten uber 600m*, IVBH Abhandlungen, Band 32, Zurich 1972.
[20] W. PODOLNY, J.B. SCALZI, *Construction and Design of Cable-stayed Bridges*, John Wiley, New York 1976.
[21] M. HAYDEN, *The book of Bridges*, Galahad Books, New York City, 1976.
[22] M.S. TROITSKY, *Cable-stayed Bridges*, *Theory and design* , Crosby, Lockwood Staples, 1977.
[23] P. SACHS, *Wind forces in engineering*, Pergamon Press, Oxford, New York, 1978.
[24] H.M. IRVINE, *Cable Structures*, MIT Press, 1981.
[25] M. COMO, A. GRIMALDI, F. MACERI, *Statical behaviour of long span cable stayed Bridges*, Intern. Journal of Solids and Structures, aug. 1985.
[26] G. SOLARI, *L'evoluzione storica e scientifica dell'Ingegneria del Vento*, Conv. Naz.le di Ingegneria del Vento IN-VENTO-90, ANIV, Pitagora Ed., 1990.
[27] *Aerodynamics of Large Bridges*, edited by A.Larsen, DMI, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1992.
[28] S. SAEKI ET AL., *Technological aspects of the Akashi Kayko Bridge*, Proc. Of ASCE Congress XIII, Boston, 1995
[29] A. LARSEN, Arne Jacobsen, *Aerodynamics design of the Great Belt East Bridge*, Aerodynamics o large bridges, Balkema, Rotterdam, 1992.
[30] T. MIYATA, K. YAMAGUCHI, *Aerodynamics of wind effects on the Akashi Kaikyo Bridge*, Journal of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics, 48, 1993
[31] N.J. GIMSING, *Cable supported Bridges*, 2nd ed., John Wiley New York, 1997
[32] C. DYRBYE, S.O. HANSEN, *Wind Loads on Structures*, J.Wiley, 2nd ed. 1999
[33] D. BONNET, *Les Ponts, histoire et techniques*, Eyrolles, 2000
[34] M. COMO, *Stabilità aerodinamica dei ponti di grande luce* in *Introduzione all'Ingegneria Strutturale*, a cura di E. Giangreco. Torino, UTET, 2002.
[35] M. COMO, A. GRIMALDI, S. DEL FERRARO, *A parametric analysis of the flutter instability for long span suspension bridges*, Int. J. of Wind and Struct., 1, 2005

Giuseppe Foscari

Un contributo al dibattito sulle opere pubbliche nella prima metà dell'Ottocento: l'ingegnere Antonio Maiuri

Gli ingegneri meridionali, tra la fine del Settecento e i primi decenni dell'Ottocento, assistettero con una certa incredulità mista a soddisfazione ad una serie di importanti riforme, al termine delle quali, quello che era stato il loro mestiere di nicchia, storicamente tramandato di padre in figlio, basato sulla cooptazione come pressoché unica forma di reclutamento, fortemente bistrattato per la scarsa attenzione che riscuoteva negli ambienti governativi e, soprattutto, condizionato dall'umore e dall'arroganza dei feudatari-possidenti fondiari, si era oramai trasformato in una vera e propria professione[1]. In sintesi, "da figura inascoltata, cooptata e ricattata, a specialista incardinato nei ranghi dello Stato"[2].

Questo mutamento deve essere considerato davvero epocale, perché ha segnato l'inizio di una stagione del tutto nuova per questa figura professionale, ma anche per la gestione di importanti settori per il paese, quali le opere pubbliche, il sistema forestale, il regime delle acque, le bonifiche.

Esso può essere sintetizzato in alcuni punti nodali: a partire da quelle riforme, la formazione del tecnico sarebbe avvenuta in una scuola pubblica (la ben nota Scuola di Applicazione); sarebbe proseguita il più delle volte con un solido rapporto di impiego in una istituzione centralizzata (il Corpo di Ponti e Strade, in età napoleonica, la Direzione Generale di Ponti e Strade, Acque, Foreste e Caccia, nella successiva età borbonica) ma con fondamentali diramazioni provinciali, le modalità di reclutamento e di carriera sarebbero state stabilite sulla base del merito e delle qualità professionali evidenziate da ciascun aspirante tecnico.

Uno scenario del tutto nuovo si apriva ai loro occhi.

Nella nuova qualità di dipendente pubblico, selezionato in base a procedure concorsuali, l'ingegnere veniva chiamato a regolamentare gangli vitali che esigevano una specificità professionale ed una notevole competenza. Le doti che gli si richiedevano erano sacrificio e abnegazione, ma, sotto la spinta di intellettuali di solida formazione e cultura, fu richiesta loro la capacità di definire progetti mirati basati su un'idea di coordinamento degli interventi più che su occasionali progettazioni infrastrutturali o relative a singoli settori. Tema, questo, di assoluto interesse per la modernità delle aperture concettuali che esso conteneva o che lasciava presagire, anche se presupponeva una logica culturale ancora poco diffusa e che incontrava ostacoli di varia natura, politici, burocratici e tecnici.

Nel contesto europeo, invero, si re-

gistravano analoghe fibrillazioni sul piano tecnico e in tutti i maggiori Stati si cercava di rendere efficienti le istituzioni scientifiche[3], badando ad un loro forte radicamento su tutto il territorio nazionale, anche nell'ottica di assicurare agli ingegneri la dovuta rilevanza e responsabilità nel varare gli interventi pubblici.

Napoli appariva in sintonia con il processo europeo e portava in dote, per così dire, tutta una sua peculiare tradizione. Quella che si è andata affermando in pochi decenni come una innovativa scuola tecnica, infatti, aveva finito per coagulare le notevoli intuizioni degli illuministi della seconda metà del Settecento, - molti dei quali ancora vivi ed operativi nei primi decenni del nuovo secolo -, la vocazione tecnico-scientifica squisitamente francese a cui essa avrebbe attinto a piene mani e della quale si considerava onestamente tributaria, l'organizzazione burocratica centralista applicata anche al settore tecnico, - manifestatasi in pieno decennio napoleonico e proseguita senza troppe variazioni anche in piena età borbonica -, la straordinaria stagione legata ad uno dei più autorevoli direttori generali di Ponti e Strade, Carlo Afan de Rivera.

Se questi aspetti appena richiamati sono oramai acclarati per la storiografia che si è occupata e si occupa dell'elite tecnocratica e di tutte le ricadute del loro impegno nella complessiva gestione del territorio, restano però ancora diverse zone d'ombra. Sappiamo poco, ad esempio, di questi valenti ingegneri napoletani[4], non ne conosciamo a fondo il pensiero, non sono state ricostruite ancora le carriere, non c'è una banca-dati accurata degli interventi realizzati e di quei progetti che non hanno trovato concreta realizzazione per ragioni varie. L'anomalia è che non mancano le fonti per ricostruire molte vicende legate a questi professionisti, per cui non trova spiegazione alcuna questa sorta di amnesia storica.

Partendo da questo dato di fatto, mi è parso particolarmente stimolante e utile indagare su uno di questi "scienziati-artisti", l'ingegnere Antonio Maiuri, il cui contributo al dibattito sui problemi delle opere pubbliche nel regno delle Due Sicilie va considerato rilevante, sia per le tematiche toccate, che per l'angolazione dalla quale si pose l'ingegnere napoletano, in chiara sintonia con il già richiamato de Rivera.

Antonio Maiuri[5] è, in qualche maniera, uno dei più illuminanti esempi delle trasformazioni e dei risultati cui le riforme prima accennate portarono l'intero sistema tecnico meridionale. Il suo curriculum è emblematico.

Nato a Napoli il 27 aprile 1805, entrò a 21 anni nella Scuola di Applicazione, superando l'esame di ammissione, tenutosi il 30 gennaio del 1826. La prova presupponeva che i concorrenti avessero piena conoscenza del corso delle matematiche pure e del calcolo differenziale ed integrale, risultassero ben addestrati negli elementi del disegno di figura, sapessero scrivere in italiano corretto e tradurre il latino e il francese[6]. Maiuri si classificò al sesto posto, riportando 40 gradi (punti)[7]. I docenti della Scuola, che rispondevano ai

nomi di Salvatore De Angelis, Paolo Tucci, Leopoldo Laperuta e Luigi Giura, si accorsero che tra gli alunni vi erano potenziali ingegneri destinati a dare un contributo prestigioso alle sorti della Scuola e del Corpo tecnico.

Venne licenziato dalla Scuola nel 1830, classificandosi al terzo posto per merito, mentre l'anno seguente, come previsto per i più bravi e meritevoli, ottenne l'inquadramento nel Corpo di Ponti e Strade, con il grado di *ingegnere alunno*. Qualifica che doveva in qualche modo rendere ben riconoscibile la provenienza del tecnico e creare quel rapporto molto stretto tra formazione scolastica e professione, su cui a Napoli, al momento di istituire la Scuola e il Corpo, si era puntato con ragionevole determinazione.

D'altra parte, proprio per rendere praticabile questo nesso tra formazione e impiego statale e per evitare che l'alunno sviluppasse una prevalente quanto improduttiva formazione teorica, il legislatore napoleonico[8] aveva provveduto a introdurre la possibilità che nel mese di marzo, a chiusura del corso di ciascun anno, l'alunno potesse essere spedito "in campagna", ovvero a seguire direttamente un cantiere in provincia, "per istruirsi assistendo a qualche lavoro interessante", ricevendo 20 ducati al mese, alla stregua, cioè di un *ingegnere aspirante*, più 5 ducati al mese "per campagna"[9]. Aspetti, questi, che, a sua volta, il ministro Tommasi nel novembre del 1818 aveva inteso riconfermare, rendendo più marcato e sinergico il passaggio dalla Scuola al Corpo; "gli alunni che riporteranno l'approvazione della Commessione di esame (..) – si legge nel corpo del decreto da lui ispirato e voluto - saranno ammessi, come ingegneri de' ponti e strade, nel grado di sotto-ingegneri del tesoro, o d'ingegneri di 4ª classe destinati alle opere provinciali"[10].

Il destino di Maiuri sembrava profilarsi: per lui presto sarebbe arrivato il trasferimento in un dipartimento provinciale nel quale avrebbe espletato il suo lavoro; un destino comune a moltissimi ingegneri. Solo il direttore generale avrebbe potuto cambiare il corso della sua vita professionale.

Già nel 1834, il suo superiore gerarchico e massimo referente tecnico-culturale, nella consueta lista degli ingegneri compilata per dare conto al governo delle capacità di ciascun tecnico e delle possibilità o meno di carriera all'interno del Corpo di ingegneri, annotò, accanto al nome di Antonio Maiuri, "*da nominarsi ingegnere aggiunto*", riconoscimento che de Rivera aveva previsto anche per Ignazio Milone, Luigi Martini, Ferdinando Rocco, Emidio Giuliani, Alessandro Giordano, Vincenzo Sassone, Giuseppe Palmieri, Errico Salvatores, Giuseppe Todari, Ercole Lauria[11].

Nomina che Maiuri ottenne, pur se in via provvisoria, e che gli consentì di percepire, nel 1836, 20 ducati mensili, più 6 ducati per spese d'ufficio[12].

Proprio in quel 1836, anno in cui il giovane ingegnere si stava facendo apprezzare per abnegazione e preparazione, pubblicò, a cura della stamperia e

cartiera del Fibreno di Napoli, il volume "*Delle opere pubbliche nel regno di Napoli e degli ingegneri preposti a costruirle*", che, in qualche modo, sintetizzava le conoscenze dirette che aveva avuto modo di fare sui cantieri a stretto contatto con i suoi superiori gerarchici, con appaltatori, istituzioni locali e imprenditori. L'opera si colloca nel solco delle osservazioni che appena tre anni prima aveva elaborato il direttore generale de Rivera in un'opera date alle stampe[13], riprendendone vari temi, e, anzi, sostenendo appieno le conside-razioni dell'esponente apicale della Direzione Generale.

Mentre stava per essere assegnato ad una provincia ove svolgere la propria attività di ingegnere, fu dirottato invece dalla sezione provinciale al ramo regio, insieme a Federico Bausan, Ignazio Milone e Luigi Martini[14]. Si trattava di un provvedimento voluto direttamente dal direttore generale di Ponti e Strade, lesto a cogliere le capacità degli ingegneri più preparati e validi e a volerli al suo fianco come più diretti e stretti collaboratori.

Con decreto dell'11 giugno 1838, ad Antonio Maiuri fu riconosciuto il rango di *ingegnere aggiunto* e tre anni dopo, il 14 febbraio 1841, pervenne al grado di *ingegnere di II classe*, assicurandosi anche un posto all'interno del Consiglio di Ingegneri di Acque e Strade, prestigioso luogo di dibattito tecnico e di crescita professionale. Possiamo senz'altro dire che dalla pubblicazione del volume in poi la sua carriera aveva avuto una svolta significativa.

Nel luglio del 1841, assieme all'ispettore generale Luigi Malesci e all'ispettore di Dipartimento Giovanni Isè, venne chiamato a far parte di una Commissione mista, istituita dai tre Ministeri, Guerra e Marina, Finanze e Interni, per valutare con attenzione la precaria situazione dei torrenti *Cavaiola* e *Solofrana,* che avevano causato un susseguirsi di pericolose alluvioni soprattutto tra i casali di Nocera, con notevoli rischi per gli abitati e la popolazione.

A seguito delle abbondanti piogge cadute nel dicembre del 1840 i due torrenti erano nuovamente straripati trascinando materiale vario ed ostruendo il deflusso delle acque. Maiuri, dopo aver partecipato in maniera attiva alle operazioni, fu nominato direttore dei lavori di espurgo dell'alveo dei torrenti in questione, onere che lo tenne impegnato almeno fino al 1849 e nel quale si distinse per la perizia e l'accuratezza dell'intervento, per l'ottima tenuta dei rapporti tra Direzione Generale di Ponti Strade, di cui era parte, e le altre istituzioni competenti e per l'oculatezza nella contabilità[15].

Oramai era maturo per un più ambito riconoscimento.

Infatti, qualche mese dopo la morte di de Rivera, avvenuta nel gennaio del '52, e precisamente il 18 marzo 1852, approdò alla illustre ed anelata qualifica di *ingegnere di I classe*. Il provvedimento non poteva recare la firma dello scomparso direttore generale, ma, di fatto, era stato da lui concepito e predisposto. Toccò proprio ad Antonio

Maiuri scrivere il necrologio di Carlo Afan de Rivera[16], a dimostrazione del forte legame con l'uomo che, pur senza spianargli la strada della carriera, nel rispetto di quei criteri meritocratici ai quali si era sempre tenacemente ispirato e che considerava fondamentali per l'integrità della Direzione Generale che egli aveva diretto per circa trent'anni, aveva saputo apprezzarne le doti professionali e umane.

Il pensiero di Antonio Maiuri

"Tecnico illustre e funzionario valoroso", così lo ha definito Giuseppe Russo, il primo a operare un'utilissima ricostruzione della Scuola di Ingegneria di Napoli, tracciandone i problemi e i risultati tra il 1811 e il 1967[17]. Di Maiuri Russo ha messo in risalto la sua capacità di essere "uno scrupoloso annotatore della vita della Scuola [di Applicazione]" e di essere stato anche uno dei più validi difensori del sistema meritocratico. In realtà, i pregi che vanno riconosciuti all'ingegnere Maiuri vanno aldilà di una semplice apologia del sistema di istruzione tecnica del Napoletano.

La sua opera, scritta, come detto, nel 1836, è una testimonianza, direi molto evidente, del fatto che de Rivera stesse formando da tempo un ristretto gruppo di tecnici fidati ed affidabili, capaci di sostenere quelle che erano le sue convinzioni e di svilupparne le linee-guida.

Cerchiamo di seguire il suo ragionamento e di coglierne l'ampiezza problematica in relazione alla temperie culturale, ma anche alle istruzioni e agli insegnamenti con i quali il direttore generale affrontava tutti i temi di competenza della "sua" Direzione Generale. In fondo, analizzare Maiuri significa approfondire la coscienza su de Rivera, vero ispiratore della politica di investimento statale nel settore dei lavori pubblici e nel complesso quanto fondamentale sistema delle acque e dei boschi del Regno.

Il volume consta di sei capitoli: *il primo* rivolto allo stato delle opere pubbliche anteriore all'istituzione del Corpo di ingegneri nel decennio francese, *il secondo* riservato all'origine e alle principali vicende del Corpo stesso, *il terzo* incentrato sulla Scuola di Applicazione, *il quarto* concentrato sulle condizioni degli ingegneri e delle opere pubbliche al momento in cui scriveva il libro, *il quinto* riservato all'esposizione di alcune sue idee per rimediare ad una serie di problemi che egli riscontrava nel *ramo* delle opere pubbliche, *il sesto*, infine, dedicato ad alcune sue idee sul Corpo degli ingegneri.

Un'opera non particolarmente ponderosa, racchiusa in meno di 150 pagine, ma con una predilezione per una "lettura" concettuale dei problemi delle opere pubbliche ed in chiave addirittura europea, per i suoi riferimenti ad altre realtà significative nell'ambito tecnico-scientifico del Vecchio Continente. Ciò gli permetteva delle comparazioni dalle quali trarre utili indicazioni tecniche e valutazioni sulle istituzioni e le loro modalità organizzative da poter estendere, nell'evenienza, al regno Napoletano.

Gli aspetti propriamente tecnici non occupano uno spazio preminente e sono condensati in poche pagine; ciò fa pensare che l'autore avesse optato per una pubblicazione divulgativa non riservata ad un pubblico di specialisti; tuttavia, non poteva correre il rischio di omettere una serie di questioni più specifiche. L'ambiente degli ingegneri andava pungolato con puntuali riferimenti che sconfinassero da questioni meramente burocratiche.

C'è, nel libro, una qualche inevitabile gratificazione verso i sovrani borbonici, secondo una prassi abituale nei regimi politici ottocenteschi, ma, nella parte dedicata alla ricostruzione storica, non mancano pagine più polemiche nelle quali l'autore, utilizzando un linguaggio equilibrato, non esita a toccare qualche punto delle iniziative di re Ferdinando per denunciarne l'incongruenza e la scarsa praticità.

È ovvio, altresì, che Maiuri tendesse a mettere in evidenza gli aspetti più positivi dell'esperienza della Scuola di Applicazione; anche qui mi pare si possa leggere più l'enfasi del tecnico autenticamente convinto dell'utilità della Scuola, in relazione anche ai risultati che da oltre venti anni essa aveva fatto acquisire all'intero ramo tecnico, che il desiderio di una *captatio benevolentiae* esaltando fuori misura le aperture culturali del sovrano Francesco I.

Un altro aspetto significativo è legato alla chiara ottica centralista entro cui si muove lo scrittore, che predilige, quindi, il solido e sistematico intervento pubblico nella gestione dei lavori pubblici e del campo forestale, ma vi è qualche significativa apertura ai privati, secondo prudenti linee-guida tracciate dallo stesso direttore generale, perseguite da Maiuri anche con minore diffidenza rispetto al de Rivera. In sostanza, l'ingegnere napoletano mostra di prediligere un impegno misto tra Stato e privati, che fosse in grado di armonizzare il controllo statalista e la sua necessaria progettazione, animata da interessi generali della collettività, - tema a lui molto caro -, e da un'ottica di coordinamento degli interventi, con la necessità di istituzioni locali e imprenditori di assumere un ruolo importante in un'ottica più marcatamente liberista.

Anche questa dicotomia pubblico-privato sfuggiva a logiche di natura locale, considerato che in larga parte d'Europa, il tema del ruolo dello Stato e del contrappeso da assicurare alle forze politiche, tecniche e imprenditoriali locali, era tra i più gettonati e in voga. D'altra parte, questo confronto-scontro si ramificava in vari ambiti: accentramento *versus* decentramento; piani d'intervento statalisti *versus* autonomia delle forze locali; centralizzazione politica *versus* mediazione con i poteri forti in periferia. Su questi temi, come detto, lo stesso de Rivera, dopo un'iniziale stagione di rigorosa chiusura, avrebbe mostrato una certa flessibilità, sebbene i continui strali lanciati contro gli affaristi, gli speculatori, gli arroganti appaltatori, lasciano intendere quante riserve e incertezze egli avesse nella conduzione privata del bene pubblico o dei progetti di infrastrutture. E anche

quando lasciava spazi di intervento ai privati per non precludersi qualche importante appoggio politico a livello governativo, dove continuavano ad osteggiarlo, de Rivera non escludeva affatto che lo Stato esercitasse la sua azione di controllo con la massima scrupolosità.

Maiuri si muove a proprio agio su questi temi, mostrando duttilità verso il nuovo credo liberista, ma denunciando anch'egli tutte quelle circostanze nelle quali il privato mostrava i suoi evidenti demeriti e limiti. Il rapporto simbiotico tra il pensiero di Carlo Afan de Rivera e quello di Antonio Maiuri merita di essere colto nei suoi passaggi più eloquenti. Mi pare sia una delle testimonianze più dirette del tentativo del numero uno della Direzione Generale di Ponti e Strade di fare scuola e far sì che l'amministrazione borbonica su determinati temi mante-nesse nel tempo una coerenza di comportamenti e di metodologie.

Ma entriamo nel vivo delle questioni affrontate da Maiuri.

Nella parte iniziale del volume egli non esita ad attaccare i baroni, sui quali fa ricadere molte responsabilità pregresse. È, anche questo, un segno dei nuovi tempi, in cui l'arrogante mondo del baronaggio, che aveva dilagato e imperato nella società meridionale per secoli, aveva subito un pesantissimo ridimensionamento, a seguito della legge eversiva della feudalità del 2 agosto 1806.

A trent'anni da questa rilevante legge, si poteva oramai alzare il tiro contro la feudalità e addossarle, finalmente, tutte le colpe per i misfatti di cui si era resa responsabile. Non è singolare o originale questa posizione, comune peraltro a tutti gli intellettuali di epoca napoleonica e post-napoleonica, ma è una conferma che si fosse davvero voltato pagina rispetto al giogo cui i baroni avevano sottomesso le popolazioni. I feudatari, scrive senza remore Maiuri, "facevano ne' loro feudi tutto quel male che potevano e sapevano" e, poco oltre, entrando nello specifico tecnico, "mimicissimi de' vassalli, non imprendevano un'opera che avesse potuto fare il bene di questi; (..) le strade non erano punto curate, e non pur trascuravasi la struttura delle nuove, ma le già fatte o andavano o si mandavano in ruina, le acque de' fiumi e de' torrenti correndo disordinate e traboccando ne'campi ingoiavano e distruggevano le promettenti ricolte; il numero degli abitanti venivasi sminuendo ogni dì e le floride città e le arate campagne si tramutavano in isquallidi abituri ed in pestilenti paduli"[18].

Dunque, larga parte dei problemi di spopolamento e di incuria del territorio, almeno fino alla venuta a Napoli di Carlo di Borbone, andava attribuita, a suo giudizio, alle angherie dei feudatari, le cui colpe non erano riscontrabili solo nelle vie di comunicazione, ma anche e soprattutto nella scarsa attenzione per i fiumi e i torrenti. Insomma, il regime delle acque era lasciato all'improvvisazione e non si metteva mano a progetti che potessero proteggere le popolazioni dalle più lapalissiane conseguenze di questa incuria, ovvero, allagamenti, inondazioni, frane, paludismo e mefitismo, di cui Carlo Afan de Rivera

in molte sue pubblicazioni avrebbe registrato il preoccupante susseguirsi.

Sappiamo che su questi temi era già intervenuto in maniera diffusa un altro intellettuale meridionale, Teodoro Monticelli, che nel 1809 aveva pubblicato una *Memoria* di grande effetto, incentrata sulle acque e sugli effetti perniciosi del paludismo, aprendo la strada per quella stagione di iniziative nel campo delle bonifiche di cui si sarebbe reso protagonista proprio de Rivera e divenendo un *pendant* di grande efficacia tra gli illuministi napoletani di fine Settecento, che avevano già riflettuto su queste tematiche, e la giovane tradizione franco-borbonica introdotta nel Napoletano[19]. Monticelli rappresentava un imprescindibile riferimento culturale per tutti i tecnici e sono dell'avviso che la modernità del suo pensiero nello specifico settore tecnico-forestale non sia stata ancora valorizzata per come egli meriterebbe.

Poco oltre, Maiuri coglieva anche quella carenza amministrativa che, secondo il suo parere, non riusciva a supportare in modo adeguato tutti gli sforzi progettuali. La *Giunta* o *Soprintendenza delle Strade*, istituita da re Ferdinando, mostrava tutta la sua debolezza in quanto gli "architetti" destinati a seguire le opere pubbliche erano scelti in maniera del tutto arbitraria dal soprintendente. Questa discutibilissima forma di cooptazione del tecnico creava logiche condizioni di disparità tra gli stessi ingegneri e, nella costruzione di nuove strade, i tecnici nell'entourage della Giunta delle Strade erano favoriti nel presentare un progetto, "nel quale – chiarisce Maiuri – indicava grossamente la traccia da lui scelta ed accennava la spesa totale della strada; quindi senz'altro attendere era approvato il progetto e recavasi in atto l'impresa"[20]. Tutto ciò si traduceva nella scelta dei peggiori architetti-ingegneri, che potevano godere della "protezione de' grandi, la quale ottengono agevolmente a furia di adulazioni o di viltà"[21]. Pare evidente, qui, - e di una qualche attualità -, questa indebita ingerenza del potere politico sulla scelta dei tecnici, anello debole del processo di selezione o di individuazione del responsabile di un lavoro da cantierare, ma, non di rado, composto da specialisti lesti a sfruttare la situazione.

Doveva apparirgli davvero lontano questo mondo di clientele, corruzioni e favoritismi che, in specie nel settore tecnico, non si legittimava ai suoi occhi. Ovvio anche che la denuncia di questo stato di cose schiudeva le porte all'istituzione del Corpo degli Ingegneri, avvenuta nel 1809, e ne legittimava pienamente la nascita.

Nel ricostruire il puzzle di questo organismo Maiuri si dilungava sull'esperienza francese, di cui esaltava la funzione e i risultati, che potevano essere così sintetizzati: 1) costante miglioramento delle istituzioni tecniche; 2) importante ruolo della Scuola nella formazione; 3) determinazione di un tempo di studio necessario per la formazione degli aspiranti ingegneri; 4) procedura dell'esame a concorso per la carriera tecnica.

Questi fattori, sottolineava a chiare lettere l'autore, erano stati ripresi nell'istituzione del Corpo degli Ingegneri a Napoli all'inizio dell'Ottocento e, finalmente, erano stati definiti i campi di intervento per gli ingegneri: lavori di costruzione, di riparazione e mantenimento delle strade regie, dei ponti, dei canali di irrigazione e di disseccamento, degli acquedotti pubblici, della navigazione dei fiumi, degli argini dei fiumi e dei torrenti, delle bonifiche e di altri lavori idraulici. Un vasto repertorio di competenze che si concretizzava in funzioni ben definite per ciascun *quadro* dell'organigramma del Corpo. Gli *ispettori*, infatti, avrebbero dovuto vigilare sugli ingegneri e sull'andamento dei lavori; gli *ingegneri in capo* avrebbero avuto l'incarico di progettare le opere pubbliche e di stabilire i contratti di appalto; gli *ingegneri ordinari* e gli *aggiunti* avrebbero dovuto occuparsi della esecuzione dei lavori; i *sotto-ingegneri* e gli *ingegneri aspiranti*, infine, erano obbligati ad assistere alla condotta materiale dei lavori. Il richiamo al modello organizzativo industriale per individuare le funzioni e le competenze degli ingegneri risponde ad una chiara logica di razionalizzazione e di ricerca dell'efficienza.

Maiuri dava poi risalto alla nascita Scuola ed al ruolo che aveva avuto il generale Jacques David-Martin Campredon, primo direttore generale del Corpo di Ponti e Strade napoletano, come tramite con l'analoga scuola francese e per essere stato lesto a varare gli statuti per regolamentare la vita della nascente istituzione napoletana. Ciò che sembrava particolarmente efficace, oltre alla formazione in sé, era, come già sottolineato, l'invio degli alunni "ad assistere a que' lavori che stavano costruendosi nelle varie province; e quivi mantenuti a spese del regio erario apprendevano praticamente il modo di levar le piante, di stabilire la traccia delle strade, di fondare i ponti, di fare insomma quanto si appartiene ad un ingegnere"[22].

Ma l'Autore tendeva anche a decantare una delle più efficaci innovazioni del passato regime napoleonico, gli esami e l'adozione del sistema meritocratico; "durante questo corso di studio – scrive, infatti – per eccitare vie maggiormente negli animi giovanili l'amore del sapere, ogni anno era richiesto un pubblico e solenne esame per vedere il progresso fatto da ciascuno alunno; ed il ministro degli affari interni, che vi presiedeva, premiava di sua propria mano que' due che più valenti si mostravano, dando loro un corpo di libri di Architettura o alcuno strumento di Geodesia"[23]. Sappiamo bene che il regime politico napoleonico avesse adottato il sistema meritocratico in tutti i settori delle scuole pubbliche francesi, educando gli alunni a questo meccanismo della competizione e del merito, che aveva l'obiettivo di incoraggiarne lo studio e la formazione. Principi liberali che tendevano a far emergere gli studenti più ingegnosi; "la società è relativamente aperta – ha scritto Rémond – fa posto al talento, alla cultura, all'intelligenza; è tanto una borghesia di funzioni amministra-

tive, di cultura universitaria, quanto una borghesia del denaro. Il termine "capacità" ricorre spesso nel vocabolario dell'epoca"[24].

Ed in effetti, come ben sappiamo, appartenenza al mondo borghese e capacità sono due requisiti indiscutibili dell'élite tecnico-scientifica. La logica culturale che oramai si stava affermando su tutto il Vecchio Continente giocava abilmente su queste due opportunità: con la prima si schiudeva al ceto medio la professione di ingegnere dello Stato, secondo meccanismi oligarchici e censitari tipici del sistema liberale, con la seconda si ipotizzava che il giovane alunno della Scuola potesse con il merito avanzare nella scala socio-professionale all'interno del Corpo degli ingegneri.

Ma quest'ultima istituzione, che aveva il controllo dei lavori pubblici, era stata costretta a subire nel 1817 una suddivisione che per Maiuri aveva creato notevoli problemi all'intero settore. La ripartizione delle opere pubbliche in opere *di conto regio* ed in opere *provinciali*. Le prime poste sotto il controllo dello Stato, le seconde amministrate, soprattutto dal punto di vista finanziario, da una *Deputazione delle opere pubbliche*. Mi pare sia il caso di sottolineare come l'Autore cogliesse nel segno quando, denunciando questa pessima ripartizione, asseriva che ciò aveva comportato un innaturale smembramento anche degli ingegneri, ed era venuto meno "quel vincolo che teneva tutti gl'ingegneri affratellati e stretti, cioè la unità degli attributi e delle dipendenza", per cui, proseguiva, "intervenne che gli animi degli uni e degli altri ingegneri restarono in certo modo divisi tra loro (..), nacque l'orgoglio da una parte e la umiliazione dall'altra, si vennero in essi alimentando le gelosie ed i rancori e surse finalmente il disordine"[25] .

In sostanza, le pressioni dei maggiorenti locali avevano sortito il loro effetto e si era proceduto a questa divisione in due rami delle opere pubbliche come compromesso politico e tecnico, per assicurare agli organismi locali, alla borghesia di periferia, agli imprenditori lontani dalla Capitale, all'indotto che un'opera pubblica era in grado di generare a qualunque livello, di poter assumere un ruolo decisivo nella gestione tecnico-scientifica delle opere e di incidere sulle decisioni politiche.

La mediazione cozzava contro la visione dirigista di Carlo Afan de Rivera e di larga parte del Corpo degli Ingegneri, ma assicurava al regime monarchico una sostanziale tranquillità in periferia. Ciò, come possiamo facilmente immaginare, risultava decisivo per l'equilibrio politico dell'intero sistema borbonico. Ma vi è dell'altro.

In fondo, l'adesione alle idee liberali comportava un ripensamento sul peso politico dello Stato e sulla sua ingerenza nelle opere pubbliche a livello provinciale. Alleggerire la società dalla presenza dello Stato sembrava una plausibile necessità culturale, forse anche un'inderogabilità storica.

Tuttavia, de Rivera e il suo fidato gruppo di ingegneri – Maiuri compreso -, temevano molto le indebite ingeren-

ze di affaristi e tecnici locali, appaltatori e imprenditori senza scrupoli che avrebbero operato con poco rispetto verso una normativa che disegnava un percorso più rigoroso e di maggiore controllo da parte dello Stato.

Infine, saltava la visione "sistemica" di cui il Corpo degli Ingegneri era portatore, e che presupponeva scelte in sede provinciale coordinate tra loro, in un'ottica di sviluppo del Mezzogiorno che doveva passare per una stretta interconnessione degli interventi viari, infrastrutturali e di gestione del territorio (acque e boschi). Giova appena ricordare l'approccio con cui era affrontato dall'Afan de Rivera il legame, per lui imprescindibile, tra montagna e pianura.

Lo sdoppiamento di organigramma dei tecnici, delle funzioni e delle competenze aveva una pesante ricaduta sulla credibilità complessiva dell'intera istituzione, questo sembrava palese un po' a tutti i collaboratori più diretti del direttore generale. Maiuri, inoltre, lamentava il fatto che, nonostante vi fosse stata la riforma del 1826, con la creazione della Direzione Generale di Ponti e Strade, Acque, Foreste e Caccia[26], quindi con una maggiore concentrazione di funzioni e competenze, questa distinzione tra opere pubbliche di *conto regio* e *provinciali* sussisteva ancora, ma, pur mantenendo una posizione contraria a questa scelta adottata, trovava modo per aprire uno squarcio a beneficio delle Deputazioni provinciali. "Lodevolissimo fu lo scopo d'instituire questo magistrato; dappoichè si volle che una mano delle più ornate persone e più ragguardevoli avesse cooperato con gl'ingegneri all'avanzamento delle opere della propria provincia; ma i mezzi, come la osservazione di parecchi anni ha mostrato, forse avrebber bisogno di esser meglio accomodati al loro fine: e ciò accade a tutte le umane istituzioni, le quali solo col tempo e con la sperienza possono venire a perfezione. E certo, -spiegava ancora l'ingegnere- nessuno meglio de' principali di una provincia può conoscere l'importanza delle opere che vi si vogliono costruire, e quali sieno le più necessarie e quali le più desiderate: però quest'onorevole consesso, o ch'io me ne inganno, dovrebbe avere ampie attribuzioni per risolvere ogni dubbio e spianare tutti gl'intoppi che arrestano la celere esecuzione di quelle; ma converrebbe che lasciasse totalmente agl'ingegneri la cura di eseguirle e la guarentìa della buona riuscita di esse"[27].

In pratica, l'Autore ribadiva che se questo sdoppiamento si fosse risolto comunque in un controllo tecnico da parte degli ingegneri, avrebbe potuto essere anche accettato, considerata la capacità di quanti vivevano nelle loro province di poter contribuire a determinare la validità o meno di un progetto di opera pubblica, ma, considerato che tutto ciò aveva determinato una netta riduzione della funzione di controllo degli ingegneri, appariva evidente che stesse degenerando l'intero sistema. Difatti, l'Autore si attarda a spiegare quali fossero i riflessi burocratici di questo stato di cose, con una rilevante elefantiasi burocratica ed un appesan-

timento delle procedure.

Quasi a rendere più chiara la sua posizione, Antonio Maiuri apre un'ampia parentesi sugli appaltatori, già oggetto di notevole attenzione da parte del Direttore Generale. "E ragionando degl'intraprenditori come causa d'inciampo della buona riuscita di un'opera, costoro per troppa smania di far lavoro, quando concorrono per eseguirne alcuno spesso abbassano di molto i prezzi indicati ne' progetti: e ci sono esempi di opere appaltate quasi col cinquanta per cento di rilascio per parte degli appaltatori"[28]. La riduzione del prezzo per aggiudicarsi un appalto era un problema di notevole portata, che aveva una conseguenza diretta; infatti, prosegue Maiuri, gli appaltatori "essendo presi alla 'ngordigia di uno smoderato guadagno, adoperano ogni mezzo per fare i lavori imperfetti e per deludere la vigilanza degl'ingegneri"[29].

I quali ingegneri non avevano gli strumenti per combattere ad armi pari con questi appaltatori "di non troppo squisita rettitudine" e ne dovevano subire le angherie.

Maiuri non rinuncia a cogliere la palla al balzo per trattare un altro aspetto abbastanza collegato alla situazione che si era creata. Infatti, a causa della scarsa remunerazione degli ingegneri provinciali, -di cui erano a conoscenza gli stessi appaltatori-, essi potevano agevolmente ricevere proposte per accomodare i progetti e per limitare i controlli della Direzione Generale di Ponti e Strade.

In sostanza, non pochi ingegneri entravano appieno nel sistema di corruzione in atto. L'autore non nasconde la problematica, e, a proposito dei suoi colleghi, con linguaggio molto esplicito, scrive: "non essendo gli uomini tutti d'un conio, non sarebbe impossibile trovarne alcuni di animo basso o debole, i quali, per non poter soccorrere bene 'a bisogni di una numerosa famiglia col sottile stipendio, si facessero vincere dalla necessità dura imperiosa onnipotente e dopo lunga tenzone cedessero alle voci della seduzione"[30]. Occasione, quindi, per rivendicare una retribuzione mensile più adeguata agli ingegneri, di cui era ben nota l'esiguità, anche e soprattutto in una comparazione con analoghi tecnici impegnati in Francia, Inghilterra, Olanda ed altri Stati europei.

Ma il parallelismo con Inghilterra e Francia è anche più articolato e ci rimanda nuovamente alla questione dell'accentramento delle funzioni tecniche o ad un sistema più liberale ed aperto con un ruolo più significativo delle istituzioni periferiche. Il sistema inglese, portato qui ad esempio dall'Autore ed analizzato con una certa attenzione, non consentiva alle Contee e ai grandi proprietari di impedire i lavori pubblici, anzi, la legge imponeva loro l'obbligo di intervenire "come soccorritori ed arbitri", e il governo, precisava Maiuri, "ne serba per sé l'esame e l'approvazione a solo fine di prevenire gli abusi, tor via gli ostacoli e somministrare alle imprese particolar i il vigore della legge"[31].

L'ingegnere sottolinea il ruolo che avevano le Compagnie di privati im-

prenditori, create appositamente per costruire canali, ponti, porti, bacini, ecc., e la creazione delle strade *libere*, la cui pertinenza era affidata alle parrocchie, ciascuna delle quali, in Inghilterra, precisa lo scrittore, "rappresenta la prima unità politica dell'ordine sociale"[32].

Questo decentramento delle responsabilità e della sfera decisionale per la tenuta delle strade portava in sé dei problemi, ed erano proprio gli Inglesi a lamentarsene, in quanto l'eccessivo frazionamento nella gestione di molte vie di comunicazione, una certa negligenza da parte degli ispettori delle strade, l'assenza di uniformità nelle decisioni e nelle metodologie, creavano un meccanismo per il quale "ciascun ingegnere fa a suo modo, e ciascuno pretende ch'ei solo faccia il meglio e che il suo metodo solamente sia da seguire"[33] . Di qui, affermava con forza l'ingegnere di Ponti e Strade, ne derivava che "s'egli è un male tenersi alle vecchie costumanze e dare assoluta potestà sulle opere pubbliche ad una sola Amministrazione centrale, peggio è ancora il concedere sopra di esse una libertà illimitata e senza freno agl'ispettori delle Amministrazioni locali"[34] . Né un centralismo rigoroso e assoluto, né un'eccessiva autonomia agli organismi posti in periferia.

Passo, questo, davvero emblematico che fa da sponda ad una ulteriore riflessione con la quale l'ingegnere Maiuri provava a trovare una ragionevole mediazione tra due sistemi, quello inglese, appena descritto, più aperto alle istanze locali e liberale, e quello francese, notoriamente centralista, come da inveterata tradizione. La problematica si spostava sull'ipotesi di una terza via alle opere pubbliche, tutta napoletana.

La proposta parte da una critica dell'elefantiasi burocratica che attanagliava il sistema centralizzato, riscontrabile in tutti i passaggi formali che quella prassi amministrativa richiedeva. Per riattare un ponte o un edificio -è il caso che egli propone da analizzare-, "l'ingegnere a ciò deputato, fatto che avrà il progetto della restaurazione, lo manda al direttore generale, il quale dopo il debito esame della Commessione di revisione e del Consiglio lo invia all'intendente della provincia, e questi ne chiede l'assenso al ministro delle finanze o degli affari interni seconda la natura del lavoro: approvato il progetto il ministro ne scrive all'intendente, l'intendente al direttore generale, e quest'ultimo all'ingegnere significandogli l'ottenuta approvazione ed orinandogli di comporre i patti e le condizioni necessarie ad appaltare i lavori: tutto questo, chi ben vede, dimanda un tempo che spesse volte suol esser lunghissimo; durante il quale il guasto dell'edificio o del ponte aumenterà, e per conseguente crescerà pure la spesa proposta, con discapito del pubblico erario o degl'interessi delle province e de' comuni"[35].

Una disapprovazione del sistema borbonico che, in effetti, risultava molto lento per i tempi di attuazione, per i vari passaggi burocratici che presupponeva. In risposta a questa paralisi, Maiuri prospetta una diversa organizzazione. In primo luogo, le strade. Per essere tenu-

te bene, avrebbero dovuto essere gestite direttamente dal direttore generale di Ponti e Strade, "il concorso dell'autorità di altre Amministrazioni - precisa, difatti -, non so quanto giovi a far conseguire agevolmente questo scopo"[36]; questo meccanismo avrebbe mantenuto un forte ruolo per gli ingegneri che, in tal modo, avrebbero assicurato quel controllo necessario sugli appaltatori, sovente impegnati a disattendere le indicazioni tecniche.

In secondo luogo, le più rilevanti opere pubbliche. Maiuri individua per esse due tipologie: le opere di *prima classe*, che richiedevano cognizioni speciali, come i ponti, i canali navigabili, che, a suo giudizio, avrebbero dovuto essere dirette solo dagli ingegneri di Acque e Strade, ovvero dai funzionari tecnici pubblici; quelle di *seconda classe*, ovvero, le costruzioni di edifici per le istituzioni (es. Intendenze e Tribunali), le prigioni, i cimiteri, le parrocchie, che avrebbero dovuto essere affidate a privati professionisti, architetti civili o ingegneri. Per le opere a carico degli ingegneri statali, Maiuri presuppone una necessaria semplificazione delle procedure amministrative e burocratiche, ottenendo anche l'assenso all'opera da parte delle Deputazioni delle opere pubbliche locali. L'Autore non sottovaluta questo passaggio, ritenendo, infatti, che un coinvolgimento delle istituzioni in periferia fosse necessario per ragioni di equilibrio politico e per avere anche indicazioni sull'utilità e l'esecutività dell'opera stessa. Ma, proprio per quanto concerne la realizzazione dei progetti, l'ingegnere napoletano apre le porte anche alle Società o alle Compagnie private, istituite dalle persone più facoltose del posto, come da modello anglosassone. "Sono queste Società – spiega Maiuri -, composte de' principali di una contrada, i quali vedendo la utilità di una strada o di altra opera che traversi il loro paese o le lor possessioni, statuiscono di costruirla a spese proprie, ricavandone l'utile conveniente e dal beneficio che ne viene alle loro terre e dal dazio che impongono sul passaggio della strada; ed annunziano la loro idea su' giornali, invitando il pubblico ad intervenire nell'impresa"[37].

In questo modo, Maiuri intendeva riconoscere alle Compagnie la possibilità di trarre un profitto, prospettando per esse anche una convenienza nella realizzazione di un'opera pubblica, e si apriva la strada alla pubblicizzazione del progetto da rendere esecutivo, per consentire ad altri privati cittadini di poter eventualmente investire delle risorse, aderendo alle Società. Queste, poi, si sarebbero attivate per ottenere le necessarie autorizzazioni ministeriali, senza richiedere la specifica presenza di un ingegnere pubblico di Ponti e Strade, "prescrivere ad esse di giovarsi assolutamente di un ingegnere del Corpo delle Acque e Strade -chiarisce Maiuri- è un metter vincoli alla loro libera volontà, è un privare alcuno illustre architetto di mostrar l'ingegno suo, è un impedire la diffusione di altre Scuole modellate su quella del Corpo di Ponti e Strade"[38] . E la promozione di queste Società trovava il benestare anche del direttore genera-

le, Carlo Afan de Rivera, che ne aveva fatto esplicito cenno in alcune sue opere[39]. Nelle *Considerazioni*, infatti, il direttore generale, a proposito delle grandi imprese pubbliche, bonifiche, canali di irrigazione, costruzione di infrastrutture, aveva sollecitato la presenza dei privati; "secondo queste importanti mire -aveva scritto de Rivera-, fa d'uopo promuovere delle società di azionisti che anticipino i capitali"[40]. Il capo della struttura tecnica, ben oltre le pur condivise valutazioni politiche sull'opportunità di lasciare campo libero ai privati secondo i dettami del liberismo e del liberalismo, intendeva risolvere l'annoso problema dei finanziamenti per i lavori pubblici, ritenendo praticabile il ricorso al credito privato come forma in grado di surrogare le croniche difficoltà dello Stato a reperire quelle risorse indispensabili per avviare un possibile sviluppo socio-economico.

Se strumentale può apparire la posizione del maggiore responsabile della struttura tecnica dello Stato, appare più autenticamente liberista la posizione del Maiuri, sempre attento, tuttavia, a non deprezzare il ruolo dello Stato a totale beneficio del privato, ma ad esaltarne un reciproco ruolo integrativo; "contentiamoci per nostro meglio che il Governo faccia e lasci fare: contentiamoci ch'egli provveda a tòr [togliere] via gli ostacoli che impediscono il progresso delle opere pubbliche, cha dia più lustro ed ordine a questo Corpo d'ingegneri ed a questa Scuola, e si studia di accordare tutto il suo favore alle mentovate Compagnie particolari"[41].

Le diffuse considerazioni di Antonio Maiuri, in conclusione, vanno ritenute una traccia molto interessante per ricostruire un dibattito sulle problematiche dei lavori pubblici nel Regno delle Due Sicilie. La quasi totale identificazione tra i suoi contenuti e quelli del direttore generale fa assumere al suo volume il senso di un'opera che aveva anche lo scopo precipuo di far comprendere ai politici più refrattari che il Corpo degli ingegneri si muovesse con una straordinaria unità d'intenti ed una notevole coesione culturale. La regia di de Rivera appare ben evidente, d'altra parte, non erano molti gli ingegneri che riuscivano a dare alle stampe osservazioni e memorie. L'inesauribile direttore generale era molto attento a non lasciarsi sfuggire di mano la situazione dando il *placet* alla pubblicazione di opere che potessero dare l'idea di una corporazione di scienziati-artisti in disaccordo con il suo massimo dirigente. D'altra parte, le condizioni politiche e finanziarie per implementare il ruolo del Corpo di Ponti e Strade non erano del tutto favorevoli e il capo delle struttura tecnica aveva l'esigenza di non presentarsi come una voce solitaria nell'ambito dell'amministrazione borbonica, ma come l'emblema e la sintesi efficace di una razionalità scientifica condivisa e lungimirante.

In questo senso, possiamo dire che l'intento di de Rivera era senza dubbio costruire una solida corporazione tecnica, ma che si qualificasse anche una corporazione culturale, granitica nelle più disparate rivendicazioni, a partire

dall'aumento del salario al numero degli ingegneri da assegnare al Corpo statale, nello spirito di gruppo che avrebbe dovuta animarla in tutte le circostanze, coesa nel reclamare un ruolo di spicco nella gestione delle opere pubbliche, ma altrettanto compatta nella metodologia a cui ispirarsi, nel sostenere le ragioni della Scuola e nel supportarla adeguatamente. Una corporazione sensibile ed aperta al confronto con analoghe istituzioni europee, capace di cogliere dalle altre esperienze quelle modalità organizzative che potessero rafforzarne il ruolo e i principi. Ma in questo sforzo a mostrare le ragioni della corporazione e della Direzione Generale di Ponti e Strade, e, meglio ancora, le ragioni della tecnica su quelle della politica, -uno sforzo che accomunava i migliori professionisti di questa elite tecnocratica-, l'ingegnere Maiuri sa ritagliarsi un proprio spazio, sfruttando le conoscenze professionali e quel bagaglio di conoscenze che un tecnico fisicamente presente nella Capitale poteva costantemente migliorare rispetto ai colleghi sparsi nelle province del paese.

Lo dimostrano almeno due fattori: la conoscenza delle esperienze di altri Stati, che gli consentiva di sprovincializzare il suo contributo al dibattito sulle grandi opere, che rimaneva ancora complesso e ricco di implicazioni tecniche e politico-amministrative; la migliore integrazione nel sistema liberale con tutto l'armamentario di meritocrazia, di procedure concorsuali, di carrierismo, di ambizioni personali, che esso si portava dietro. Basilare, poi, restavano per Maiuri la Scuola e la formazione dei giovani; quest'ultima andava curata nel dettaglio, andava posta a costante accertamento, reintroducendo i premi per i più meritevoli e al fine di incoraggiare tutti gli alunni allo studio. Infine, occorreva aprire le commissioni d'esame a docenti esterni per rendere ancora più imparziale il giudizio sugli esaminandi.

Tuttavia, i più acerrimi avversari della Direzione di Ponti e Strade e della Scuola puntavano costantemente l'indice contro la lentezza delle opere pubbliche, ed erano persuasi che occorresse smantellare il Corpo degli Ingegneri e la Scuola, -strutture per ricchi e incapaci di risolvere i veri problemi infrastrutturali del paese-, e che in talune scuole pubbliche si dovessero studiare le discipline tecnico-scientifiche e istruire gli alunni.

Nel rintuzzare questa polemica, l'ingegnere Maiuri sosteneva, invece, che la formazione scientifica in una scuola pubblica "pe' professori delle arti meccaniche e liberali", senza che ve ne fosse una specifica, correva il rischio di risultare superficiale e di non corrispondere alle reali esigenze di conoscenza di aspiranti professionisti. Pertanto, occorreva che rimanessero quelle scuole speciali (Marina, Corpo del Genio e Corpo di Ponti e Strade), capaci di assicurare una formazione alta e specialistica. Formazione pubblica specialistica e apertura al privato: due facce di una stessa medaglia che, secondo Maiuri, avrebbero dovuto rilanciare il settore dei lavori pubblici, determinante per la credibilità stessa dello Stato.

[1] Cfr. A. Di Biasio, *Ingegneri e territorio nel Regno di Napoli. 1800-1860. Carlo Afan de Rivera e il Corpo di Ponti e Strade*, Latina, Amministrazione Provinciale, 1993, G. Foscari, *Dall'arte alla professione. L'ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, Napoli, ESI, 1995. Si veda anche 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, 2003.

[2] Cfr. G. Foscari, *Le strade del regno di Napoli: le riforme, le istituzioni, il dibattito*, in "Rivista di studi napoleonici", 2001, n. 1-2, n.s., anno XXXIV, pp. 187-208, ma si veda l'intero interessante numero della rivista, a cura di Aldo Di Biasio, dedicato a *Strade e vie di comunicazione nell'Italia napoleonica*, con i saggi di Brancaccio, Carrera, Rossi, Barsi, Stopani, Scavizzi, Foscari, Di Biasio, Quaini, Borgato, Parisi e Fedele.

[3] Cfr. a titolo di esempio, L. Antonielli, *L'amministrazione delle acque dalla Repubblica cisalpina alla Repubblica italiana*, in "Archivio ISAP", n.s., v. 3, *L'amministrazione nella storia moderna*, Milano, Giuffré, 1985, v. I, pp. 805-864; G. Bigatti, *Il corpo di acque e strade tra età napoleonica e Restaurazione (1806-1848). Reclutamento, selezione e carriere degli ingegneri*, in "Società e storia", 1992, n. 56, pp. 267-297; dello stesso autore si veda anche *La provincia delle acque. Ambiente, istituzioni e tecnici in Lombardia tra Sette e Ottocento*, Milano, Franco Angeli, 1995, pp. 273-314.

[4] Per un esempio di ricostruzione dell'opera di un tecnico di provato valore si veda L. Di Lernia, *Architettura dell'Ottocento a Napoli: l'opera di Bartolomeo Grasso*, in "Nord e Sud", 1983, n. 2-3, pp. 295-324.

[5] Su Antonio Maiuri cfr. R. Maiuri, *Antonio Maiuri. Cenni biografici, pensieri, poesie e lettere di amici, in commemorazione*, Napoli 1892, a cui si rimanda per ulteriori notizie biografiche.

[6] Cfr. G. Russo, *La Scuola di Ingegneria in Napoli. 1811-1967*, Napoli, Istituto editoriale del Mezzogiorno, 1967, p. 100-101.

[7] *Ivi*, p. 101.

[8] Il decreto per lo stabilimento di una Scuola di Applicazione nel Corpo degli Ingegneri è datato, infatti, 4 marzo 1811.

[9] "*Decreto per lo stabilimento di una scuola d'applicazione nel corpo degl'ingegneri di ponti e strade*", n. 105 del 4 marzo 1811, titolo III, art. 6.

[10] "*Decreto che prescrive di stabilirsi in questa capitale una scuola di applicazione per gl'ingegneri di ponti e strade, e ne approva il regolamento*", n. 1374 del 10 novembre 1818.

[11] Archivio di Stato di Napoli (ASN), *Archivio Borbone I*, b. 859, C. Afan de Rivera, *Libro de' costumi e dell'abilità e condotta nel servizio degli ingegneri di Acque e Strade*.

[12] Cfr. A. Di Biasio, *Ingegneri e territorio nel Regno di Napoli. 1800-1860*, cit., p. 149.

[13] Cfr. C. Afan de Rivera, *Memoria ragionata intorno a' bisogni delle opere pubbliche*, Napoli, stamperia del Fibreno, 1833.

[14] Cfr. A. Di Biasio, *Ingegneri e territorio nel Regno di Napoli. 1800-1860*, cit., p. 186.

[15] Archivio di Stato di Salerno, *Genio Civile*, b. 1, fasc. 8.

[16] A. Maiuri, *Necrologio*, in "Annali delle opere pubbliche e dell'architettura", 1851, 2, a. II, pp. 39-41.

[17] Cfr. G. Russo, *La Scuola di Ingegneria in Napoli*, cit., pp. 126 e sgg.

[18] Cfr. A. Maiuri, *Delle opere pubbliche*, cit., pp. 6-7.

[19] Cfr. T. Monticelli, *Memoria sull'economia delle acque*, Napoli 1809.

[20] Cfr. A. Maiuri, *Delle opere pubbliche*, cit., p. 19.

[21] *Ivi*, p. 20.

[22] *Ivi*, pp. 28-29.

[23] *Ivi*, p. 29 e pp. 37 e sgg.

[24] Cfr. R. Remond, *Il XIX secolo (1815-1914)*, Milano, Rizzoli, 1990, p. 31, ma si veda tutto il capitolo sul liberalismo.

[25] Cfr. A. Maiuri, *Delle opere pubbliche*, cit., p. 30.

[26] Legge del 25 febbraio 1826.

[27] Cfr. A. Maiuri, *Delle opere pubbliche*, cit., p. 64.

[28] *Ivi*, p. 69.

[29] *Ibidem.*

[30] *Ivi*, p. 71.

[31] *Ivi*, p. 79.
[32] *Ivi*, p. 80.
[33] *Ivi*, p. 88.
[34] *Ibidem.*
[35] *Ivi*, p. 96.
[36] *Ivi*, p. 97.
[37] *Ivi*, p. 103.
[38] *Ivi*, p. 106.
[39] Cfr. C. Afan de Rivera, *Memoria ragionata intorno a' bisogni delle opere pubbliche*, cit. e Id., *Considerazioni*, v. II, p. 155 e sgg.
[40] Cfr. C. Afan de Rivera, *Considerazioni*, cit., p. 155.
[41] Cfr. A. Maiuri, *Delle opere pubbliche*, cit., p. 138.

Francesco Caputo

I cannoni del Regno di Napoli

Introduzione

Un libro pubblicato a Napoli alla fine del XVIII secolo, opera di Sir John Acton, ed intitolato "Regolamento per la Fondizione e le Dimensioni dei Pezzi d'Artiglieria etc." ha ispirato questo lavoro. Una copia di quest'opera è conservata nella biblioteca della Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Napoli Federico II.

L'autore, John Acton, è personaggio che occupa un ruolo di rilievo nella storia napoletana durante il regno borbonico. Ferdinando IV, infatti, lo aveva chiamato a Napoli per riorganizzare la flotta e per apportare nuove conoscenze e tecnologie al fine di ammodernare e potenziare le armate del Regno.

Il libro, che contiene le norme tecniche per la fabbricazione dei cannoni, era appunto rivolto alla ristrutturazione dell'arma d'artiglieria, all'epoca la più importante, e quindi, anche quella tecnologicamente più rilevante.

Il volume di Acton si collega al ben noto libro di Gaspar Monge "L'Art de Fabriquer les Cannons", un'opera che comprova le conoscenze tecnologiche e la versatilità del grande scienziato, generalmente più noto per aver concepito ed attuato il piano di studi dell'Ecole Politecnique de France, e per essere stato padre e fondatore della geometria descrittiva. L'opera di Acton appare ancora più interessante, proprio in riferimento a quella di Monge, poichè l'anno della sua edizione, il 1792, precede di due anni l'opera dello scienziato francesce che è datata "18 pluviose de l'an 2 de la Republique Francaise une et indivisibile", cioè è del febbraio 1794.

Il testo di Acton, poiché tratta di armamenti, costituisce un valido documento delle conoscenze in tema di tecnologie raggiunte dal Regno delle Due Sicilie alla fine del XVIII secolo. Prima di valutarne il contenuto è opportuno premettere alcune notizie di carattere generale sull'arma dell'artiglieria dalle sue origini fino al secolo XVIII.

L'artiglieria, dalle origini alla fine del XVIII secolo

Le prime artiglierie nacquero agli albori del sec. XIV e, di fatto, costituirono la prima importante applicazione bellica della polvere da sparo. Esse, in un primo tempo, furono denominate bombarde. Le armi di calibro minore erano costruite in bronzo o anche in rame. Talvolta furono anche impiegate lamiere di ferro curvate in forma di tubo, saldate per bollitura. Quelle di calibro maggiore, in genere, erano costituite da barre, opportunamente sagomate e saldate fra di loro come le doghe di una botte, rinforzate da cerchi calettati a caldo, posizionati a contatto tra loro o anche intervallati. In genere le bombarde di calibro maggiore erano costituite da

due parti: una di diametro maggiore, lunga al massimo 3 o 4 calibri, detta tromba, in cui si collocava la palla, l'altra detta coda o gola o cannone, di diametro minore e di lunghezza alquanto maggiore della tromba, nella quale veniva collocata la carica. Talvolta, per comodità di trasporto, le due parti erano separate, e si univano con avvitatura al momento dell'impiego; era in uso anche il sistema di smontare le due parti ad ogni colpo, e di mettere la carica nel cannone, prima di applicarlo alla tromba, realizzando così, di fatto, un primo sistema di retrocarica. La carica era costituita da polverino sciolto, con vari dosamenti, empirici; la granitura era ancora sconosciuta; la carica era disposta nella camera della bocca da fuoco per mezzo di una cucchiara o cazza, applicata all'estremità di un'asta, e leggermente pressata col calcatoio.

Mediante un ferro rovente, si accende va la carica attraverso il focone, foro di piccolo diametro, praticato nel cannone in corrispondenza della carica di lancio, riempito di polverino. I proietti erano corpi sferici di pietra calcarea, ma anche di ferro o di bronzo per le bombarde più piccole. Per facilitare l'introduzione della palla all'interno della bocca da fuoco all'atto del caricamento, il diametro della palla era adeguatamente minore del calibro dell'arma. A quell'epoca, ovviamente, non solo la nozione di tolleranza dimensionale era totalmente ignorata, ma l'accuratezza effettivamente possibile con le macchine per le lavorazioni meccaniche disponibili, in ogni caso, ne avrebbe reso assai problematica la pratica attuazione. Risultava notevole, cioé dell'ordine di diversi millimetri, il gioco che era indispensabile prevedere tra il proietto e la canna.

Gli ingegneri militari dell'epoca erano ben consapevoli degli effetti nocivi di questo lasco che, all'atto dello sparo, causava la fuoriuscita, insieme al proietto, di una massa di gas caldo, detto vento. Per limitare l'incidenza del vento, assai negativa per l'efficacia del tiro, gli artiglieri, in base alla loro esperienza, tentavano di eliminare parte del gioco avvolgendo opportunamente le palle con stoppa, con tela, o con pelli.



Fig. 1 – Cannone della seconda metà del XVIIesimo secolo, calibro di circa 200 mm



Fig. 2 – Mortaio a camera cilindrica del XVIIesimo secolo, calibro di 325 mm

I Mortai erano rigidamente fissati su supporti di legno, detti letti (fig. 2), cui erano rigidamente fissati con cerchi di ferro, o con legature di corda. Per il trasporto erano caricati su carri. Le armi minori, invece, avevano il letto munito di ruote. Il puntamento era effettuato in modo empirico e rudimentale, affondando la parte posteriore del letto nel terreno, o rialzandone la parte anteriore con travi o cunei.

La tendenza, fin dagli albori dell'artiglieria, fu di realizzare bombarde di calibro sempre maggiore, tanto che nel secolo XV se ne costruirono alcune enormi. Anche se si ha notizia di bombarde turche con calibro all'incirca di 1100 mm che sarebbero state impiegate nella difesa dei Dardanelli, ancor oggi sopravvivono esemplari di bombarde con calibro dell'ordine dei 750 mm.

Queste armi gigantesche potevano lanciare palle di pietra aventi una massa di oltre 500 kg, impiegando cariche di polvere nera all'incirca di qualche centinaio di chilogrammi.

Successivamente, in breve tempo, a causa dei miglioramenti che si raggiunsero nella costruzione delle artiglierie mobili, concepite per lanciare palle di ferro, assai più efficaci di quelle in pietra, le artiglierie gigantesche andarono in disuso.

La notevole varietà delle armi da fuoco prodotta fino a tutto il XVI secolo è comprovata dall'abbondanza dei nomi, quasi sempre fantasiosi, che, nel corso del tempo, furono adottati. Nell'elenco che segue, certamente incompleto, ricorrono spesso nomi di rettili poiché con questo, evidentemente, s'intendeva mettere in risalto l'insidia e l'imprevedibilità di un tal genere di armi, da cui era assai difficile il difendersi: il falcone, il falconetto ed il mezzofalcone, la colubrina, la serpentina, talvolta confusa con la colubrina, la cortana, il passavolante, il basilisco, la spingarda, la serpentinula o la serpentinetta, il sagro, l'aspide, lo smeriglio o smeraldo, il girifalco, l'aquilo, il redene, il saltamartino, il cacciacornacchie, il bronzino o la bronzina, la ferlina, il ribadocchino; la cerbottana o cerbotta, la bombarda, la bombarda a braga, il mortaro, il petriere, il trabocco, la spingarda, l'archibugio, lo schioppo, lo schioppetto.

L'insigne artista ed ingegnere senese Francesco di Giorgio, nel suo Trattato di Architettura Civile e Militare, propose una classificazione delle artiglierie esistenti nel XV secolo, adottando per la prima volta il criterio di esprimere le dimensioni delle armi in funzione dei calibri delle bocche da fuoco.



Fig. 3 – Mortaio a carmera sferica del XVIIIesimo secolo, calibro di 325 mm

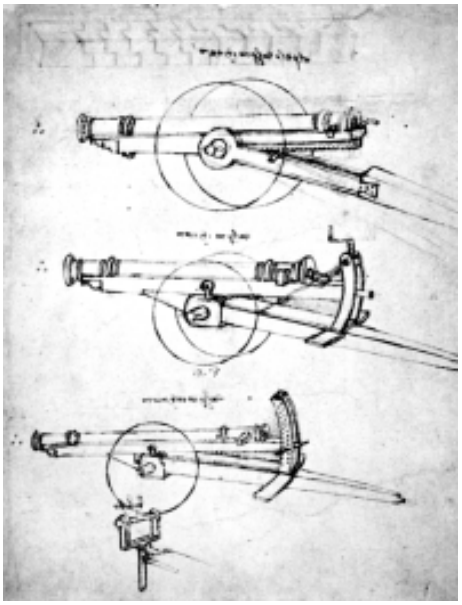


Fig. 4 – Leonardo da Vinci, dispositivi per regolare l'alzo dei cannoni



Fig. 5 – Leonardo da Vinci, fonderia di cannoni

Particolare considerazione è da riservare ai rilevanti contributi che, anche nel settore delle armi da fuoco, apportò il denio di Leonardo da Vinci. Com'è noto, Egli ebbe conoscenza dei problemi della fonderia sin dalla più giovane età, quando lavorava a Firenze, in qualità di apprendista, nella bottega del Verrocchio. Successivamente, mentre era a Milano al servizio di Ludovico il Moro, Leonardo applicò tutte le sue conoscenze e la sua inventiva alla costruzione delle armi da fuoco (Fig. 4).

Al periodo milanese, forse al 1487, appartiene il disegno di fig. 5 in cui è rappresentato il sollevamento di un enorme cannone; la scena, che per essere stata disegnata dal vero ha di certo rilevante valore documentale, consente di apprezzare la complessità dell'impianto produttivo, in cui, in gran quantità, sono immagazzinate bocche da fuoco di varie dimensioni.

Nell'opera di Leonardo appaiono sorprendenti anche i disegni di proiettili ogivali, dotati persino di alette direzionali (Fig. 6).

In questo caso l'intuizione del genio vinciano si rivela superiore a qualsiasi possibile immaginazione, poiché presagisce soluzioni efficaci sotto il profilo aerodinamico, in grado di assicurare gittata, ma anche precisione di tiro, caratteristiche impensabili a quel tempo.

Sul finire del secolo XV si cominciò a preferire il bronzo per la costruzione delle artiglierie, ma si continuò a far uso di fusioni in ferro, specialmente per le artiglierie di calibro minore. I getti di bronzo per la fabbricazione delle arti-

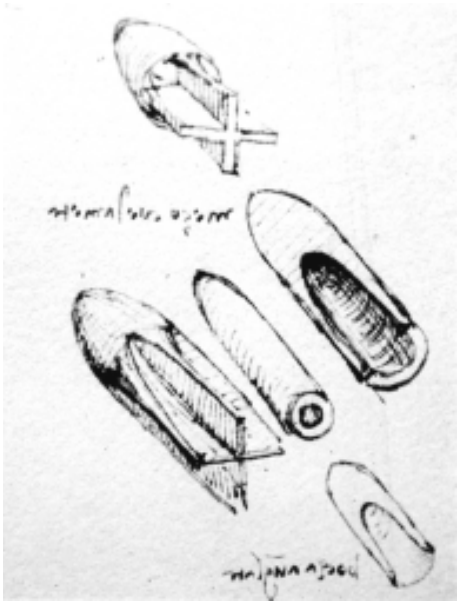


Fig. 6 – Leonardo da Vinci, proiettili ogivali, muniti anche di alette direzionali

glierie erano composti da una lega con una percentuale dell'11-12% di stagno e con la rimanente parte di rame. È veramente sorprendentemente constatare che la lega di bronzo dell'epoca, ottenuta con metodi esclusivamente empirici, sia in realtà assai vicina a quella che ancora oggi potrebbe essere ritenuta ottimale per lo stesso impiego.

La fusione in bronzo dei pezzi di artiglieria, nei primi tempi, avveniva con l'impiego delle anime, che venivano fissate, durante la fusione da appositi elementi in ferro, detti crocette o lunette, destinati a rimanere annegati nel getto. Un tal genere di procedimento fu sostituito, a cominciare dal XVI secolo, dall'uso di fondere i pezzi massicci, per trapanarli successivamente. Questo procedimento era reso conveniente dall'obiettiva difficoltà di collocare l'anima in posizione perfettamente centrata rispetto alla fusione, ma anche per evitare i difetti dovuti alla liquazione. La prima notizia di bocche da fuoco realizzate con foratura dal pieno appare nell'opera, già citata, di Biringuccio, il quale trovandosi al servizio della Signoria di Firenze negli anni intorno al 1530, descrive la fabbricazione di una grossa colubrina, detta Lionfante, nonché di cannoni, di mezze colubrine e di falconetti, tutte armi in cui l'anima era lavorata mediante trapanatura.

Per la fusione delle armi in bronzo veniva generalmente utilizzata una forma di un solo pezzo. Soltanto per le artiglierie di grandi dimensioni si usavano due forme, una per il cannone, l'altra per la tromba. La polvere da sparo che dalle origini, per circa due secoli era usata nel suo stato naturale, nel seguito cominciò ad essere granita, se pur irregolarmente; la carica, sovente, era confezionata in un cartoccio cilindrico di carta, destinato ad esser rotto dal calcatoio una volta introdotto nella camera con la cucchiara. L'uso di confezionare la carica di lancio in cartocci era nato, in realtà, con le prime armi a retrocarica descritte dai disegni del Ghiberti e di Leonardo da Vinci. Quest'ultimo, accanto al disegno di quella che egli definisce *"spingarda acchavalletto"* rappresentò anche una arnese per la carica che reca la scritta: *"vuole il cartoccio dentro (cioè dietro) la pallottola"*. Per l'accensione si faceva uso di stoppini o di micce, applicate all'estremità di un'asta.

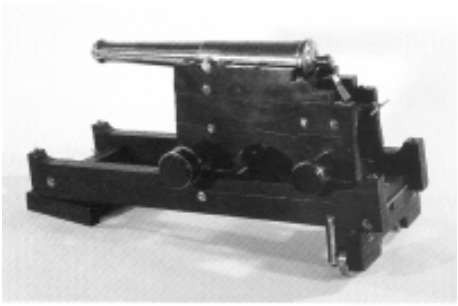


Fig. 7 – Cannone navale della fine del XVIIIesimo secolo, calibro ca 120 mm

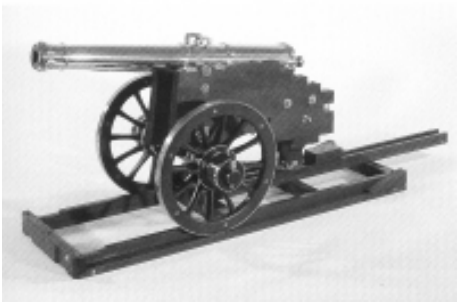


Fig. 8 – Cannone da fortezza della seconda metà del XVIII secolo, calibro ca 135 mm

Già nel secolo XV erano stati introdotti in Borgogna, in luogo degli antichi letti, dei veri affusti a ruote cui la bombarda era rigidamente collegata. Per il puntamento di queste artiglierie era necessario affondare la coda dell'affusto nel terreno. Sulla fine del secolo in Francia furono adottate le artiglierie con orecchioni, incavalcate su affusti a ruote. Questi erano costituiti da due coscie o assoni divergenti verso la coda, collegati da traverse o chiavi e dalla sala di legno. Nello stesso periodo fecero la loro prima apparizione anche le ruote campanate. Furono impiegati anche affusti a cassa, in genere costruiti con legno di quercia, per i mortai, per le artiglierie navali e per quelle delle opere fisse di difesa (fig. 7 e 8).

Tutte le artiglierie, anche le bombarde di minor calibro, pur realizzate in svariate forme e dimensioni, quasi sempre erano riccamente decorate, tanto che la bellezza delle forme e gli ornamenti dei cannoni, assa spesso, diventavano vere e proprie opere d'arte (fig. 9).

In ogni caso, sia la culatta, sia la canna, erano sempre arricchite da modanature speciali, che erano denominate "gioie". Gli ornamenti situati sulla parte finale della bocca da fuoco erano impiegati anche come utile riferimento per stabilire la linea di mira naturale.

La prima significativa ristruttu-razione dell'artiglieria francese avvenne intorno al 1732, per opera del La Vallière che definì cinque calibri per le bocche da fuoco. Successivamente si ebbero le ben più importanti innovazioni introdotte dal De Gribevaul, di cui, nel seguito, si dirà più diffusamente. Nel XVII e nel XVIII secolo le bocche da fuoco avevano anima cilindrica e liscia. Il focone era praticato sul fondo della camera; nel secolo XVII fu introdotto il grano a locone, a scopo di ricambio. Gli orecchioni erano di lunghezza e diametro all'incirca pari al calibro.

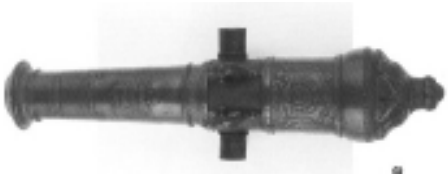


Fig. 9 – Ornamenti di un cannone francese della fine del XVIIesimo secolo

Alla fine del XVIII secolo le munizioni con palla a cartoccio avevano ormai raggiunto un buon livello d'efficienza, con cariche ben proporzionate alla massa dei proiettili ed alla resistenza strutturale delle armi. Le velocità iniziali erano sufficientemente elevate ed anche le gittate erano ormai ragguardevoli. Tuttavia la forma sferica dei proiettili costituiva sempre la fondamentale limitazione, sia ai fini della precisione, sia della gittata. In realtà, impiegando proiettili sferici, non era possibile colpire, intenzionalmente, bersagli distanti più di 2500-3000 metri. Per rendere efficace l'impiego dell'artiglieria contro le truppe nemiche, schierate in campo aperto, fu subito evidente che, invece dei proiettili a palla singola, sarebbero stati ben più adatti i proiettili a mitraglia, composti da una miriade di elementi atti a colpire ogni bersaglio presente in un ampio raggio.

Per quanto riguarda l'impiego operativo delle artiglierie, il puntamento e il tiro delle armi si basava sulla teoria del Tartaglia, la cui origine risale al 1562. Questi ipotizzava che la traiettoria descritta dal proiettile fosse composta da un primo tratto rettilineo, in direzione dell'asse del pezzo, da un secondo ramo della traiettoria, detto moto curvo, ad arco di circonferenza, e da un terzo ed ultimo tratto, rettilineo e verticale, detto moto naturale. Per i cannoni e per le colubrine si effettuavano esclusivamente tiri nel primo ramo. Il puntamento era effettuato dal cannoniere, ad occhio, allineando i punti più alti delle gioie di culatta e di volata. Per il puntamento dei mortai e degli obici s'impiegava la squadra del Tartaglia o il quadrante, seguendo dati contenuti in rudimentali tavole di tiro.

Per quanto riguarda la mobilità e, quindi, il traino dei pezzi di artiglieria da campagna si ricorreva a cavalli impiegati di punta; all'affusto erano applicate direttamente due stanghe che formavano timonella per il cavallo di stanghe; occorreva quindi che la pressione della coda sul terreno non fosse molto grande. Nel secolo XVII fu introdotto l'uso dell'avantreno, chiamato carretto.

L'opera di John Acton

Nella seconda metà del secolo XVIII l'artiglieria, aveva segnato un fondamentale progresso per opera dell'insigne ingegnere militare francese, Jean Baptiste Vaquette de Gribeauval[1]. Questi fu uno dei maggiori esperti di tecnologie militari e sostenitore convinto di concetti innovativi, quali la standardizzazione e l'intercambiabilità delle parti, che nella pratica tecnica sono stati sistematicamente adottati molto più tardi, ed è figura d'assoluto rilievo nella storia delle tecnologie militari e dell'Artiglieria in particolare. E' indubbio, perciò, che il Monge e l'Acton avessero approfondita conoscenza dell'opera di Gribeauval.

La rilevanza del volume di Acton per la storia dell'ingegneria è che esso costituisce un documento chiaro e dettagliato di quanto di più progredito vi fosse in Europa, a quel tempo, in tema di cultura tecnica e scientifica: l'opera, infatti, rivela l'esistenza di criteri di pro-

gettazione, di fabbricazione e di controllo assai efficaci, di livello qualitativo insospettabile. I disegni di cui Acton ha corredato il suo manuale costituiscono, infatti, veri capolavori della comunicazione tecnica.

Si tratta di elaborazioni che anticipano con efficacia la documentazione di progetto, esaustiva ed univoca, che di lì a qualche decennio sarebbe divenuta possibile con la pratica del disegno tecnico basato sulle proiezioni ortogonali. La prima rivoluzione industriale, allora agli albori, infatti, già di lì a qualche anno avrebbe tratto indubbi vantaggi dalla disponibilità di un metodo di rappresentazione per il disegno tecnico, quale quello mongiano, in grado di consentire grafici progettuali realmente costruttivi, precisi e di univoca interpretazione. Nel 1792 la teoria della rappresentazione, pur se già compiutamente formulata e descritta da Monge nella sua opera "L'art de descrivre les objects", ancora non era stata pubblicata, perché coperta da segreto militare.

La considerazione che nasce spontanea, esaminando il testo e le tavole del volume sulle artiglierie borboniche, è che a Napoli, alla fine del XVIII secolo, operavano tecnici in grado di produrre elaborazioni grafiche progettuali chiare ed accurate e che esisteva una cultura, peraltro assai progredita, delle tecniche di fonderia, delle lavorazioni meccaniche e del controllo dimensionale, almeno del medesimo livello di quella raggiunta in Francia, nazione che al tempo era preminente in Europa in campo militare.

I perfezionamenti che erano già comparsi nel secolo precedente per opera di Gustavo Adolfo nell'artiglieria reggimentale, si diffusero rapidamente in Europa. In Prussia, durante il regno di Federico II, erano stati apportati rilevanti progressi alla mobilità delle artiglierie trainate da cavalli. Rapidamente i progressi si diffusero anche in Austria.

È in questo periodo che l'ingegnere militare francese, Jean Baptiste Vaquette de Gribeauval apportò grandi progressi allo sviluppo dell'artiglieria.

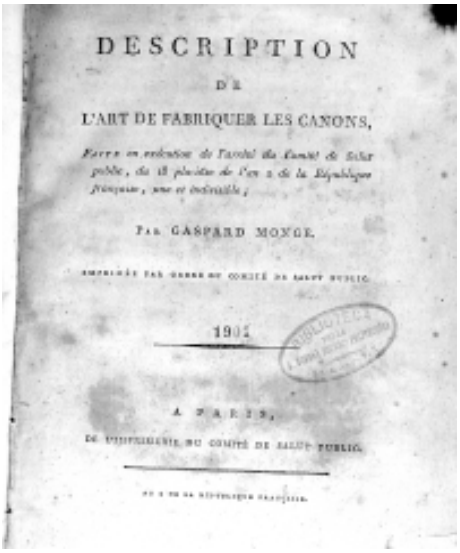
Denominazione dell'arma	*Lunghezza (m)*	*Materiale dei proiettili*	*Diametro dei Proiettili (mm)*
Bombarda	5,10-6,75	pietra	410
Mortaro	1,70-2,05	pietra	360-410
Cannone o Mezzana	3,40	pietra	230
Cortana	4,05	pietra	240-290
Passavolante	6,10	piombo e ferro	100
Basilisco	7,45-8,45	bronzo o ferro	118-122
Cerbottana	2,70-3,40	piombo	48-55
Spingarda	2,70	pietra	130-150
Archibugio	1,00-1,35	piombo	30
Schioppetto	0,70-1,00	piombo	13-15

Tabella 1 – Denominazioni e dimensioni delle armi d'artiglieria alla fine del XVI esimo secolo

La sua opera certamente rappresentò il principale riferimento culturale di Acton che ebbe modo di conoscerne ed apprezzarne i meriti. Il Gribevaul nacque ad Amiens nel 1715 e morì nel 1789, dopo una vita militare intensa ed avventurosa, vissuta prima al servizio della Francia e quindi dell'Austria, allorché l'Imperatrice Maria Teresa richiese alla Francia l'opera di un gruppo di qualificati consulenti militari. Partecipando alla guerra dei sette anni, poiché ebbe conoscenza diretta degli armamenti austriaci e di quelli prussiani, Gribeauval maturò le necessarie conoscenze ed accumulò tutta l'esperienza per sviluppare e rendere operativa una concezione assolutamente innovativa dell'arma d'artiglieria. A questa impostazione, in breve tempo, tutti gli altri Stati si adeguarono. La rilevante opera d'innovazione compiuta dal Gribeauval comprende sia contributi di tipo organizzativo, sia determinanti innovazioni tecniche. Egli, e certamente in questo fu uno dei primi, applicò i principi della standardizzazione industriale, poichè ridusse drasticamente il numero dei tipi esistenti, stabilendo in modo coerente le caratteristiche di quelli che ritenne necessari. Riorganizzò la distribuzione dei materiali, delle dotazioni ed anche l'ordinamento del servizio. Il Gribeauval studiò ed introdusse miglioramenti tecnici nella fusione dei cannoni, curò la progettazione dei calibri di controllo per la fabbricazione e seppe trasmettere le sue conoscenze tecniche con tavole costruttive chiare e dettagliate. Tutto ciò in un'epoca in cui il disegno tecnico non aveva ancora subito la definitiva sistemazione formale che, di lì a qualche decennio, sarebbe stata apportata da Gaspard Monge con il metodo delle proiezioni ortogonali.

Gribeauval introdusse una netta distinzione tra artiglieria da campagna, d'assedio e di piazzaforte. Alla prima furono destinati cannoni da 4, 8 e 12 libbre cui corrispondevano calibri di. 65, 83 e 95 mm, e un obice da 6 pollici, cioè con calibro di circa 150 mm. L'artiglieria da fortezza venne dotata di cannoni da 16 a 24 libbre, con calibri da 105 a 120 mm circa, nonché mortai da 8 e 12 pollici con calibri da 203 e 305 mm, un petriere da 15 pollici, ben 381 mm, e un obice da 8 pollici, cioè da 203 mm. Tutte queste artiglierie, ancora in bronzo, furono definite, con la massima precisione, dal Gribeauval in tutte le loro dimensioni e particolari. I cannoni avevano lunghezza media di 18 calibri, e usavano cariche pari ad un terzo della massa del proiettile. La velocità iniziale di lancio variava da 400 a 500 m/s. Il tiro orizzontale aveva una gittata che variava da un minimo di 400 - 500 m, fino ad un massimo di 3000 - 4000 m, secondo il calibro. Questi cannoni avevano il grano a focone di rame avvitato, anzichè forzato dall'esterno.

Gli affusti portavano la sala di ferro e le ruote erano dotate di boccole in ghisa. Per il puntamento era impiegata la vite di punteria, invece del cuneo scorrevole. L'avantreno era costruito con ruote di diametro quasi uguale a quelle del pezzo, ed era predisposto per l'attacco dei cavalli a pariglie.


DESCRIPTION

DE

L'ART DE FABRIQUER LES CANONS,

Par GASPARD MONGE.

1794

A PARIS,

Fig. 10 – Frontespizio dell'opera di G. Monge, "l'Art deFabriquer les canons

Negli affusti dei cannoni da piazza il Gribeauval introdusse l'adozione di un sottaffusto a liscie inclinate con perno fisso.

Il Gribeauval, inoltre, rese generale l'impiego di un alzo rettilineo scorrevole, con graduazione lineare, sistemato in corrispondenza della culatta; esso era collocato nel piano di simmetria del pezzo ed era dotato di un congegno di manovra a dentiera e rocchetto dentato.

Il munizionamento, per le artiglierie da campagna, era costituito da un cartoccio di tessuto forte, incollato, che era tenuto unito alla palla mediante legature. Il cartoccio all'atto del caricamento era forato mediante uno sfondatoio a punta introdotto nel focone. Le scatole con proiettili a mitraglia furono impiegate in sostituzione dei proietti a grappolo d'uva.

All'armamento delle piazze erano destinati affusti a eclisse, concepiti per permettere la protezione dei serventi del pezzo dietro alti parapetti. Il volume di Monge (fig. 10) è del febbraio del 1794, quindi ha due anni di ritardo rispetto al manuale di Acton, e, in circa duecento pagine, descrive, in dettaglio, rivelando una capacità di elaborazione progettuale assolutamente eccezionale per l'epoca, tutte le problematiche tecniche ricorrenti nella fabbricazione dei cannoni (figg. 11, 12, 13 e 14).

Si va dall'organizzazione ed allestimento della fonderia alla scelta dei materiali, dalle lavorazioni meccaniche ai controlli dimensionali.

E' indubbio che sia il Monge, sia l'Acton, da esperti della materia, erano perfettamente al corrente dell'opera di Gribeauval; non è altrettanto sicuro che il Monge abbia avuto la possibilità di conoscere l'opera di Acton, anche se questa ipotesi non si può escludere.

La rilevanza di questo libro per la storia dell'ingegneria consiste nel fatto che esso costituisce un documento chiaro e dettagliato di quanto di più progredito vi fosse in Europa, a quel tempo, in tema di cultura tecnica e scientifica: l'opera, infatti, rivela l'esistenza di criteri di progettazione, di fabbricazione e di controllo assai progrediti, di livello qualitativo insospettabile.

Si va dall'organizzazione ed allestimento della fonderia alla scelta dei materiali, dalle lavorazioni meccaniche ai controlli dimensionali.

È indubbio che sia il Monge, sia l'Acton, da esperti della materia, erano

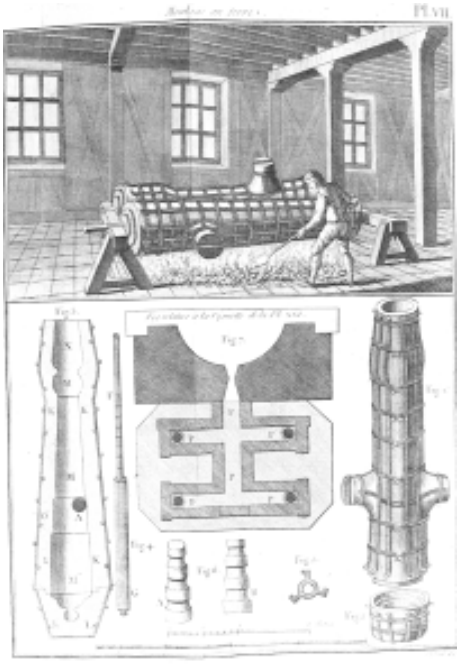


Fig. 11 – G. Monge, op. cit., fonderia di cannoni

perfettamente al corrente dell'opera di Gribeauval; non è altrettanto sicuro che il Monge abbia avuto la possibilità di conoscere l'opera di Acton, anche se questa ipotesi non si può escludere.

La rilevanza di questo libro per la storia dell'ingegneria consiste nel fatto che esso costituisce un documento chiaro e dettagliato di quanto di più progredito vi fosse in Europa, a quel tempo, in tema di cultura tecnica e scientifica: l'opera, infatti, rivela l'esistenza di criteri di progettazione, di fabbricazione e di controllo assai progrediti, di livello qualitativo insospettabile.

L'opera, infatti, rivela l'esistenza di criteri di progettazione, di fabbricazione e di controllo assai progrediti, di livello qualitativo insospettabile. I disegni di cui Acton ha corredato il suo manuale costituiscono, inoltre, dei veri capolavori della comunicazione tecnica (figg. 15, 16, 17 e 18).

La prima rivoluzione industriale, allora agli albori, infatti, già di lì a qual-

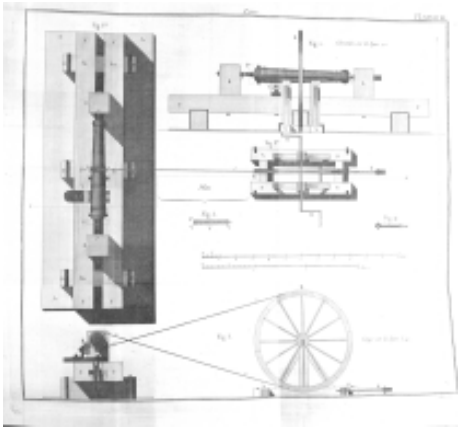


Fig. 12 – G. Momge, op. cit., tornitura di un cannone

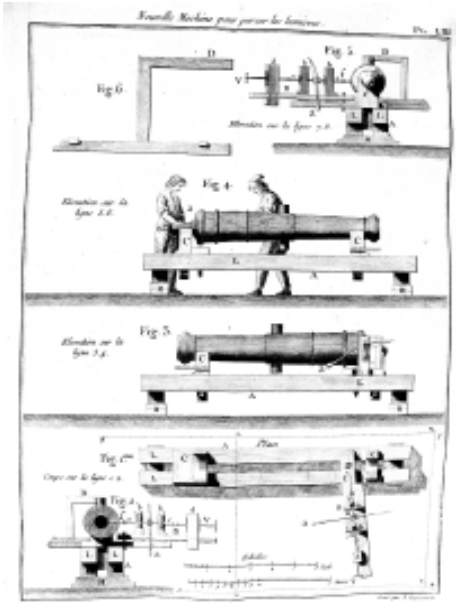


Fig. 13 – G. Monge, op. cit., foratura del focone in un pezzo d'artiglieria di grosso calibro.

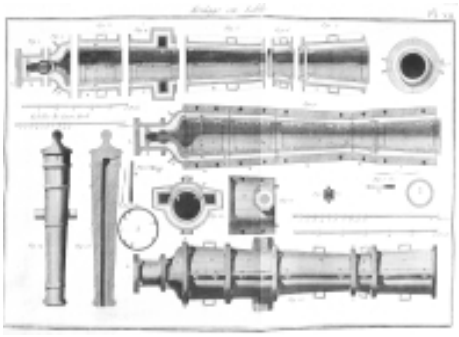


Fig. 14 – G. Monge, op. cit., fonderia di cannoni



Fig. 15 – Frontespizio dell'opera di J. Acton, "Regolamento per l'Artiglieria delle Sicilie

che anno avrebbe tratto indubbi vantaggi dalla disponibilità di una metodologia di disegno, quale particolare documentazione di progetto, esaustiva ed univoca, che di lì a qualche decennio sarebbe divenuta possibile con la pratica del disegno tecnico basato sulle proiezioni ortogonali.

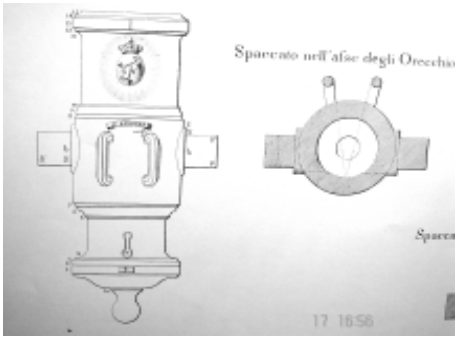


Fig. 16 – J. Acton, op.cit., Obice denominato "Il Borbone"

Si tratta, infatti, di elaborazioni che anticipano con efficacia la rappresentazione mongiana, quella che per i due secoli seguenti avrebbe consentito di redigere progetti realmente costruttivi, precisi e di univoca interpretazione.

Le norme di fabbricazione contenute nel manuale prevedevano una lega di bronzo con 9/10 di rame ed 1/10 di stagno per fusioni massicce dei cannoni, degli obici e dei mortai da 8, mentre per i mortai da 12 e per i petrieri era previsto l'impiego dell'anima, sempre in getti *"per volata",* realizzati in posizione verticale, con la culatta verso il basso. Il regolamento, in linea con le tendenze del tempo, prevedeva la soppressione di tutti gli ornamenti o gioie, ad eccezione del monogramma reale sul rinforzo e del nome del pezzo sulla volata.

I diversi pezzi, infatti, erano denominati con nomi caratteristici del Regno, come "*Il Ferdinando*" per i cannoni, "*Il Borbone*" per gli obici, "*Il Vesuvio*" per il Petriero ed "*Il Siciliano*" per i mortai. Nel 1792 la teoria della rappresentazione, pur se già compiuta-mente formulata e descritta da Monge, an-

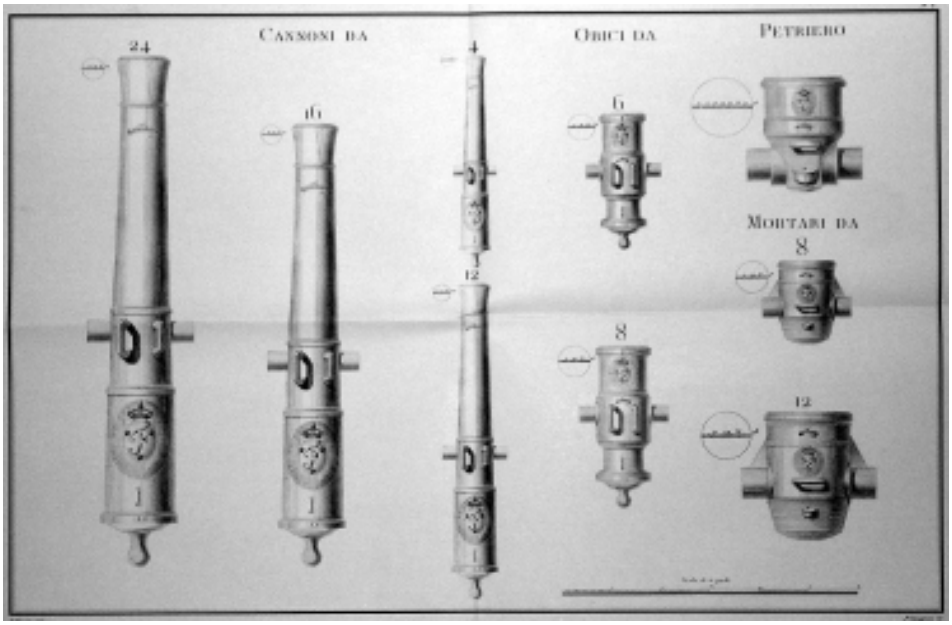


Fig. 18 – J. Acton, op.cit.,tavola contenente l'insieme dei nove pezzi dell'artiglieria borbonica

cora non era stata pubblicata, perché coperta da segreto militare.

In un tale contesto culturale, il libro di Acton comprova che a Napoli, alla fine del XVIII secolo, operavano tecnici in grado di produrre elaborazioni grafiche chiare ed accurate e che esisteva una cultura assai progredita delle tecniche di fonderia, delle lavorazioni meccaniche e del controllo dimensionale. La ristampa del volume sulle artiglierie borboniche, che qui è riproposta, è rivolta a chi sia interessato a guardare alla tecnologia del futuro senza dimenticare il patrimonio di capacità, di esperienze e di duro lavoro ereditato dai nostri predecessori. Tra questi ci pare che vada ricordato l'ingegnere "europeo" Sir John Acton, ministro plenipotenziario di Ferdinando IV di Borbone.

[1] Generale francese, nato ad Amiens nel 1715, morto a Parigi nel 1789. Nel 1757, al seguito del Conte di Broglie fu al servizio di Maria Teresa D'Austria che lo nominò Feldmaresciallo. Fu fatto prigioniero dall'esercito di Federico II di Prussia nel 1762 durante l'assedio di Schweidnitz. Dopo il suo ritorno in Francia fu nominato dapprima luogotenente generale e successi-vamente, nel 1776, ispettore dell'artiglieria francese. Con competenza ed esperienza apportò molte importanti innovazioni tecniche all'artiglieria: ridusse e concentrò le tipologie ed i calibri delle armi, suddivise gli armamenti in base al loro impiego, distinguendo le artiglierie da campagna che rese più mobili alleggerendo e migliorando gli affusti ed accorciando le canne, da quelle d'assedio, da fortezza e da costa a cui riservò i calibri maggiori; rese intercambiabili le bocche da fuoco, gli affusti e le munizioni ed introdusse stabilmente l'uso dell'alzo, delle cariche a cartoccio e dei cassoni ad avantreno.

Giancarlo Principato

Indagine storica sulla criticità del ponte San Lorenzo sul fiume Crati a Cosenza in merito al deflusso delle piene

1. *Premessa*

La Regione Calabria è stata, nel corso dei secoli, terra di dissesti idrogeologici (frane, alluvioni, mareggiate) che, conseguentemente, ne hanno spesso sconvolto l'aspetto e hanno condizionato la vita di migliaia di persone.

Il caso preso in esame in questa nota è quello di Cosenza che, al pari di altri centri urbani, meglio esemplifica i gravi problemi che caratterizzano le aree cittadine in prossimità di tronchi fluviali presenti nel proprio territorio. Per Cosenza, il sistema fluviale costituito dai fiumi Crati e Busento rappresenta addirittura l'asse portante attorno al quale la città è stata edificata e si è sviluppata.

Ed è proprio rispetto al fiume Crati ed in particolare su uno dei ponti che l'attraversano, ossia sul Ponte S. Lorenzo, che si è inteso avviare una indagine storica mirata ad evidenziare come tale infrastruttura abbia costituito nel pas-



Fig. 1 – La città di Cosenza rappresentata in una stampa del Pacichelli del 1703

sato, e continui, ancora oggi, ad essere motivo di preoccupazione per possibile pericolo di esondazione.

Interessante è la documentazione che è stato possibile consultare presso l'Archivio di Stato di Cosenza, che ha offerto abbondanza di materiali a partire dal XVI secolo e che porta a conoscenza dell'opinione pubblica l'estrema pericolosità, per la popolazione della città dei Bruzi, delle esondazioni dei suoi fiumi.

La zona della città più colpita dai numerosi eventi alluvionali è sicuramente quella dello Spirito Santo, come è ben evidenziato dalla denuncia del 1790 del canonico Luigi Maria Greco[1] che, rappresentando le precarie condizioni in cui si trova la Chiesa dello Spirito Santo, afferma "[...] ora la detta chiesa minaccia rovine e da fondamenti, e dalle muraglie, non solo a causa de tremuoti dello scorso anno 1783, ma molto più vien malmenata dal fiume Crati, che da vicino vi scorre portandosene da giorno in giorno quel poco di terreno che la circonda, minacciando così il totale sterminio non solo di essa Chiesa, ma dell'intiero quartiero a quella contiguo".

Così come è molto significativa la descrizione che fa del Crati nel novembre del 1842 l'Ing. Todisco[2]: "[...] umile nella sua origine; ma a misura che più avanza, raccogliendo le acque di Aprigliano, di Pedace e propriamente del fiume Cardone e le altre del Comune di Spezzano, s'ingrossa di molto nel breve corso di circa 10 miglia che arrivando alle adiacenze di Cosenza di già è fiume e diventa abbastanza orgoglioso per essere nocivo ai territori limitrofi e più di tutto all'abitato di Cosenza".

Una illuminata analisi dell'architetto Clausi[3], nel marzo del 1848, offre una chiave di lettura particolarmente significativa delle cause delle frequentissime esondazioni fluviali del Crati.

Nella relazione, inviata alle competenti Autorità territoriali, in merito al progetto e descrizione grafica del nuovo ponte S. Lorenzo per impedire le inondazioni del Crati vengono da questi sinteticamente ed efficacemente individuate sotto forma di "osservazioni preliminari" le cause dei dissesti.

"Tre sono le cause principali de'guasti che il Crati arreca colle sue inondazioni ai quartieri che attraversa, cioè il dissodamento delle terre in pendio [...] la tortuosità del suo letto e l'angustia della luce dell'attuale ponte

S. Lorenzo. [...] non più sufficiente ai bisogni del fiume, il quale venendo come strozzato in quel punto per l'angustia del passaggio, è costretto a rigurgitare, ad elevare il suo pelo naturale, e ad inondare i quartieri circostanti.

Le dimenzioni cardinali dell'edifizio si sono determinate convenientemente all'indole del fiume per quanto l'an permesso le circostanze locali. Si è però riconosciuto indispensabile di rialzarlo per palmi 18 sul livello del ponte esistente. Per la figura del arco si è prescelta una ovale a tre centri come la più atta a facilitare il passaggio delle acque al disopra delle imposte.

La cattiva località relativamente alla giacitura de' due tronchi di strade late-

rali al ponte mi à costretto a confermare il dorso di questo culminante nel mezzo, anzicchè orizontale.[...].

Quello che colpisce nella documentazione archivistica è la perfetta conoscenza dei problemi che erano (e talvolta sono ancora oggi) all'origine dell'estrema precarietà dell'ecosistema provinciale.

In tale contesto acquista rilevanza la documentazione relativa ai dati registrati dal pluviometro di Mormanno e la conseguente interconnessione degli stessi con fenomeni alluvionali verificatisi in particolari zone del territorio provinciale.

La piovosità annuale registrata nel 1915 al pluviometro di Mormanno, in funzione dal 1888, fu di 2421 mm di pioggia, di cui 683 mm concentrati nel solo mese di gennaio, il che vuol dire che poco meno di 1/3 delle precipitazioni atmosferiche si concentrarono in un solo mese[4].

Se si tiene conto di questo dato si colgono meglio le ragioni, diligentemente annotate, in un documento dell'ingegnere capo del Genio Civile di Cosenza[5] del 1897, nella sua analisi e descrizione dei danni alluvionali prodottisi nelle contrade e frazioni del comune di Montalto Uffugo in cui si afferma che: "[...] Tutti questi franamenti avvennero per le copiose infiltrazioni delle piogge continue di quest'inverno, e pel richiamo fatto dalle acque convogliate dai burroni e dai torrenti precitati, nella cui pendenza ogni filo d'acqua diventa un potente roditore. Per tutti i burroni di questo territorio argilloso è necessario l'imbrigliamento ed il fitto rimboschimento delle loro sponde. [...]"

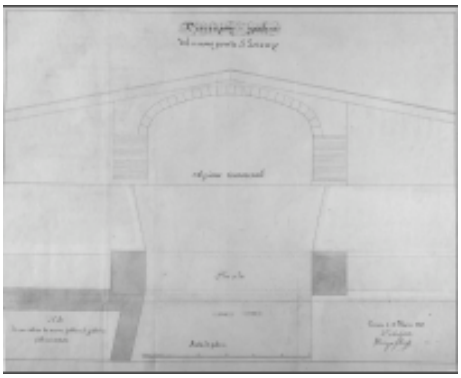


Fig. 2 – Ponte S. Lorenzo: sezione nuovo ponte progettato dall'arch. Clausi nel 1848

Quanto alle ragioni del cattivo corso dei fiumi e delle acque sul sistema montagnoso regionale e, in particolare, sull'altopiano silano, un grande conoscitore di questa subregione, il giudice Zurlo, nel 1792, sottolineava[6]: "[...] Il terreno della Sila generalmente è molto leggiero e miserabile [...]. I fiumi vi scorrono ancora tanto tortuosamente che si perde una gran quantità di terre. Sarebbe facile darle un corso più regolare, tantoppiù che i fiumi sono piccoli, e lungi dal recar danno, potrebbero essere di molta utilità, ma i possessori de' fondi vicini non se ne prendono alcuna cura. [...]" .

Dai dati esaminati si può cogliere l'acutezza delle analisi e il rigore metodologico, attraverso il quale venivano correlati gli eventi alluvionali alle situazioni morfologiche ed ambientali che si andavano delineando anche in rapporto alle modificazioni indotte per effetto delle opere realizzate nel corso degli anni. Un esempio significativo può es-

sere desunto proprio dal caso del ponte San Lorenzo (o ponte della Massa) ritenuto più volte responsabile, per le sue discusse dimensioni, di esondazioni che hanno interessato la parte vecchia della città e che è stato naturalmente terreno di scontro politico e di accesi dibattiti tra le diverse fazioni.

Dalla ricerca storicogiornalistica effettuata emerge che la sua localizzazione, nonchè la tipologia degli interventi posti a base della sistemazione degli alvei del Crati e del Busento, siano stati indubbiamente cause di alluvioni disastrose con gravi conseguenze per le popolazioni.

2. *Il ponte San Lorenzo e l'alluvione del 1959*

Come già evidenziato in precedenza, diverse sono state negli anni le alluvioni che hanno devastato la Calabria e molte volte il ponte S. Lorenzo è stato interessato.

Le più importanti sono state quelle del 1790[1], quella del 14 settembre 1842[7], quella del 30 ottobre 1903[8] a proposito della quale fu elaborata una relazione e un progetto di massima sui lavori necessari a riparare i danni provocati dalla suddetta alluvione nella quale si legge[9]: "[...] lungo la sinistra del Crati le acque sormontando i muri di sponda a monte e a valle del ponte a travata metallica S. Lorenzo, hanno completamente allagato il quartiere chiamato dello Spirito Santo, [...]. Detto ponte in ferro, sebbene sormontato dalla corrente ha resistito, ma anche in questi quartieri le acque hanno asportato dalle case a pianterreno e dai negozi moltissimi oggetti, avendo l'acqua raggiunto l'altezza di 2 metri e depositando melma per l'altezza di più di 50 centimetri."

In questa sede, però, si è inteso porre l'attenzione sull'alluvione del 1959 che, in ordine temporale, è stata l'ultima ad interessare il Ponte S. Lorenzo e l'area circostante e che ha causato i maggiori danni.

Nel mese di novembre del 1959 la Calabria fu colpita da un lungo periodo di generale maltempo a carattere persistente che interessò anche l'Italia e il resto dell'Europa.

Nel corso di questa ondata di maltempo la regione risultò interessata da precipitazioni particolarmente intense nei giorni 12 e 13 e nei giorni 24 e 25 del suddetto mese.

Durante la notte fra il 12 e il 13 novembre si ebbe un violento nubifragio le cui caratteristiche predominanti furono la limitata superficie del nucleo di maggiore intensità ed i valori giornalieri ed orari di pioggia molto alti registrati nella stazione di Giffone (CZ).

In questa località la potenza del nubifragio fu inaudita (in soli 30 minuti vennero totalizzati 90 mm di pioggia). La precipitazione registrata in 12 ore consecutive risulta tra le massime storiche verificatesi in tutta la Calabria. La precipitazione fino a 24 ore consecutive fu di 520 mm.

Durante la notte fra il 23 e il 24 novembre la Calabria fu investita da un ulteriore violento nubifragio proveniente da SudEst, che interessò, in un primo momento, le coste ioniche centro-

meridionali, quindi le pendici silane e l'alto bacino del Crati.

Nei due giorni la regione fu interessata per una estensione pari al 48% (7230 km^2) del suo territorio da precipitazioni superiori a 100 mm[10].

I danni furono ingenti in gran parte della provincia di Cosenza. Grandi frane a Rogliano, dove si lamentarono diverse vittime, Aprigliano, Pietrafitta e in tanti altri centri abitati nel bacino del Crati, nell'alto Jonio cosentino, nel rossanese.

Nell'alto bacino del Crati si ebbero precipitazioni notevoli a Piane Crati, Trenta, Domanico, rispettivamente con piogge giornaliere di 191, 134 e 116 mm in un giorno, che rappresentarono, almeno per le prime due stazioni, i valori più elevati dell'intero periodo di osservazione. Su Cosenza caddero circa 71 mm in 6 ore e 119 mm in 12 ore.

Il bacino del Crati, a monte di Cosenza, subì danni notevoli per effetto delle precipitazioni, subendo intensi fenomeni di erosione e di movimento di massa. Il grande trasporto solido, prodotto dal notevole apporto in alveo di sedimenti, tronchi d'albero e detriti, determinò fenomeni di sovralluvionamento nel tratto urbano nonchè la parziale ostruzione delle luci del ponte S. Lorenzo, che causò, verso le ore 20 del giorno 24, l'esondazione, nel tratto a monte in destra (prima dello stabilimento Tannini di Calabria) ed in sinistra (prima dello stabilimento Mancuso e Ferro), con il conseguente allagamento di tutte le zone basse della Città come si può vedere dalle seguenti foto:



Fig. 3 – Ostruzione Ponte S. Lorenzo del 24 novembre 1959



Fig. 4 – Zona Massa: danni provocati dall'alluvione del 24 novembre 1959

La breve durata della fase di colmo e l'asportazione di tratti di parapetto che hanno favorito il ritorno in alveo delle acque hanno fatto sì che i danni non risultassero più gravi.

La sorveglianza continua e la tempestività dell'allarme e delle misure di emergenza scongiurò la perdita di vite umane.

Furono interessate dall'esondazione tutta la zona da piazza Valdesi allo Spirito Santo e dall'altro lato quella compresa tra la Massa ed il vallone di Rovito. Tutte le strade, i vicoli ed i locali terranei compresi nelle aree inondate restarono, defluite le acque, sotto una coltre spessa di detriti e di fango









Figg. 5, 6, 7, 8 – Zone interessate dall'alluvione

che raggiunse in qualche punto i 2 metri. Risultarono altresì danneggiate le fogne, le strade, interrotte per vari giorni, le opere di adduzione, le opere idrauliche di contenimento e di presidio lungo l'intero tratto cittadino dei fiumi.

Anche il patrimonio immobiliare risultò fortemente compromesso con la distruzione o il danneggiamento di più di un centinaio di negozi e di moltissime botteghe artigiane. Oltre 170 famiglie furono costrette a lasciare i loro alloggi e trovare sistemazioni di fortuna.

Nelle seguenti foto sono rappresentate alcune zone della città alluvionate: La portata stimata dal Genio Civile di Cosenza in corrispondenza del ponte S. Lorenzo fu di circa 720 m^3s^{-1} , mentre le valutazioni del Servizio Idrografico furono più modeste, indicando in 437 m^3s^{-1} la portata in una sezione poco lontana (area sottesa: 132 Km^2) ed in 524 m^3s^{-1} la portata a valle della confluenza con il Busento (area sottesa: 277 Km^2). Nel capoluogo calabrese non si registrava un evento simile dal 1903, anno in cui sia il Crati che il Busento, non ancora regolarmente arginati, arrecarono lutti e disastri alla città.

Tanti giornali nazionali e locali del tempo diedero risalto all'azione distruttiva delle acque.

Di seguito sono riportati alcuni stralci ritenuti più interessanti per l'inquadramento dell'evento.

Il giornale *Cronaca di Calabria* del 29 novembre 1959 titolò così:

"Diecine di miliardi di danni prodotti dal terribile nubifragio che ha sconvolto la Calabria".

Nel corpo del giornale la situazione venne così descritta:

"[...] Intere zone agricole trasformate a pantani dalla furia devastatrice delle acque che hanno visto opere e case andate perdute o rese inutilizzabili. [...]"

Quasi apocalittica fu la descrizione fatta dal settimanale cattolico *Parola di Vita* del 26 novembre 1959, come si evince dal seguente stralcio:

"[...] Per più di trenta ore la pioggia è caduta rovinosamente, tra tuoni e lampi che han dato al 24 Novembre un colore apocalittico.

Il Crati e il Busento hanno rotto gli argini e li hanno superati in vari punti, invadendo la zona dello Spirito Santo, della Massa, via dei Martiri e Lungocrati. Pare che si lamentino alcuni dispersi e forse alcune vittime! [...]"

Naturalmente, in quei giorni, scattò una gara di solidarietà per le famiglie più colpite dall'alluvione che, nonostante i numerosi danni provocati, non intaccò la fede dei cosentini stimolati ad andare avanti anche dall'amatissimo Papa Giovanni XXIII, che comunicò la sua vicinanza e la sua partecipazione al dramma delle famiglie colpite.

Il Mattino di Napoli del 27 novembre 1959 mise in evidenza proprio questo aspetto:

"Tutta Cosenza ringrazia la Madonna del Piliero. [...] Oltre mille persone senza tetto; cinquecento circa, fra alloggi, negozi, magazzini e ripostigli allagati completamente [...] I cittadini di Cosenza ringraziano la Santa Patrona per l'assenza di vittime [...]".

Su toni poetici fu la descrizione del *Corriere delle Calabrie* del 28 novembre 1959:

"Un nubifragio senza precedenti ha seminato rovine e panico / Le acque del fiume con le loro forze disgregatrici spazzavano ogni cosa, portando molti detriti che hanno ostruito il ponte della Massa; qui le acque hanno raggiunto un'altezza spaventevole, in quanto sono arrivate al primo piano, sommergendo magazzini e negozi e parecchie abitazioni [...]".

Non mancarono ovviamente gli scontri politici sulle cause che hanno scatenato una simile rovina. I socialisti accusarono, attraverso il periodico *Parola Socialista*, il Comune di Cosenza, allora amministrato dalla Democrazia Cristiana, per la mancata applicazione della legge speciale.

Ne è testimonianza il seguente articolo apparso sul periodico l'8 dicembre 1959:

"Il ponte di San Lorenzo / È iniziato sulla stampa e in parte dell'opinione pubblica il processo al ponte San Lorenzo ritenuto responsabile unico dell'allagamento dei rioni a destra e a sinistra del Crati. In quanto abbiamo letto e sentito c'è certamente dell'esagerazione perché la responsabilità di quanto è accaduto non può essere attribuita al ponte. Non è improbabile che tra le cause del disastro ci sia anche il ponte, ma non c'è dubbio che si tratti non di responsabilità principale e essenziale. Perciò se il processo si farà il Ponte San Lorenzo dovrà essere rinviato alla competenza del pretore; davanti la Corte d'Assise, a nostro avviso, devono esse-

re rinviati altri imputati [...]".

Una descrizione più precisa e dettagliata di quei terribili giorni fu pubblicata sulla *Gazzetta del Sud* e che viene di seguito riportata:

"Il deflusso delle acque viene ostacolato dai pilastri troppo accostati del S. Lorenzo. [...] Ma cosa è accaduto nella serata di martedì scorso? La spiegazione si presenta sufficientemente chiara a coloro che osservino una pianta planimetrica della città: difatti l'alveo del Crati nella parte a NordEst della vecchia città, con gli argini costruiti nel 1914 e il prolungamento eseguito alcuni anni fahanno un sufficiente spazio, atto a dare sfogo a qualsiasi volume d'acqua; mentre all'interno e nella parte più vecchia dell'abitato per la naturale conformazione urbana avvicendatasi, nel corso dei secoli, per uno spazio ristretto, ha di necessità dovuto assumere un letto più limitato che in alcuni punti non supera i dieci metri. Ora due fiumi della portata continua e soggetti ad un ingente aumento volumetrico, a causa del loro carattere torrentizio, che raccolgono lungo il loro corso una diecina di piccoli affluenti [...] hanno contribuito in poche ore ad aggravare la situazione e si sono prodotti crolli ed allagamenti. [...] Chiunque abbia visto il ponte S. Lorenzo (o della Massa) prima dell'inondazione si sarebbe reso agevolmente conto che stante il ristretto spazio tra l'uno e l'altro pilastro (appena pochi metri), nel caso di un aumento della portata dell'acqua esso avrebbe potuto costituire una pericolosa ostruzione al deflusso. [...]".

3. Conclusioni

Oggi il ponte San Lorenzo si presenta così:



Fig. 9 – Stato attuale del Ponte S. Lorenzo

È evidente l'insufficiente luce libera tra l'alveo del fiume e l'intradosso del ponte così come è ancora critico lo sbocco del Vallone di Rovito, a monte del Ponte, quasi sempre parzialmente ostruito.

La situazione critica dei corsi d'acqua Crati e Busento e in particolare del manufatto in oggetto è stata affrontata nello "Studio preliminare del Progetto per la realizzazione del Parco fluviale dei fiumi Crati e Busento"[11] fatto redigere dall'Amministrazione Comunale di Cosenza nel 1990 nonchè nel Progetto Esecutivo di un primo lotto consegnato nel 1994[12].

In tale progetto si sottolineava la necessità di affrontare in modo sistematico ed organico il problema del rischio di esondazione nella città di Cosenza attraverso la realizzazione di interventi nel breve e medio periodo che venivano descritti in apposito paragrafo.

Si evidenziava la possibilità che nel tempo si possa verificare una portata straordinaria, con un tempo di ritorno

maggiore di quello rispetto al quale sono stati progettati gli argini e con pericolo di tracimazione degli stessi.

In prima approssimazione utilizzando un semplice modello di moto permanente basato su una geometria approssimata dell'alveo, limitatamente al tronco fluviale interessato dal primo lotto esecutivo, compreso tra Guarassano e lo Spirito Santo, si è valutato che portate con un periodo di ritorno di 100 anni danno luogo a valori dell'ordine di 300÷320 m^3s che risultano critiche già intorno alla confluenza con il torrente Caricchio a monte del Ponte S. Lorenzo, transitando con pochi centimetri di franco e in condizioni ipotetiche di sezione non parzializzata da eventuale sviluppo di vegetazione.

Margini che diventano inesistenti considerando piene con periodi di ritorno superiori a 100 anni.

Nello stesso progetto veniva ancora una volta evidenziata la grave situazione idraulica rappresentata dal Ponte S. Lorenzo, la cui quota di impalcato inferiore è più bassa della quota di coronamento della limitrofa arginatura ed inoltre una non continua manutenzione potrebbe dare vita ad una vegetazione spontanea che ne parzializzerebbe ulteriormente la luce.

Da quanto evidenziato risulta confermato che la situazione richiederebbe l'avvio immediato di un'azione organica e sistematica di riduzione del rischio di inondazione nel centro abitato della città di Cosenza con priorità assoluta per l'area dello Spirito Santo limitrofa al Ponte S. Lorenzo.



Fig. 10 – Sbocco Vallone di Rovito



Fig. 11 – Criticità del Ponte S. Lorenzo

Del resto la situazione di criticità è stata anche evidenziata dal P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico) elaborato dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria come si evince dalla seguente planimetria.



Fig. 12 – Aree soggette a pericolo di esondazione per come evidenziate dal P.A.I. della Regione Calabria

[1] Archivio di Stato di Cosenza, *Notaio Casini Giovanni*, Cosenza, n. 299, 1800, c. 2 (allegato all'atto del 18 giugno 1800). Si ringrazia l'Archivio di Stato di Cosenza per la disponibilità e la collaborazione fornita.
[2] ASCS, Comune di Cosenza, b.32, f. 254 – 1842.
[3] ASCS, Intendenza di Calabria Citra, Opere Pubbliche Comunali, b. 13, fasc. 289 1848
[4] ASCS, *Genio Civile, Bonifiche*, b. 64, fasc. 2, 1925.
[5] ASCS, *Genio Civile, Danni Alluvionali*, b. 20, fasc. 162, 26 febbraio 1897.
[6] ASCS, *Demanio Silano*, b. 72, f. 415 1792
[7] ASCS, *Comune di Cosenza*, b. 32, fasc. 251, 27 settembre 1842.
[8] ASCS, *Prefettura*, Affari Generali, b.1045, 1903.
[9] ASCS, *Genio Civile, Danni alluvionali*, B.20, fasc. 123, 2 agosto 1906.
[10] D. Caloiero, T. Mercuri, *Le alluvioni in Calabria dal 1921 al 1970*, CNR IRPI, Cosenza 1980.
[11] Amministrazione Comunale di Cosenza, Progetto per la realizzazione del Parco fluviale dei fiumi Crati e Busento – Studio Preliminare, 1990.
[12] Amministrazione Comunale di Cosenza, Progetto per la realizzazione del Parco fluviale dei fiumi Crati e Busento – Progetto esecutivo 1° Lotto, 1994.

Maurizio Boriani, Alberta Cazzani

L'ingegneria stradale prima della V.I.A.: le infrastrutture viarie storiche dal XVIII al XX secolo, monumenti nel paesaggio e per il paesaggio

Tra tutte le opere pubbliche, le grandi vie di comunicazione rappresentano quelle di maggiore complessità e impegno, non solo dal punto di vista tecnico-costruttivo ma anche da quello politico-amministrativo. Non si tratta infatti solo di superare erti pendii o larghe vallate, di scavalcare grandi fiumi o di perforare montagne: occorre anche governare gli espropri dei terreni necessari, definire accordi con le popolazioni insediate lungo i percorsi, impiegare con profitto una grande quantità di forza lavoro.

Non è un caso che, anticamente, i punti di partenza e di arrivo delle grandi strade erano segnalati da opere celebrative (archi monumentali, cippi, lapidi, ecc.) che esaltavano la difficoltà dell'opera realizzata, il suo valore civile (e militare) e la lungimiranza politica del suo committente. Anche alcuni punti di particolare importanza (i valichi, le gallerie, i ponti) erano spesso sottolineati da monumenti, iscrizioni, colonne votive, per celebrare l'opera realizzata, per orientamento e per protezione del viaggiatore. Una volta terminata, la strada doveva essere tenuta in buono stato, resa sicura, servita da funzioni di supporto al viaggiatore: case cantoniere, ospizi, stazioni di posta, alberghi, magazzini e l'organizzazione logistica conseguente.

È naturalmente nei territori di più difficile accesso, le montagne e, in particolare, le Alpi, che le opere di ingegneria stradale si fanno più impegnative e che le strutture di supporto sono più frequenti e meglio organizzate: numerose incisioni documentano l'arditezza di muri di sostegno, ponti e gallerie e la presenza lungo la strada di ospizi e ricoveri. Si tratta di stampe di cui vi era grande richiesta da parte dei viaggiatori del *Grand Tour,* soprattutto a partire dal XVIII secolo: in esse si può leggere il significato che i contemporanei davano alle strade e alla loro percorrenza, nonché l'evoluzione di tali significati nel corso del tempo e in rapporto alla natura della strada illustrata.

Le immagini più antiche e, in genere, quelle che illustrano i tracciati stradali antecedenti alla rivoluzione stradale promossa in età napoleonica, si soffermano spesso a documentare la difficoltà e la pericolosità dei percorsi: piccoli ponti in pietra senza sponde o precarie passerelle in legno che scavalcano profonde forre, stradine a strapiombo su ripidi pendii, incidenti di viaggio. Il paesaggio appare in esse, più che grandioso, spaventoso. Descrivendo l'antica strada del Sempione Georges Mallet scriveva: "Questa strada era così disagevole che era poco frequentata dai

viaggiatori quando io la feci nel 1785. Le persone che come Rousseau, amano avere le vertigini, non avevano altro da fare allora che fare la strada del Sempione a staffetta per soddisfare il loro gusto"[1].

Forte è il contrasto tra i paesaggi ridenti del fondovalle, popolati da operosi contadini e quelli della via dei monti: imboccature di valli nebbiose, che fanno presagire niente di buono, ripide salite in luoghi deserti e pericolosi. Le immagini mostrano una natura ostile, dalla quale si rifugge e nella quale le opere degli uomini sembrano insignificanti e precarie.

Le cose cominciano a cambiare quando con le guerre napoleoniche, portate su tutto lo scacchiere europeo, si richiede una radicale riforma del sistema delle comunicazioni stradali, soprattutto nel settore occidentale delle Alpi, a sostegno dei collegamenti con l'Italia. Non è un caso che Napoleone, nell'ordinare la realizzazione della nuova strada del Sempione, scrive: "Le chemin depuis Brigue à Domo d'Ossola sera rendu praticable pour les canons"[2].

Esemplare illustrazione del nuovo atteggiamento è riscontrabile in una celebre opera descrittiva dei lavori svolti al Sempione e del nuovo e moderno itinerario stradale, il *Voyage pittoresque de Genève à Milan par le Simplon*, edito a Parigi per i tipi di P. Didot l'Aîné nel 1811.

Le immagini della nuova strada, soprattutto nel tratto alpino, appaiono qui ben diverse rispetto a quelle che illustravano gli itinerari di antico regime: una carreggiata ampia, costeggiata da paracarri disposti a distanze regolari, pendii lievi e, soprattutto, l'esaltazione dell'opera di ingegneria: monumentali muri di sostegno, ponti dall'apparenza ben solida, ampie gallerie. Non più la piccolezza dell'opera dell'uomo nei confronti della natura, bensì la celebrazione di una Natura piegata ad essere umana grazie alla scienza e alla tecnica.

A proposito dei lavori per una delle più importanti opere realizzate sul versante italiano del Sempione, la galleria di Gondo, scrive ancora Mallet: "Ci immaginiamo quello che doveva provare il viaggiatore o l'abitante dei villaggi vicini che la sorte conduceva di notte in questi luoghi; camminando in una valle deserta, all'improvviso il rumore



Fig.1 – Il ponte di Banten (J.J. Schuechzer, 1708). L'antica strada sovrastata dalla immensità di una natura ostile

dello scalpello viene a mescolarsi con quello del torrente; uomini sospesi alle rocce le minano alla luce delle torce e il fracasso delle esplosioni della polvere da sparo fa risuonare le eco moltiplicate di queste montagne. Io penso che, nel prossimo poema epico, l'autore farà entrare il suo eroe agli inferi attraverso la valle di Gondo"[3].

Nicolas Céard, l'ispettore in capo dei lavori del Sempione, era perfettamente consapevole che l'opera eseguita non dovesse essere giudicata solo dal punto di vista della tecnica ingegneristica: così il Ponte di Crevola è *aussi etonnant que pittoresque*, il Ponte sul torrente Bougnane è definito *considérable* e, in generale, *l'Ecole des Ponts et Chaussées* ha contribuito potentemente ad "abbellire la Francia e a facilitare le sue comunicazioni"[4].

Il nuovo tracciato doveva infondere sicurezza: lungo il lago Maggiore "un muro in conci regolari…delimita in tutta la sua lunghezza la strada verso il lago; questo stesso muro è coperto e coronato da lastre in granito a spacco perfettamente tagliate…che hanno anche il vantaggio di rassicurare i viaggiatori"[5]. Allo stesso modo, lungo la strada costiera del lago Lemano viene realizzato "un bel parapetto, per prevenire gli incidenti e tranquillizzare il viaggiatore, che … non può percepire che cammina su di una cornice a picco sul fondo di un lago profondo 992 piedi"[6].

Nella sua memoria Céard non trascura neppure il fatto che il nuovo percorso consente di ammirare il paesaggio: "dalla bella terrazza che la nuova strada forma in questi luoghi, è in vista l'altra costa del bel lago di Ginevra …Questa vista presenta degli aspetti naturali più gravi, più severi, ma non meno magnifici di quelli del lago Maggiore…"[7].

L'ingegnere era peraltro consapevole dell'importanza del compito affidatogli: nel suo progetto "L'arte doveva fare tali sforzi in questi luoghi, per non essere troppo indietro rispetto alla natura, che sembrava qui avervi a piacere riunito tutto quello che essa possiede per incantare gli occhi"[8]. Il *Voyage pittoresque* registra puntualmente il nuovo significato della via del Sempione: accanto alle opere di ingegneria stradale sono documentati i paesaggi che la strada attraversa e che, proprio grazie alla strada, possono essere osservati nella loro maestosità in tutta sicurezza. È evidente nelle vedute del *Voyage* il segno di quell'estetica del sublime e del pittoresco, che tanto aveva influenzato il pensiero del XVIII secolo, e di cui la nuova strada consentiva ora di fare esperienza anche al meno impavido e al più comodo dei viaggiatori. Le vette più inaccessibili, le grandi e impetuose cascate, i ghiacciai dalle nevi eterne diventano così soggetti preferiti della pittura di paesaggio, in aggiunta alle amene vedute dei borghi e dei campi di fondovalle, delle rive dei laghi o della pianura.

Il contrasto tra l'ambiente maestoso ed aspro della montagna, sublime appunto, e la quiete pacifica della pianura, che finalmente si raggiunge dopo il lungo cammino, costituisce proprio una delle esperienze più ricercate dai nuovi



Fig.2 – Il ponte di Crevola (R. von Luternau, 1805). La nuova strada napoleonica del Passo del Sempione si impone con la sua monumentalità nel paesaggio

viaggiatori, i primi *touristes*, che percorreranno il Sempione in tutta sicurezza e con una nuova attenzione per il paesaggio: "La natura non offre contrasto più evidente di quello che attende il viaggiatore sulle alture di Crevola: ai passaggi più stretti, alle valli più selvagge, agli aspetti più spaventosi, al rumore assordante di un torrente impetuoso, succede subitamente una vasta piana, ben coltivata, disseminata di abitazioni…una calma, una sorta di tranquillità magica…"[9]. Nelle vedute che illustrano il *Voyage pittoresque* appare evidente come la strada non sia più inserita nel paesaggio per necessità, costretta ad adattarsi agli impervi pendii e al salire e scendere di valli e di crinali: qui la strada fa essa stessa paesaggio e, al contempo, consente di fruire in comodità e sicurezza dei paesaggi che percorre. Lungi dai progettisti l'idea di inserirsi a basso impatto nel paesaggio: all'opposto, si tratta di costruire un nuovo e più appassionante paesaggio attraverso l'esaltazione del dominio dell'uomo sulla natura, ormai consentito dall'avanzante rivoluzione industriale.

Ci sarà chi addirittura rimpiangerà il vecchio percorso, essendo il nuovo troppo facile e sicuro: "le rocce della Meiellerie, che si incontrano a metà cammino tra Evian e Saint-Gingolph, hanno perso, a seguito dei lavori per la nuova strada, ogni loro valore pittoresco"[10].

Pochi anni dopo la conclusione dei lavori per il Sempione tocca alla restaurata amministrazione austriaca della Lombardia intraprendere la realizzazione di due nuove grandi vie alpine: le strade dello Spluga (1818-20) e dello Stelvio (182025). L'impresa, affidata all'ingegner Carlo Donegani, non era da meno di quella del Sempione, anche se qui la strada fu dimensionata su di una larghezza di soli 5 metri rispetto agli 8 della via francese: si trattava infatti di valicare due passi ben più alti, rispettivamente 2117 e 2759 metri s.l.m. contro i poco più di 2000 del Sempione.

Per raggiungere comodamente da Milano i due itinerari si sarebbe per di più resa necessaria l'apertura di una nuova strada lungo la sponda orientale del lago di Como (1824-31), per ampi tratti caratterizzata da rocce scoscese a picco sull'acqua.

Anche in questo caso le nuove vie apparvero ai contemporanei audaci e spettacolari al contempo, e anche in questo caso non mancarono descrizioni entusiaste e un gran numero di stampe che divulgarono presso il grande pubblico sia le opere eseguite che i paesag-

gi che esse attraversavano e contribuivano al contempo a creare.

È interessante rileggere quanto scrive Splendiano Morselli a proposito della strada tra Lecco e Colico vista dal lago durante la sua costruzione: "Noi passando in barca, cominciammo a veder segnata, alta un metro sopra la maggiore piena, una linea bianca, che seguitando anche dove la rupe scendeva a picco…ci faceva sorridere increduli …si spiana, si colma, si taglia, si fora. La giornata consumavasi a fare buchi da mine, a caricarle: venuta la sera brillavansi: e lo sbigottito navigante e il lontano abitatore vedevano, udivano centinaja di colpi…romper le tenebre e il silenzio"[11]. Anche in questo caso è esaltata l'opera dell'ingegno umano, capace di forzare la Natura e di piegarla ai suoi bisogni. Parole ancora più entusiastiche si spenderanno per le strade dei passi montani. Così De Goehausin descrive la via dello Spluga in una lettera del 1821, indirizzata al Presidente del Governo Conte di Strassoldo: "…Col progredire del cammino cresce sempre nel viaggiatore la sorpresa di questa strada meravigliosa nella cui esecuzione difficoltà di ogni sorta si ebbero a superare, ma quando si giunge al comune di Spola la sorpresa diventa stupore. Un erto monte si affaccia al fianco destro che presenta il meraviglioso aspetto di una sovrastante strada fatta a replicati andirivieni, sostenuti da forti muri tutti murati da sbarre da lato dei sottoposti precipizi, e protetta da tre gallerie fabbricate nel monte nei luoghi minacciati dalle valanghe"[12].



Fig.3 – La cascata di Pianazza – Passo dello Spluga (J. Siegfried, 1840 circa). Il tracciato stradale a ripidi tornanti è contemporaneamente una spettacolo degno di osservazione e un balcone panoramico sul paesaggio alpino

Quello che però è significativo è tuttavia anche un altro aspetto della realizzazione di queste opere: il ruolo che esse giocano nel paesaggio e la consapevolezza di questo già presente sia nei progettisti che nei primi viaggiatori che le percorrevano. Continuando la descrizione della via lungo il lago di Como, Morselli scrive: "Dapertutto la fiancheggia il parapetto, e volevasi anche orlarla di alberi, se il militare non si fosse opposto. Però da tratto a tratto fecero belle piazzette, con alberi di diverse essenze; poi spesse fontane; parapetti, tombe, ponti, il tutto è della costruzione più studiata: poi qua un avanzo di torre, lasciato in piedi per l'effetto pit-



Fig.4 – La valle dell'Adda dall'uscita della galleria di Bagni di Bormio (J.J. Meyer, 1831). Anche in questo caso la strada costituisce un nuovo punto di osservazione privilegiato sul paesaggio.

toresco: là le gallerie disposte in modo che, come un cannocchiale, guidino l'occhio a fissare in lontananza un villaggio, un santuario, una vallea; le finestre che vi sono spalancate spianano innanzi veri panorami…"[13]. Ancora più esplicito il commento che Giovanni Donegani, riporta a proposito delle opere progettate dal padre in corrispondenza del *passaggio dei Bagni di Bormio* lungo la strada dello Stelvio: "Il complesso di questo lavoro presentasi, prima di giungervi, in sempre variate fogge. Or scorgesi prospetticamente il ponte, e non può comprendersi né dove esso comunichi, né di qual strada sia in continuazione, che vedesi soltanto a ricomparire a qualche distanza dopo il costone: ora vedesi mezza apertura di galleria, ma non si comprende qual forma e qual direzione essa abbia: ora nuovamente occupata la porzione di apertura che scorgevasi, solo ne ricompare una porzione sull'altro lato…Questo variar d'aspetto nel mutar di posizione è prodotto da un masso di rocco piramidale, isolato, che trovasi alla sinistra poco prima dell'imboccatura della strada. Quando però giungesi sulla direzione del ponte, scorgesi in linea retta la galleria in oscure pareti, e la parte principale di strada successiva sino al risvolto, ossia al principio della valle del Braulio"[14]. In un recente saggio Ornella Selvafolta paragona questa descrizione dell'opera del Donegani alla prassi del progetto paesistico del parco all'inglese, che pochi anni prima Ercole Silva aveva divulgato in Italia[15].

Puntualmente, come per il Sempione, pittori ed incisori si prenderanno l'incarico di illustrare le nuove spettacolari strade: tutti i punti più significativi, sia per l'arditezza delle opere eseguite, sia per la magnificenza dei paesaggi attraversati e soprattutto osservabili dalla strada saranno documentati e divulgati in tutta Europa, contribuendo in modo decisivo alla fama di questi itinerari alpini, degne porte all'agognato paesaggio mediterraneo che i viaggiatori del *Grand Tour* andavano ricercando[16]: innumerevoli relazioni e guide di viaggio, entusiasticamente descrivono l'itinerario compiuto. Uno per tutti il commento allo Spluga che Rodolphe Toepffer riporta nella sua celebre guida: "…lo Spluga compete, da tutti i punti di vista, col Sempione ed ha forse il sopravvento su di esso per i suoi magnifici contorni e per le sue immense gallerie; è, ci sembra il valico degli artisti. Sul versante italiano, i luoghi non fanno *veduta*, ma *quadro* e si crederebbe, in mille località, che Poussin abbia visitato questi luoghi"[17].

I grandi passi alpini del Sempione, dello Spluga e dello Stelvio costituiranno il prototipo di un approccio dell'ingegneria stradale di montagna che sarà in grado di reggere ai traffici per tutto il XIX secolo e per alcuni decenni del XX (una modernizzazione della strada del Sempione avverrà solo nel 1959; molti tratti delle strade dello Stelvio e dello Spluga sono ancor oggi quelli tracciati dal Donegani). Ad altri compiti si dedicherà peraltro, nelle Alpi, l'ingegneria stradale: la costruzione dei grandi trafori, grazie ai quali si sono di molto semplificati i collegamenti tra i due versanti, ma si è banalizzato un tragitto un tempo orribile e ricercato al contempo. Le strade di passo si sono oggi ridotte a percorsi turistici o a collegamenti locali, mentre i grandi flussi di merci e di veicoli sono supportati dalle gallerie autostradali e ferroviarie. Resta tuttavia l'orgoglio per la grande opera stradale ottocentesca, come testimoniano le innumerevoli cartoline postali (le eredi povere delle antiche stampe) che documentano, in vedute aeree, il susseguirsi dei tornanti. Sintomatica, sino a non molti anni fa l'esaltazione della motorizzazione privata che, grazie alla strada, consente a chiunque di raggiungere le alte quote dei passi alpini: in alcune cartoline degli anni '60 del '900 è ritratta la fila ininterrotta di automezzi che risalgono lentamente i tornanti dei passi montani, immagine considerata degna di essere immortalata ed inviata a parenti ed amici per dire, con malcelato orgoglio: ho valicato anch'io il grande passo.

Nel periodo tra le due Guerre, con lo sviluppo della motorizzazione privata, si assiste in Italia ad una nuova fase del processo di modernizzazione del sistema stradale, in particolare nelle zone appenniniche e costiere che necessitavano di un adeguamento alle nuove esigenze della viabilità. È soprattutto lungo le impervie zone costiere dei laghi e dei mari che si realizzano alcune delle opere di maggiore impegno aprendo nuovi tracciati o più antichi percorsi.

Una delle realizzazioni più significative di questo periodo è quella del tratto da Gargnano a Riva della Gardesana Occidentale, costruita nel 1929-31 per collegare direttamente il bresciano con il Trentino e il Brennero.

La strada, realizzata in condizioni orografiche particolarmente difficili, costituisce uno dei più rari e interessanti documenti italiani di moderna stradaparco strettamente integrata con l'ambiente naturale[18].

L'ingegner Riccardo Cozzaglio, progettista della strada, si era posto l'obiettivo di realizzare un percorso che, oltre a garantire una sede agevole per il traffico, fosse in grado di rivelare al turista le bellezze della costa.

La nuova via, con il susseguirsi di gallerie scavate nella dura roccia e i nuovi spettacolari panorami che consentiva di scorgere, entusiasmò a tal punto da essere definita, "la più bella strada d'Europa".

Il percorso era caratterizzato da numerosi *manufatti*: ponti, tombini, sovrappassi, gallerie artificiali, muri di sostegno, piazzole di sosta e parapetti.



Fig. 5 – La strada Gardesana Occidentale in una foto attuale. È evidente la perfetta integrazione tra il tracciato viario e l'arredo vegetale appositamente progettato

Queste opere, ad eccezione dei parapetti e dei rivestimenti in galleria, furono previste in calcestruzzo e cemento, mentre i parapetti si realizzarono in muratura di pietrame e i rivestimenti delle gallerie in blocchetti di calcestruzzo di cemento. Paracarri e cippi erano "in scheggioni di pietrame ricavati dagli scavi e lavorati a scalpello".

Si realizzarono gallerie per una lunghezza complessiva di km 5,350 circa, alcune delle quali illuminate naturalmente da ampie aperture praticate nella roccia verso l'esterno: "Di galleria in galleria, imboccante ciascuna un paesaggio, strabiliante, si ha l'impressione di un immenso cannocchiale... Ogni apertura è l'occhio di un belvedere"[19]. Ne risultò quella che fu descritta come una "balconata delle meraviglie", "strada quanto mai incantevole, tracciata quasi all'altezza dell'acqua azzurra del lago e sovente sospesa su prore di rupi, corridoi belvedere dagli interminabili rettifili fuggenti dalle svolte dolci, sinuose"[20].

Seguirono negli anni successivi (1932-36) i lavori di rimboschimento e piantumazione di specie ornamentali su progetto dell'ingegnere forestale Giulio Angelini, con la messa a dimora di oltre 250.000 alberi, in particolare cipressi lungo il lago e pini neri sui pendii superiori[21]. Le piantagioni non servivano al solo consolidamento dei pendii: "...al fine tecnico-economico del miglioramento del regime idraulico del versante e della valorizzazione di una zona particolarmente adatta alla coltura forestale di specie pregiate, è venuto ad aggiungersi il non meno importante fine estetico-turistico dell'abbellimento del versante medesimo, fine che soltanto può raggiungersi col restituire alle non poche zone ora brulle e cespugliate, un bel manto boscato, unico degno ornamento alla bellissima nuova strada…"[22].

Ne risultò una strada che viene ancora oggi considerata tra le più belle d'Italia, sia per chi la percorre godendone le vedute panoramiche immerso in una vegetazione progettata, ricca e varia; sia per chi la osserva dal lago, da dove si nota una serie di manufatti (ponti e gallerie in particolare), vere e proprie opere d'arte, ben integrate nel contesto naturale della ripida costa, comparendo e scomparendo tra boschi di conifere, agrumeti e oliveti che si alternano per

tutto il percorso. Diverse altre strade, basate su analoghe concezioni, furono realizzate negli stessi anni, come documentano due belle riviste del tempo: *Le strade* e *Le vie d'Italia*, edite, non a caso dalla allora denominata Consociazione Turistica Italiana. Tra queste, meritano di essere citati diversi tratti della gardesana orientale, la strada della sponda occidentale del lago di Iseo, la via Aurelia tra Sanremo e Ventimiglia.

Sia le ormai antiche strade alpine che le più recenti vie lungo le coste dei laghi e dei mari italiani rappresentano un contributo significativo alla storia dell'inge-gneria ma anche a quella dell'architettura del paesaggio. Meriterebbero quindi di essere preservate ponendo attenzione al loro valore di bene culturale, limitando gli interventi di modernizzazione a quelli strettamente necessari o realizzando opere di miglioria ponendo particolare attenzione al loro valore paesaggistico. Purtroppo raramente si è praticata una tale politica: adeguamenti progettati con fini esclusivamente utilitari o radicali trasformazioni hanno spesso alterato il disegno originario; talvolta, come nel caso di lunghi tratti della gardesana occidentale o di porzioni delle strade dello Spluga e dello Stelvio, i tracciati storici sono stati dismessi e lasciati in abbandono. Con poca spesa avrebbero potuto essere conservati, se pure declassati ad un uso per un traffico lento o pedonale. Privi invece di manutenzione, situati in ambienti facilmente sottoposti a fenomeni erosivi o franosi, anche questi tratti stanno perdendosi: si perderà con essi una parte importante della storia di un'ingegneria stradale che, molti decenni prima della Valutazione di Impatto Ambientale, aveva saputo ben integrare l'opera tecnica con l'attenzione per il paesaggio.

[1] G. MALLET, *Lettres sur la route de Genève à Milanpar le Simplon,* cit. in J.P.Haldi*, Voyagers et diligences à travers le Simplon,* in AAVV*, Voyage pittoresque de Genève à Milan par le Simplon*, Bern, 1994, pp.11.

[2] Cfr. art.3 dell'*arrêt* del 7 settembre 1800, cit. in F. BARBEY*, La route du Simplon*, Genève, 1906.

[3] Cit. in N. CÉARD , *Mémoire et observations historiques et critiques sur la route du Simplon*, Paris, 1820, p. 31

[4] N. CÉARD*, op.cit*., pp. 33-34.

[5] Ivi, p. 35.

[6] Ivi, p. 37.

[7] Ivi, p. 38.

[8] Ivi, p. 35.

[9] *Wiews to illustrate the Route of the Simplon*, London, 1822.

[10] RAOUL-ROCHETTE, *Lettres sur la Suisse, écrites en 1819, 1820 et 1821*, Paris, 1828.

[11] S. MORSELLI, *La Valtellina. La strada militare e l'Adda descritte da un morto*, in *Grande Illustrazione del Lombardo-Veneto*, Milano 1859, pp. 169-170.

[12] ARCHIVIO DI STATO DI MILANO, Fondo della Presidenza del Governo, Milano,13 novembre 1821, cit. in AAVV, *Lo Spluga, un passo per l'Europa*, Comitato italiano per il traforo ferroviario dello Spluga, Milano, 1982, p. 15.

[13] S. MORSELLI, *op.cit.,* p. 170.

[14] G. DONEGANI, *Guida allo Stelvio ossia Notizie sulla nuova strada da Bormio all'incontro colla postale di Mals*, Milano, 1842, pp. 29-30.

[15] E. SILVA, *Dell'arte dei giardini inglesi*, Mila-

no 1813. Cfr. O. SELVAFOLTA, *Il paesaggio tecnico come un giardino. "Le belle linee" e le "scene variate" nelle strade dello Spluga e dello Stelvio*, in G. GUERCI (a cura di), *Giardini e parchi di Lombardia. Dal restauro al progetto*, Cinisello, 2001, pp. 39-50.

[16] Cfr. in particolare: J.J.MEYER, *Voyage pittoresque sur la nouvelle route depuis Glurns en Tyrol parle Col de Stilfs (Passo di Stelvio) par la Valteline, le long du lac de Come, jusqu'à Milan,* Zurich, 1831.

[17] R. TOEPFFER, *Voyages en zig-zag ou excursions d'un pensionnat en vacances dans les Cantons Suisses et sur le revers italien des Alpes*, Paris, 1844, p. 206.

[18] Per approfondimenti si rimanda a A. CAZZANI, *La Gardesana Occidentale: una parkway italiana da conservare e valorizzare*, in G. GUERCI, L. PELISSETTI, L. SCAZZOSI (a cura di), *Oltre il giardino. Le architetture vegetali e il paesaggio. La storia e la percezione del paesaggio. Metodologia, strumenti, fonti per l'analisi e la lettura del paesaggio*, Firenze,Olski, 2003, pp. 129-144.

[19] V. GIGLIO, *La Gardesana Occidentale*, in: "Cultura Moderna", Milano, agosto 1932.

[20] M. RAMPERTI, *Gardesana Occidentale*, in: "Brescia", Numero speciale dedicato alla Gardesana Occidentale, anno IV, ottobre 1931, Tipografia Apollonio, Brescia, 1931.

[21] G. ANGELINI, *Progetto di sistemazione idraulico-forestale della Gardesana Occidentale nei Comuni di Tignale - Gargnano - Toscolano Maderno e Gardone Riviera. Relazione tecnica,* Ministero dell'Agricoltura e Foreste, Milizia Nazionale Forestale, Comando Coorte Brescia, Brescia, 1931, p. 2.

[22] G. ANGELINI, *Progetto di rimboschimento della Gardesana Occidentale. Relazione,* Ministero del-l'Agricoltura e Foreste, Milizia Nazionale Forestale, Comando Coorte Brescia, Brescia, 1932.

Francesco Rispoli

Il porto borbonico di Ischia

Ad un secolo e mezzo dal taglio del tombolo sabbioso che separava dal mare l'originario lago, il porto di Ischia è oggi uno dei più trafficati di Italia, certamente il primo in rapporto al numero degli abitanti. La qualità del suo specchio acqueo che riempie una caldera vulcanica non ha bisogno di presentazioni. Né vale la pena indugiare sul fatto che esso sia il terminale di un movimento turistico valutato in oltre il 30% di quello complessivo della regione.

Qui si intende solo ripercorrere, sulla scorta dei documenti consultati (per i quali si rinvia alla nota n.1), la storia del progetto e dell'esecuzione dei lavori anche in rapporto alle questioni che oggi si pongono per corrispondere alle due divergenti istanze di recuperarne la originaria alta qualità di manufatto e di adeguarlo ad esigenze cresciute oltre qualsivoglia misura senza stravolgerne il carattere di esemplare opera dell'arte degli ingegneri del XIX secolo.

Le trasformazioni del *Casino Reale* -un tempo appartenuto al Protomedico di Corte Francesco Buonocore- che si conclusero con la caduta dei Borbone e quelle di un considerevole brano di territorio circostante, consentono di comprendere i termini di una modificazione capace di innescare le vicende urbanistiche ed architettoniche che impegneranno la *Villa dei Bagni* da allora in poi. L'apertura del porto attraverso il taglio del tombolo che congiungeva la collina di S. Pietro con quella del Boschetto diede all'isola importanza strategica nei trasporti e nei traffici commerciali e favorì lo sviluppo di risorse locali come le terme e la piccola cantieristica.

Ferdinando IV aveva, a suo tempo, pensato ad un abbellimento della Villa nel contesto di un ampio progetto, rimasto inattuato, messo a punto da Carlo Vanvitelli. Francesco I, per parte sua, ne aveva curato maggiormente gli aspetti funzionali e le qualità estetiche.

Ferdinando II allestì un programma più complessivo che investì il Casino con i suoi giardini ed un ampio ambito circostante entro una strategia di carattere territoriale.



Fig. 1 – Giacinto Gigante, La Villa Reale (1856)

La *Villa dei Bagni* divenne oggetto di una intensa attività dei *vedutisti*, che con le loro pitture, divenute col tempo vere e proprie testimonianze storiche, ne rappresentarono e divulgarono i caratteri paesaggistici ed architettonici.



Fig. 2 – Jacob Philipp Hackert, Veduta del lago d'Ischia (1792)



Fig. 3 – Franz Vervolet, La foce del lago, (1825 circa)

Ferdinando II progettava di coinvolgere l'intera isola nel più ampio disegno di potenziamento delle *Coste e dei Porti del Regno* per poter competere con le maggiori potenze economiche che operavano nel Mediterraneo. Cardini di questa strategia erano il porto, la chiesa, il faro, il telegrafo, l'ammodernamento della rete stradale per connettere l'intero territorio dell'isola.

Negli anni Quaranta la politica di sviluppo economico fu strettamente correlata alla necessità di potenziare le vie di comunicazione ed i mezzi di trasporto. Particolare importanza avevano, tra l'altro, la realizzazione di nuovi scali e l'adeguamento di quelli esistenti. Un rapporto presentato al Re nel 1842, attraverso il raffronto con gli altri stati europei, evidenziava le carenze strutturali dei trasporti e la conseguente debolezza economica ed industriale;

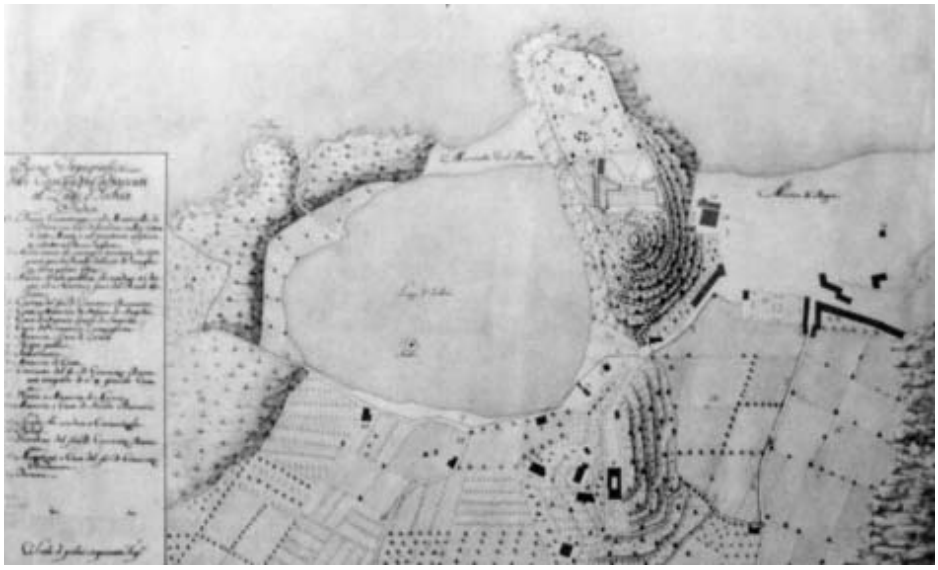


Fig. 4 – Carlo Vanvitelli, Piano Topografico delle Campagne adiacenti al Lago d'Ischia. Progetto del Padiglione da caccia sul monte S. Pietro (1760-1770)



Fig. 5 – Ignoto, Lago d'Ischia (1820-1830)

il crescente traffico marittimo e la crescita della flotta mercantile richiedevano l'edificazione di molti porti. Il rapporto s'incentrava sui traffici marittimi, sui moderni mezzi di trasporto a vapore che avrebbero favorito l'industria ed il commercio. Modello era l'Inghilterra che aveva scelto di potenziare la flotta mercantile e militare, diventate le più forti del mondo, con molti battelli a vapore che consentivano, attraverso con-



Fig. 6 – Achille Vianelli, Lago d'Ischia (1820-1830)

sistenti risparmi nelle spese, di sostenere meglio la concorrenza nella produzione industriale, mentre tutti gli altri paesi europei, con in testa Francia e Germania, investivano soprattutto nella costruzione di strade ferrate.

Il Consiglio Provinciale di Napoli alla domanda inoltrata dal Comune d'Ischia per la costruzione del porto nel 1852 rispose che l'opera non era necessaria né utile, ritenendo in pratica che l'isola non fosse suscettibile di sviluppo, almeno nell'immediato. Invece Ferdinando II, all'inizio del 1853, decise favorevolmente, anche per ribadire l'importanza di rafforzare i collegamenti marittimi.

Il progetto per la costruzione del porto fu elaborato dall'ispettore di Ponti e Strade Luigi Oberty (del quale nella nota 2 viene tracciato un breve profilo) e dal Primo Tenente del Genio Domenico Milo e presentato al Ministro dei Lavori Pubblici. Nel corso del Consiglio ordinario del 19 luglio 1853 tenutosi a Ischia, il Re approvò l'opera, e volle che il tenente Milo fosse destinato a Ischia per questi lavori.

Dall'analisi delle caratteristiche del lago erano scaturite le prime informazioni sulla natura e sull'estensione dell'opera, accertando che i fondali erano costituiti da un misto di sabbia e fango con differenti altezze, con una media di 8 palmi, ma che ne occorrevano 12 per la navigazione al centro e 6 ai margini, per cui lo scavo medio fu calcolato di 4 palmi per l'intera superficie misurata di circa 1500000 palmi quadrati. La relazione inoltre approfondiva il carattere tecnico dell'opera, specificando che esisteva un esteso banco di sabbia in cui si poteva aprire un passaggio in una posizione che offriva sufficienti garanzie dai venti che spiravano da quel versante. L'imboccatura avrebbe avuto una lunghezza di 500 palmi e sarebbe stata delimitata da banchine. Per quanto concerne i forti venti da N.N.O., che avreb-



Fig. 7 – Gabriele Smargiassi, Vendemmia ad Ischia (1845)

bero ostacolato l'ingresso nel porto, fu ritenuta necessaria la costruzione di un molo a *pietre perdute*. Esse furono disposte perpendicolarmente rispetto ai venti e protratte nel mare per circa 700 palmi, a partire dalla sporgenza Ovest della piccola foce esistente.

Dallo *Stato Estimativo delle spese necessarie* che accompagnava il progetto è possibile ricavare alcune informazioni utili. Erano infatti previste voci di spesa: per ridurre l'intero lago alla profondità di palmi 12; per il cavamento della sabbia fuori dell'acqua per aprire l'accesso al porto; per il cavamento della sabbia dentro l'acqua per l'imboccatura; per il cavamento di fanghi ed altri depositi, per espurgare la conserva; per il cavamento sotto acqua per approfondire l'area tra la l'imboccatura e la scogliera; per una scogliera lunga palmi 700 con pietre di circa palmi cubi 60 e formazione del molo; per il getto di ferrugine per la fondazione della banchina; per casse di legname di quercia occorrenti per la fondazione della banchina; per la fabbrica di scardoni e pozzolana vulcanica per l'elevazione della banchina al di sopra del livello del mare; per i basoli di rivestimento della strada.

Il 25 luglio di quello stesso anno iniziarono i lavori amministrati, quale Direttore Superiore della Direzione ed Amministrazione dei Lavori del Nuovo Porto, da Camillo Quaranta che aveva già ricoperto quello di Commissario del Bacino del Raddobbo a Napoli. I lavori fin dall'inizio avanzarono con lentezza a causa della calura e dei miasmi delle alghe che imputridivano sulla sabbia; i servi di pena, alloggiati in tende in locali di pertinenza di *Casa Reale*, furono spesso chiamati alla realizzazione delle opere. Per ridurre l'inconveniente dell'aria malsana, fu aperto il 26 giugno 1854 un passaggio tra il lago ed il mare.

All'inizio del 1854 Quaranta, trasferito a Ischia con poteri assai estesi, entrò immediatamente in attrito con i tecnici incaricati, in particolare con Milo, Direttore delle opere prima del suo arrivo. I rapporti tra i due degenerarono fino all'allontanamento definitivo di Milo il 2 maggio dello stesso anno nonostante egli non avesse responsabilità sui ritardi poiché i lavori erano iniziati a fine luglio, con un caldo soffocante ed il cantiere in assestamento.

Il 31 maggio il Re ordinò il trasferimento di una piccola flotta specializzata, costituita da 2 cavafondi a vapore con tramogge ed un piroscafo di piccola forza, un rimorchiatore e 4 barche grandi destinate a formare la difesa all'ingresso del porto. I massi basaltici destinati alla scogliera furono in parte trasportati da Pietrarsa e dalla Regia Petriera di Pozzuoli ed in parte estratti sull'isola.

Il Real piroscafo *Delfino* entrò nell'antico lago il *31 luglio del 1854 alle*



Fig. 8 – Francesco Mancini,
I lavori di apertura del porto (1853)



Fig. 9 – Giacinto Gigante,
Porto d'Ischia (1855)

7 p.m. Il 17 settembre 1854 fu inaugurato ufficialmente il porto. I lavori di completamento continuarono per alcuni anni con la costruzione del faro e del telegrafo elettromagnetico.

Le nuove opere stavano modificando radicalmente il paesaggio fisico e le prospettive di sviluppo della comunità insediata. Il porto avrebbe presto spostato il baricentro del comune fino ad allora situato nelle vicinanze del Castello.

La chiesa di S. Maria di Portosalvo, progettata da Francesco Cappelli, Architetto della Real Casa, fu iniziata il 26 settembre del 1854 e completata nel 1856. Posta in asse all'entrata del porto la fabbrica aveva un valore celebrativo.

Per la sicurezza del porto occorreva un adeguato sistema di segnalazione semaforico. Procida e Nisida all'epoca ne erano già dotate. Nel 1855 Camillo Quaranta scriveva al Direttore del Real Ministero e Segreteria di Stato Lavori Pubblici: "il Re durante la sua dimora ad Ischia tra i tanti lavori per la costruzione del Nuovo Porto, si degnò ordinare un Faro di 5° Ordine a fuoco fisso variato prescrivendo di avvalersi del macchinista Augusto Bernard". Il 1 novembre del 1856 il faro si accese per la prima volta. Il progetto grafico della torre del faro era di Giuseppe Marangia.

Infine Ferdinando II ordinò l'installazione di una stazione telegrafica all'interno del Casino, collegata con le altre dislocate nei Siti Reali fra cui la Reggia. L'architetto Francesconi fu incaricato nel 1852 di creare una condotta per la posa dei fili del telegrafo elettromagnetico dalla Stazione della Regia Strada ferrata all'ingresso della Darsena. Il percorso prevedeva la costruzione di una linea tra Napoli ed Ischia, partendo dalla Reggia di Napoli fino alla foce di Miliscola, per poi procedere con un cavo sottomarino verso Procida, quindi su Vivara ed infine verso il castello d'Ischia, collegato con il Casino per via aerea su pali. La linea, completata nel 1858, rappresentò per l'isola la possibilità di comunicare in tempo reale ed in qualsiasi condizione e segnò una tappa rilevante per l'avvicinamento al continente, specie se si considera che Francesco II istituì nella sede comunale d'Ischia una stazione pubblica.

Il Casino, venuto in possesso dei Savoia, fu da loro donato al Comune d'Ischia e divenne sede di cure termali riservate

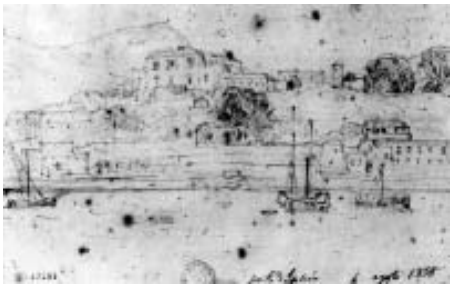


Fig. 10 – Giacinto Gigante, Porto d'Ischia (1855)

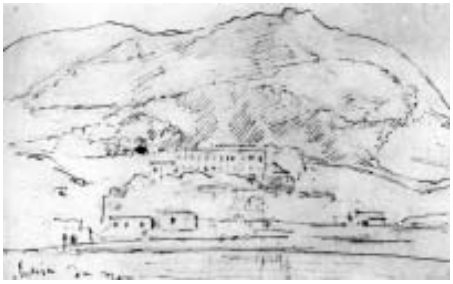


Fig. 11 – Giacinto Gigante, La Villa Reale dal Mare (1855)

ai militari, uso che permane ancora oggi.

L'apertura del porto e la demanializzazione dell'ex Casino borbonico accrebbero l'importanza dell'antica strada che collegava il borgo sottostante al castello con il lago, attraversando il territorio lavico dell'Arso. Il programma prevedeva l'occupazione da parte dei privati dei suoli comunali, attraversati dalla strada dell'Arso, mediante concessioni che li autorizzavano ad innalzare fabbriche con l'obbligo di mantenere una distanza di 20 palmi dal ciglio per tutta la lunghezza: "per aggregarsi in ampiezza alla pubblica strada".

Le trasformazioni attuate comportarono come naturale conseguenza una crescita d'interesse sull'isola, soprattutto di carattere economico rispetto al suo tradizionale ruolo strategico e militare. Altri fattori di sviluppo furono la maggiore diffusione delle risorse termali dell'isola e il rafforzamento della piccola cantieristica.

Consistente fu anche il programma delle strade di collegamento affidato all'architetto Fazzini, per la progettazione, ed al botanico Gussone per alcuni tracciati. L'architetto Gaetano Fazzini tra i numerosi lavori pubblici, fu anche incaricato della deviazione delle acque provenienti dalle alture del Cretaio e da altri siti che arrivavano fino al porto provocandone l'insabbiamento.

E' stato teorizzato che i Borbone procedessero per "modelli": costruire un porto significava il proseguimento della politica imprenditoriale iniziata da Carlo di Borbone con le *Fiere*, l'Albergo dei Poveri, la Real Fabbrica delle porcellane e proseguita da Ferdinando IV con la fabbrica di S. Leucio. L'intervento sull'isola d'Ischia, pur limitato nella sua portata, può essere considerato un vero e proprio modello di sviluppo centrato intorno all'apertura del porto; il *Casino Reale* rappresentò il collegamento con il potere centrale; gli altri interventi - le strade, la chiesa ecc. - costituirono i supporti complementari ma fondamentali, per l'equilibrio complessivo del modello.

Lo studio di fattibilità del Piano dell'area portuale, sviluppato nel 2004 da chi scrive e dal Prof. ing. Agostino Nuzzolo, tenendo conto delle *linee programmatiche per lo sviluppo del sistema integrato della portualità turistica* emanate dalla Regione Campania nel

2002, ha messo a punto una strategia per il suo riassetto, identificando un disegno urbano in grado di riqualificare il suo ambito più diretto e di stabilire relazioni integrate con il territorio, riorganizzando gli spazi a mare e quelli a terra in relazione alle attività cantieristiche, alle aree di parcheggio ed al ruolo di terminal dei trasporti.

Lo studio ha disegnato uno scenario per un'area strategica che ha per l'isola il ruolo di vera e propria 'porta', paragonabile per importanza ad un grande terminal metropolitano se si tiene conto del movimento di passeggeri e merci che lo interessa. La condizione di 'porto naturale' è ad un tempo, paradossalmente, una straordinaria specificità ed un limite oggettivo: specificità per le sue caratteristiche di forma naturale; limite perché, proprio per la sua forma 'definita', presenta una superficie complessiva rimasta immutata nel corso della sua storia a fronte dell'aumento esponenziale dei traffici non solo marittimi che lo hanno interessato.

Del pari le sue aree marginali, strette tra l'edificato consolidatosi prima del *boom* turistico del secondo dopoguerra ed il limite militare, sono state investite da una serie di interventi che ne hanno, per così dire, 'inseguito' lo sviluppo con trasformazioni susseguitesi senza una strategia per far fronte ad esigenze in rapida evoluzione connesse al suo mutato ruolo. Il Piazzale Trieste è, in teoria, il punto più accessibile dell'isola. Ma la ristrettezza degli spazi, la difficoltà di accesso alle informazioni e l'utilizzo promiscuo degli spazi non consentono



Fig. 12 – Il porto di Ischia oggi

accettabili livelli di servizio. Nell'area, di importanza strategica primaria per la mobilità, sono allocati i terminali di trasporto marittimo e terrestre, di taxi, microtaxi e vettori alberghieri.

Nel porto nei giorni di punta approdano e ripartono circa 20 traghetti, con un movimento di circa 15.000 passeggeri e 1.500 automezzi; continue ondate di flussi pedonali sbarcano dai circa 35 aliscafi giornalieri per oltre 8.000 imbarchi/sbarchi. Per quanto riguarda i mezzi su gomma, il Piazzale è capolinea di 12 linee. In un giorno estivo vi si registrano 910 eventi (arrivi o partenze di corse bus) nelle 24 ore: mediamente un evento ogni 100 secondi. Indagini "speditive" hanno censito la presenza contemporanea di oltre 50 veicoli fra taxi, micro taxi e vettori alberghieri.

Sulla frangia del porto occorre: *delocalizzare le attività di rimessaggio del cantiere navale* (uno spazio residuo potrà essere lasciato per le operazioni urgenti di riparazione 'in acqua' e per l'alaggio e varo di piccoli natanti carrellati); *ridisegnare la riva destra* tenendo conto della necessità di maggiori spazi di servizio e per realizzare *un percorso di frangia alla Collina di S. Pietro* in collegamento con il centro; *sottopassare l'area del demanio militare con un percorso di collegamento con il parcheggio* che dovrebbe anche ospitare le funzioni di rimessaggio delocalizzate; *ricomprendere nell'ambito di una generale risistemazione del Piazzale Trieste lo spazio di pertinenza della Chiesa in margine alla via Quercia*, valorizzando il ruolo di monumento della Chiesa e dotandola di uno spazio che possa recuperare un ruolo di sagrato; *ridisegnare il Piazzale Trieste* - qualificandolo nel suo ruolo di nodo di 'accoglienza' con una forte 'pedonalizzazione' ed una forte limitazione dello stazionamento degli autobus – e *il tratto di Via Iasolino che da Piazzale Trieste giunge fino all'edificio "ex cantine D'Ambra"*, per tener conto del suo ruolo di connettore dei nodi di imbarco e sbarco rappresentati dai terminal aliscafi e dal terminal ospitato dalle "ex cantine D'Ambra" (in particolare il nodo costituito dalla centrale Enel in via di dismissione assume una qualificazione strategica fondamentale ai fini della *realizzazione di un by pass che consenta di evitare la strozzatura tra il Palazzo D'Ambra e la Centrale stessa,* che determina alcuni dei più gravi problemi di traffico nell'area.

La banchina "Olimpica", in rapporto ad suo 'alleggerimento' con una diversa distribuzione del traffico commerciale sui porti dell'isola, dovrà contribuire a sviluppare il *ruolo di approdo turistico* che è quello per vocazione più appropriato per il porto; la *Bocca Vecchia,* 'traccia' dell'antica canaletta di collegamanto tra l'originario lago ed il mare, va valorizzata nel suo ruolo di testimonianza storico-ambientale; il *parco pubblico della 'Pagoda'* va valorizzato come margine del percorso.

Si dovrà pensare ad una intesa con il demanio militare per utilizzare, sia pure per punti discreti, le fasce di margine

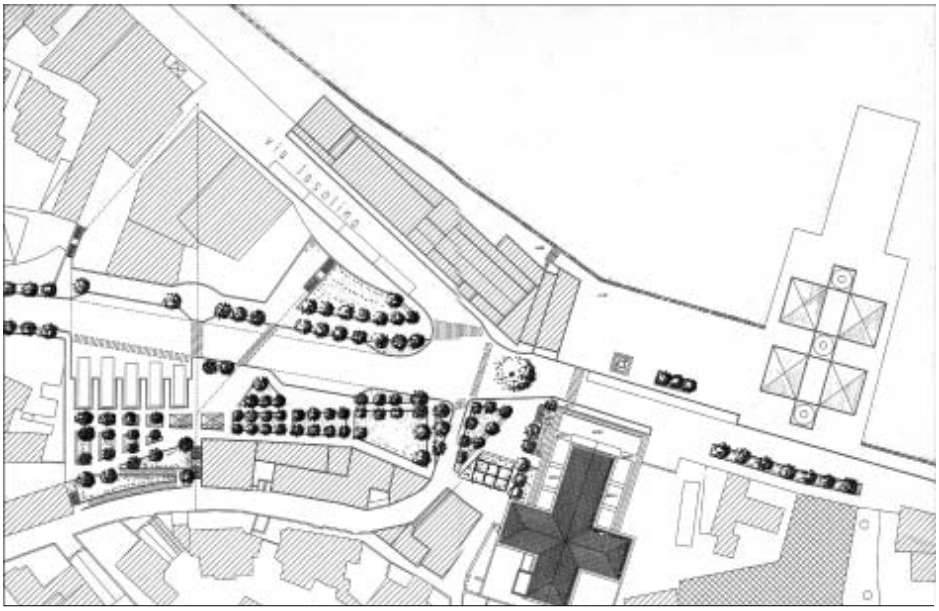


Fig. 13 – F. Rispoli: planimetria di progetto del Piazzale Trieste

per recuperare spazi lungo tutto il fronte che dall'ingresso dello stabilimento militare conduce fino alla via Portosalvo.

La programmata dismissione della centrale Enel potrà favorire la ristrutturazione dell'intero ambito con la realizzazione di una 'bretella' di collegamento, la piena utilizzazione degli spazi di questo edificio e di quello delle ex Cantine D'Ambra per attività compatibili con quelle legate al porto; la pedonalizzazione dell'ambito compreso tra i due edifici; la valorizzazione del ruolo di terminal del sito.

Il sistema di accessibilità proposto si articola in una rete di percorsi di connessione, dai punti di scambio del traffico ai punti nodali del porto, distinta dalla rete veicolare, con l'obiettivo di distribuire gli accessi e di valorizzare gli ambiti retrostanti il *waterfront* favorendo il riuso di alcuni fabbricati con attività di servizio capaci di indurre forme di economie diffuse.

Le aree di parcheggio pubblico sono potenziate attraverso la costruzione di parcheggi pluripiano interrati e parte della superficie da realizzare è destinata a terminal degli autobus di linea e al rimessaggio di imbarcazioni da diporto.

Il Piazzale, con il drastico ridimensionamento degli spazi dedicati alla sosta ed alla marcia dei veicoli, consente di decongestionare la zona critica e migliorare l'accoglienza.

[1] Nota bibliografica dei testi consultati

G. D' Ascia, *Storia dell'isola d'Ischia*, Napoli 1867.

G. Alisio, *Siti Reali dei Borboni di Napoli*, Officina, Roma 1976.

Soprintendenza per i Beni Artistici e Storici di Napoli, *Immagini di Ischia*, Li Causi, Bologna 1984.

N. D'Arbitrio, L. Ziviello, *I Borbone ad Ischia. "La Villa de' Bagni"*, Edisa, Napoli 2000.

I. Delizia, *Ischia, l'identità negata*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1987.
A. Buccaro, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Electa Napoli, Napoli 1992.
P. Cerotto, F. Rispoli, *Il limite e l'approdo: due porti dell'isola d'Ischia*, in A. De Marco, A. Pratelli, *Gli "algoritmi" del disegno. La chiamano "archeologia" ma è industriale*, Atti del Convegno del Novembre 1993, Università degli Studi di Trieste e di Udine.
A. Massaro, *Avellino tra decennio e restaurazione nelle opere di Luigi Oberty ingegnere del Corpo di ponti e strade*, Grafic way, Avellino, 1994.
A. Caracozzi, *Luigi Oberty e la diffusione del Neoclassicismo nell'Italia Meridionale,* Edipuglia, Bari 1999.
R. Caputo (a cura di), *Ischia nelle vedute romantiche dell'Ottocento nelle collezioni private*, G. & E. Sarnelli, Napoli, 2000.
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, Napoli 2003.
I. Delizia, F. Delizia, *Ischia e la modernità*, Massa Editore, Napoli, 2005.

[2] Luigi Oberty, nato nel 1790 nella Contea di Nizza (all'epoca parte del regno Sabaudo), formatosi in un primo tempo nell'ambiente piemontese, si era poi trasferito a Napoli dove aveva completato la propria preparazione formale e tecnica.
Nel 1809 era stato ammesso al Real Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade, istituito nel Regno di Napoli nell'anno precedente, nel ruolo di *sottoingegnere.* Due anni dopo ricoprì provvisoriamente il ruolo di *ingegnere aggiunto funzionante*. Istituita la Scuola di Applicazione e introdotta la qualifica di *ingegnere aspirante,* partecipò nel 1812 al concorso per la nuova qualifica. Alcuni mesi più tardi, a soli ventidue anni, venne designato *ingegnere ordinario di III classe*.
Nel 1817 venne promosso *ingegnere ordinario di II classe provinciale.* Trasferitosi ad Avellino, esordì come progettista di alcune opere tra cui il portico di ingresso al cimitero ed il primo disegno della Cappella Pubblica. Nel 1819 fu incaricato del progetto del Real Collegio di Avellino (l'attuale Liceo Pietro Colletta) e nel 1821 disegnò il primo impianto del nuovo Carcere provinciale che sarà poi realizzato su progetto di Giuliano de Fazio. Progettò e realizzò anche nuovi tracciati stradali, come la strada per Melfi e l'asse dei Due Principati che doveva segnare una nuova direttrice di espansione verso sud, in direzione Salerno.
Nel 1824 fu trasferito a Foggia dove nel 1826 fu nominato *ingegnere di I classe del Real Corpo di Ponti e Strade* e realizzò numerosi progetti, tra i quali i propilei di chiusura del Giardino pubblico (1824), il Real Teatro di Foggia (1825), il Tempietto monoptero nel Giardino pubblico (1833), il Carcere provinciale (1837) ed il risanamento del quartiere settecentesco (1837).
L'attività di Luigi Oberty ebbe modo di estrinsecarsi su un ampio spettro dell'ingegneria civile: dai lavori di bonifica alle paludi Sipontine (1838-1832) a quelli di arginatura del fiume Salsola; dalla strada rotabile per Panni (1831) ai lavori di bonifica del lago Salpi (1832); dalla sistemazione delle due strade anulari di Foggia (la Civitella-Epitaffio, Via Manzoni e la Madonnella Corso Garibaldi) che racchiudono il primo nucleo urbano (1832) all'assetto idraulico dei fiumi Carapelle e Cervaro (1837-1838).
Nel 1839 venne designato *Ingegnere ispettore di conto regio* e nel 1840, rientrato a Napoli, *Ingegnere ispettore di conto provinciale.*
Nel 1853 a Ischia, oltre al progetto per il Porto, realizzò (per quanto è dato desumere dal testo di Antonietta Caracozzi citato nella nota bibliografica) il colonnato delle Terme Regina Isabella a Lacco Ameno che poi Ignazio Gardella lascerà davanti al nuovo edificio da lui progettato.
Nel 1857 fu nominato dal Re *Ispettore generale* in Sicilia e tre anni più tardi *Direttore generale* del Real Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade e partecipò alla Commissione istituita dal Re per redigere un piano generale di risanamento per Napoli.
Nel 1861, su richiesta del luogotenente generale del re Eugenio, principe di Savoia e di Carignano, ricevette la nomina di *Consigliere di Luogotenenza* per il dicastero dei Lavori Pubblici. Nel 1863 venne insignito della delega di *Ispettore di 1° Vicepresidente* del Consiglio Superiore del Real Corpo del Genio Civile sezione di Napoli e Palermo.

Anna Natale

Da un primato storico ad un progetto di archeologia industriale. La prima ferrovia italiana: Napoli-Portici, ieri e ... domani

Undici anni dopo la prima applicazione della trazione a vapore per il trasporto pubblico di persone, avvenuta con l'inaugurazione della linea Stockton-Darlington il 27 settembre 1825 e sette anni dopo l'apertura della strada ferrata Liverpool-Manchester del 1829, giunse a Napoli, nei primi mesi del 1836, l'ingegnere francese Armando Bayard de la Vingtrie per proporre al re Ferdinando II la realizzazione di una strada ferrata tra Napoli e Nocera, con un ramo per Castellammare.

Il 6 marzo del 1836 il Ministro di Stato degli Affari Interni, Nicola Santangelo, invia una nota dettagliata al Re in cui espone, in 19 articoli, la proposta dell'ingegner Armando Bayard de la Vingtrie per la costruzione della strada ferrata. All'articolo 1 si legge: *"Il sig. Bayard è autorizzato ad eseguire a sue proprie spese una strada di ferro da Napoli a Nocera che passerà per Portici, Torre del Greco, e Torre dell'Annunziata"* e all'articolo 10: *"Per indennizzare il concessionario delle spese che farà lo stabilimento e per l'uso della strada di ferro sulla quale i trasporti saranno eseguiti da suoi agenti, macchine e vetture esclusivamente da chiunque altro, gli è conceduto per la durata di 99 anni che cominceranno a decorrere dal presente giorno, l'autorizzazione di riscuotere sulla strada di ferro i diritti qui appresso determinati ch'egli potrà diminuire ma non mai eccedere"*.

Preso atto della nota inviata dal proprio Ministro degli Interni, Ferdinando II con reale decreto dato a Modena il 19 giugno 1836, accettò l'offerta decretando: *"Accettiamo l'offerta del sig. Armando Bayard de la Vingtrie di eseguire a sue spese rischi e pericoli una strada di ferro da Napoli a Nocera, con un ramo per Castellammare concedendogli la facoltà di prolungarla verso Salerno, Avellino, ed altri siti e la dichiariamo opera di pubblica utilità"*.

Il 3 febbraio del 1838 Ferdinando II integra il decreto del 1836 con nuovi patti, assegnando il termine di sei anni per l'ultimazione dei lavori, prescri-vendo un deposito cauzionale di 100.000 ducati che sarebbe stato confiscato qualora i lavori non fossero stati ultimati nel termine prefissato. Fissando, inoltre, l'usufrutto della concessione a favore della Società costituita dall'ingegnere Armando Giuseppe Bayard de la Vingtrie, dai suoi fratelli e dall'ingegnere Fortunato de Vergés per la durata di ottant'anni e il passaggio della ferrovia in proprietà dello Stato allo scadere di tali termini.[1]

Il 5 luglio 1838, dopo aver reperito i capitali necessari, iniziarono i lavori del primo tratto Napoli-Torre del Greco. Il tracciato fu studiato dall'ingegnere En-

rico Falcon e venne dettagliatamente descritto dal cronista dell'epoca Achille Rossi sugli Annali Civili del Regno delle Due Sicilie: *"Dalla parte orientale di Napoli è in piedi tuttora un tratto in linea retta delle antiche mura della città, con due porte conservate pur esse, l'una detta di Madonna del Carmine più presso al mare, l'altra Nolana, che s'apre più verso il settentrione. Tra queste due porte vedi tuttavia il fosso, comechè or fatto cammino pubblico; il quale rimane inferiore all'altra via sempre frequentata da' carri, che gli soprastà in linea parallela delle vecchie muraglie. Ora la città prodigiosamente è allargata fuori di quell'antico confine, ma particolarmente dalla parte di mezzogiorno, cioè sullo spazio che dalla porta del Carmine si dilata sulla marina. Alle spalle, ovvero a tramon-tana di questo sobborgo, a metà della via la quale discorre tra le due antiche porte della città, mette capo il cammino ferrato…."*.

La "*strada"* attraversava il sobborgo di Santa Maria di Loreto, passava sui ponti dell'Arenaccia e del Sebeto e proseguiva verso la Strada Regia delle

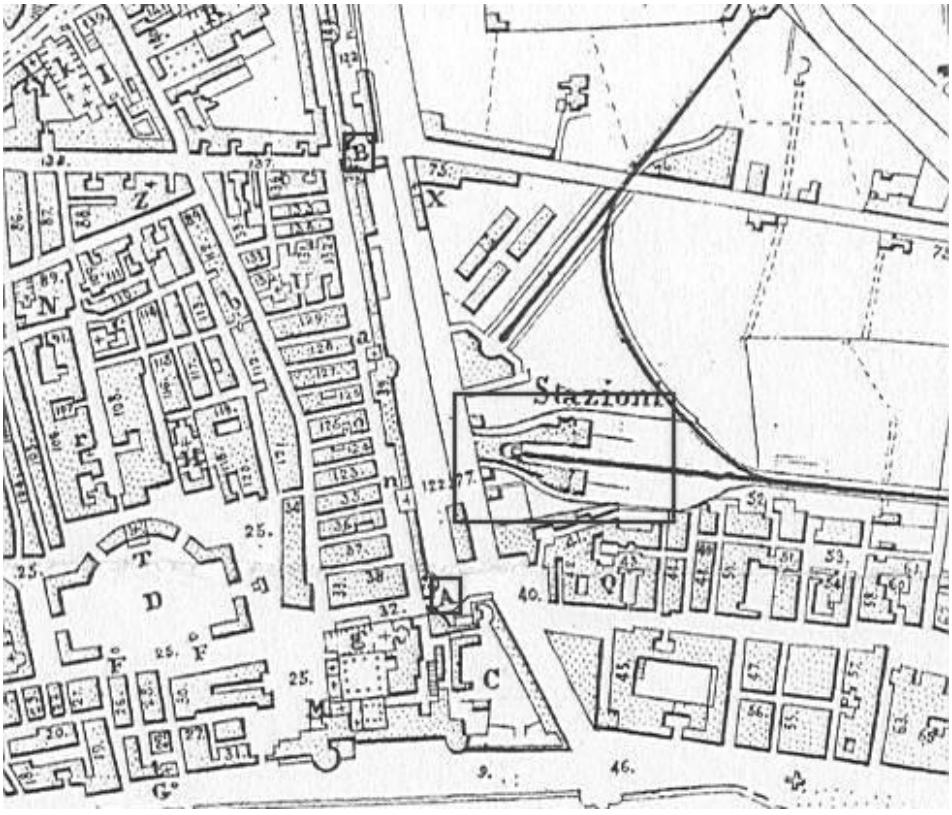


Fig. 1 – Inquadramento territoriale della stazione, in una pianta di Napoli del 1844

Calabrie già all'epoca molto frequentata da intenso traffico.

Per evitare possibili incidenti dovuti all'attraversamento dei binari, gli stessi furono posti al disotto della strada con la realizzazione di un cavalcavia a due archi che rappresenta tutt'oggi una vera opera d'arte sulla tratta Napoli-Salerno delle Ferrovie dello Stato.[2]

Dal cavalcavia la strada percorreva poi 3832,67 metri di rettilineo che a tratti costeggiava la spiaggia e a tratti attraversava, come scriveva all'epoca Achille Rossi *"...giardini e ville deliziosissime di ricchi signori, sparse in què luoghi ameni, per cui diviene assai più ridente il cammino: né forse a un viandante è dato di trascorrere piagge più gioconde e svariate di queste, aventi il mare da un lato coll'aspetto della popolosa Napoli che s'incurva sulla marina a destra e termina nel mare col basso capo di Posillipo, mentre dirimpetto cingono altra parte del golfo le coste della penisola sorrentina e la scogliosa isoletta di Capri…."* fino a giungere alla Villa Carrione dove curvandosi verso destra giungeva alla stazione di Granatello a Portici.

Il tracciato sopra descritto è quasi totalmente percorso, ancora oggi, dalle locomotive delle Ferrovie dello Stato.

Il 3 ottobre 1839 con una cerimonia a prevalente carattere militare, si svolse fra l'animazione e l'entusiasmo proprie del popolo napoletano l'inaugurazione della linea Napoli-Portici.

Le prime due locomotive utilizzate sulla linea giunsero dall'Inghilterra. Si trattava della *Bayard* e della gemella

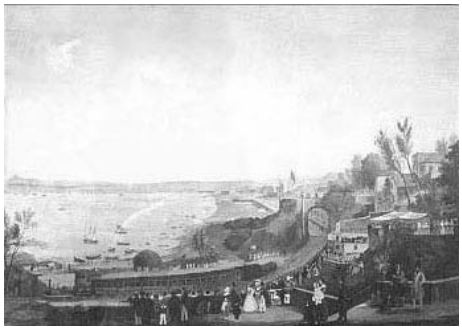


Fig. 2 – Salvatore Fergola, Inaugurazione della ferrovia Napoli – Portici 1839, tempera, Museo San Martino, Napoli

Vesuvio progettate sul prototipo di Stephenson.[3]

Le undici carrozze con le quali fu inaugurato l'esercizio, invece, furono costruite direttamente a Napoli[4].

Il giorno dell'inaugurazione del primo tronco della ferrovia risultava ultimata solo la stazione del Granatello come si evince, ancora, dagli scritti del cronista Achille Rossi sugli Annali Civili del Regno delle Due Sicilie: *" le fabbriche della seconda stazione, che quivi prende nome dal Granatello, sono già tutte rizzate; ed ivi al presente si serbano le locomotrici fino a che i più*

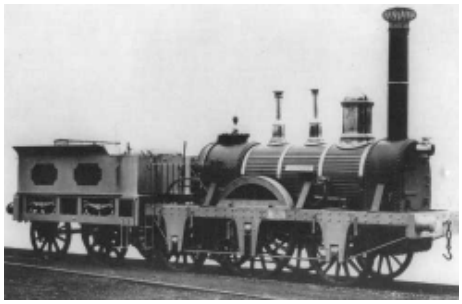


Fig. 3 – Locomotiva Bayard/Vesuvio in una ricostruzione del 1939.Esposta al Museo delle Ferrovie dello Stato di Pietrarsa

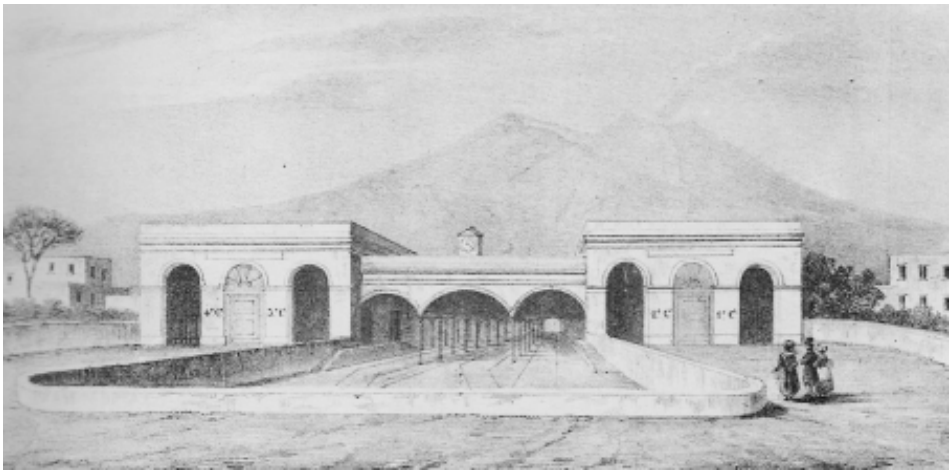


Fig. 4 – Prospetto della stazione di Napoli. Annali Civili, 1839

vasti edifici della stazione di Napoli compiti non saranno".

Non si hanno elementi per risalire alla data di messa in esercizio della stazione capofila.

Da studi effettuati si è risaliti ad un grafico riportato sugli Annali Civili e mostrato in *Fig. 4*, da cui si evince che la prima stazione era costituita da due corpi di fabbrica ognuno dei quali aveva tre distinti ingressi ad arco che servivano a differenziare i viaggiatori in base alle classi.

Ad unire questi due corpi di fabbrica, ad un solo piano, un'ampia tettoia che sovrastava i binari e che era sorretta da filari di colonnine.

Uno spiazzale posto sulla parte prospiciente su *via dei fossi* fu lasciato sgombro per i successivi previsti ampliamenti, che furono portati a compimento presumibilmente nell'anno 1842.

Il primo agosto del 1842 vi fu, infatti, l'inaugurazione *"de' nuovi tratti della strada ferrata da Torre del Greco per Torre Annunziata a Castellammare"* e la stessa avvenne, come si legge nel Programma realizzato in occasione della cerimonia d'inaugurazione "*presso la stazione della Strada ferrata fuori Porta del Carmine"*.

Da un'incisione di Lucioni e da vari dipinti realizzati da Salvatore Fergola in occasione dell'inaugurazione della Strada ferrata da Napoli a Caserta e della relativa stazione posta in adiacenza a quella del Carmine, si può avere una visione realistica dell'antica stazione.

L'edificio era costituito da una struttura a due piani alla quale si accedeva attraverso tre archi.

Da questi archi posti sul prospetto principale accedevano ai binari i viaggiatori della prima e della seconda classe, mentre quelli della terza classe potevano raggiungere i treni da un cancello laterale, in modo da non dover attraversare il vestibolo, riservato ai passeggeri delle prime classi.



Fig. 5 – Stazione al Carmine in un dipinto di Salvatore Fergola, collezione privata

Un filare di archi collegavano questa struttura con il corpo di fabbrica realizzato intorno all'anno 1840, formando una pianta ad U.

La stazione rimase in esercizio fino a quando, con la realizzazione della nuova stazione di Piazza Garibaldi, assunse la funzione di officine deposito della Rete Adriatica, società che aveva acquistato dalla Bayard l'intera ferrovia.

Nel 1930 la struttura della stazione divenne contenitore del Teatro Italia, costruito con struttura autonoma ed indipendente da quella della stazione e utilizzato dal Dopolavoro Ferroviario delle Ferrovie dello Stato.

Il 28 marzo del 1943 l'esplosione della motonave Caterina Costa nel porto di Napoli procurò il crollo di gran parte delle strutture del teatro, decretandone la fine.

La parte che si salvò fu utilizzata quale sede del D.L.F. di Napoli fino al sisma del 1980, anno in cui divenne proprietà del Comune di Napoli.

Attualmente il sito versa in uno stato di abbandono, sommerso da folta vegetazione incolta. Tra le macerie delle costruzioni create per l'inserimento del Teatro Italia e realizzazioni più recenti, sono visibili alcuni ruderi della storica stazione *Fig. 8* e *9*.

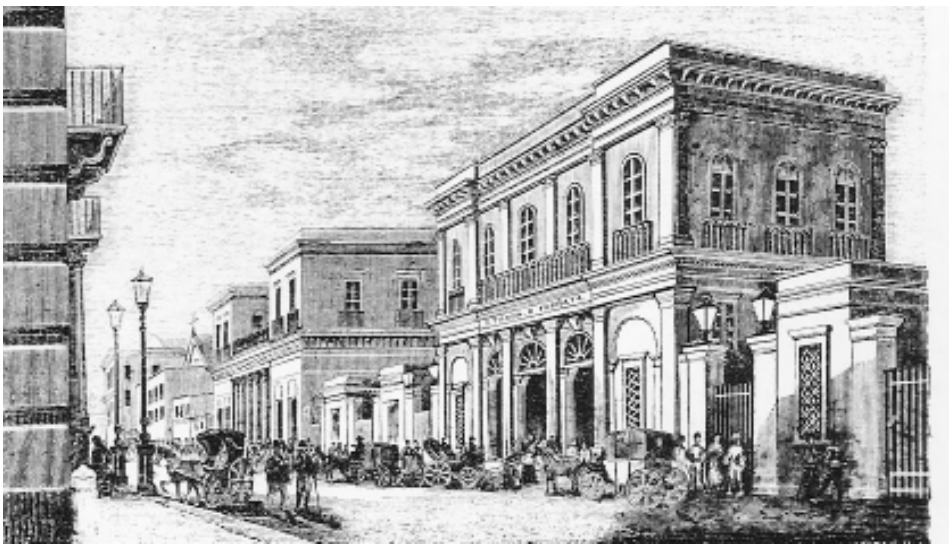


Fig. 6 – Le due stazioni ferroviarie di Napoli: a destra quella per Castellammare; a sinistra quella per Caserta. Incisione di Lucioni, 1855



Fig. 7 –Resti della stazione dopo l'esplosione di una nave nel porto di Napoli. A. Gamboni, P. Neri, Napoli-Portici La prima ferrovia d'Italia



Fig. 8 – La stazione al Carmine in una recente immagine



Fig. 9 – La stazione al Carmine in una recente immagine

Un progetto di massima di recupero e riqualificazione dell'intero complesso è stato promosso dal C.I.Be.C, curato dal prof. Giulio Fabricatore e dall'arch. Ennio Migliarotti con la supervisione del colonnello Antonio Gamboni, il quale ha anche curato la realizzazione del plastico dell'intero complesso, conservato presso il C.I.Be.C. e illustrato nelle *Fig. 10 - 13*.

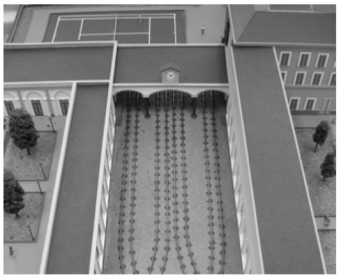
Il plastico mette in evidenza le intenzioni progettuali che si articolano in: bonifica dell'area, eliminazione delle superfetazioni non storiche e pericolanti o ridotte a rudere, ricostruzione dei primi 100 metri della strada ferrata, ricostruzione della palazzina con l'ingresso agli uffici sull'attuale Corso Garibaldi, riqualificazione dell'intero complesso con la destinazione di aree scoperte ed edifici ad attività museali e sociali.

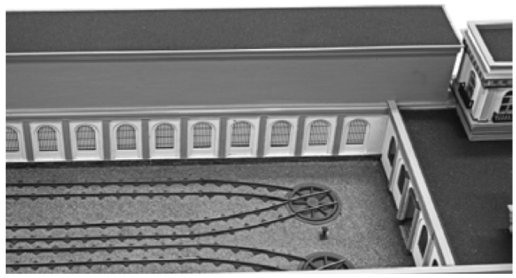
È vivo l'auspicio che la sensibilità degli Enti locali possa favorire la realizzazione del progetto, che consentirebbe alla città di Napoli di riappropriarsi di una vicenda esemplare della propria storia e allo stesso tempo offrirebbe nuovi spazi culturali e di aggregazione.

[1] F. Ogliani, *Terra di primati, Storia dei trasporti Italiani volume 21°.Campania, Puglia, Basilicata, Calabria. Volume primo (1800-1860).* Cavallotti editori, Milano 1975.
[2] A. Gamboni, P. Neri, *Napoli-Portici. La prima ferrovia in Italia,* Fiorentino, Napoli 1987.
[3] A. Formicola, *Portici. Storia di una città.* Progetto stampa, Pomigliano d'Arco (NA), 1999.
[4] F. Tajani, *Storia delle ferrovie italiane. A cento anni dall'apertura della prima linea*. Garzanti editore, Milano 1939.



Fig. 10 – Plastico del progetto di recupero e riqualificazione della stazione del Carmine





Figg. 11-12



Fig. 13

Carlos Alberto Cacciavillani

Eugenio Michitelli in Abruzzo e l'istituzione degli Ingegneri di Ponti e Strade

Dopo l'invasione francese del 1799 e la successiva restaurazione borbonica, nel Regno di Napoli si assiste ad un periodo di scarsissima produzione edilizia e di opere pubbliche in genere[1]. In tale periodo in Abruzzo risulta rilevante la personalità di Eugenio Michitelli, ingegnere ed architetto che visse ed operò prevalentemente in questa regione nel periodo tra fine '700 ed inizio '800. Nato il 14 gennaio del 1771 a Teramo, allora appartenente al Regno di Napoli e vicina al confine con lo Stato Pontificio, Michitelli presto inizia studi relativi alle belle arti e al disegno; a diciassette anni frequenta il circolo culturale teramano di idee illuministe; nel 1791 si reca a Napoli, per dedicarsi agli studi universitari d'architettura, completati già nel 1794, quando torna nella sua città natale ed inizia la propria attività professionale realizzando, fra l'altro, un lavoro di indagine geologica, di misurazione e rappresentazione del Gran Sasso.

Nel settembre del 1798 deve fuggire verso nord, nella vicina Marca fuori dal Regno Borbonico, poiché accusato di parteggiare per i francesi prossimi ad invadere lo Stato; quando nel dicembre dello stesso anno le truppe transalpine conquistano Teramo, Michitelli può rientrare in città. In seguito alterne vicende lo vedono coinvolto a favore degli occupanti, fino al 1800 con il rientro dei Borboni al potere; malgrado il suo deciso appoggio ai nemici, il suo nome viene escluso dalla lista dei colpevoli per reati contro lo Stato, anzi egli nel 1802 riceve la qualifica di Regio Architetto ed Ingegnere.

Con il ritorno nel 1806 dei francesi in Italia, viene impiegato nella nuova amministrazione: è nominato Regio Ingegnere aggiunto nel dipartimento del Nord, prima Ispezione, composto dai tre Abruzzi, per il nuovo "Servizio di Ponti e Strade" istituito con Decreto Regio il 31 marzo da parte di Giuseppe Bonaparte, divenuto re delle Due Sicilie. La storia professionale del Michitelli è strettamente legata a tale istituzione, con nunzione paragonabile a quella del nostro Genio Civile e che in quel momento storico dà un forte impulso agli interventi architettonici e alla realizzazione di opere pubbliche nel Regno. In Francia esisteva un Corpo di Ponti e Strade sin dal 1717 ed in tutto il XVIII secolo si susseguono molte scuole specialistiche destinate alla formazione degli ingegneri, fino al 1794, anno nel quale Napoleone costituisce l'Ecole Polytecnique[2], scuola presso la quale, nei primi anni del XIX secolo, figura come docente Jean Nicolas Louis Durand, che supera il principio lodoliano sul rapporto formafunzione a vantaggio dei crite-



Fig. 1 - Eugenio Michitelli, disegni per il rilevamento del Monte Corno, in G. B. BELFICO, Dell'Interamnia Petruzia*, Napoli 1812*

ri di convenienza e di economia, dai quali scaturisce la bellezza delle forme[3], aspetto che caratterizzerà pienamente anche l'opera del Michitelli.

Nei primi anni dell'800, in Europa e soprattutto nel Regno di Napoli, la viabilità era praticamente inesistente. Le uniche strade erano quelle lasciate dai romani. L'Abruzzo naturalmente rispecchiava la situazione del Regno: delle strade romane, dette consolari, che attraversavano il suo territorio, c'erano la Salaria e la Valeria, tutte le altre erano solo diramazioni di queste, che andavano ramificandosi lungo le tre province abruzzesi; nella zona del teramano i tratti ancora esistenti erano quello che collegava i fiumi Tronto al fiume Pescara, quello che congiungeva la fortezza di Pescara a Forca di Penne e poche altre vie di comunicazione a carattere locale[4].

Con la loro permanenza nell'Italia centro meridionale i francesi contribuiscono al riordino dell'amministrazione civile; l'Istituzione degli Ingegneri di Ponti e Strade dipende dal Ministero dell'Interno appena formato[5]; il primo Ministro dell'Interno è A. F. Miot[6], ma presto la carica passa a Giuseppe Zurlo[7]. Con la legge dell'8 agosto 1806 si conferisce al Regno una struttura amministrativa simile a quella francese, basata cioè sulla divisione in province, che in Abruzzo prevede l'Abruzzo Citeriore, l'Abruzzo 1° Ulteriore e l'Abruzzo 2° Ulteriore[8]. Con un proprio capoluogo, presieduta da un Intendente, ogni provincia riunisce più distretti e questi ultimi varie università, corrispondenti quasi ai nostri attuali comuni; viene istituito un Consiglio d'Intendenza, con finalità soprattutto fiscali; eletti in pubblico Parlamento vengono inoltre nominati dei decurioni, cui è affidato il compito di ricevere alla fine di ogni anno i conti degli amministratori municipali: la legge del 20 maggio 1808 prevede che tra le spese di pertinenza del decurionato vengano incluse anche quelle per il mantenimento degli edifici comunali e quelle per le strade interne dell'abitato, ad esclusione delle porzioni di esse che formano parte delle strade regie. Queste riforme operate dai francesi vanno a riordinare le precedenti realtà amministrative del passato governo. I Borboni avevano istituito nel 1779 una Giunta dei Siti Reali, affiancata poi da una Giunta e Deputazione delle strade del Regno; tali enti avevano dimostrato delle forti carenze, infatti i pochi tecnici che vi appartenevano si occupavano solo delle opere più importanti, mentre tutte le altre attività erano gestite a livello locale con l'affidamento a

professionisti privati[9], come accade anche per il Michitelli, che già prima dell'arrivo dei francesi realizza a Teramo alcune opere importanti per la città[10].

Dopo l'avvento dei francesi, con l'istituzione del Ministero dell'Interno, si provvede alla divisione del Regno in dipartimenti, assegnando a ciascuno di essi un'Ispezione di Ponti e Strade, costituita da architetti civili ed ingegneri del Genio controllati da un Ispettore[11]. Michitelli, che è un architetto civile, ma anche un valido esperto di ingegneria, congiuntamente all'altro ingegnere Carlo Forti, viene subito inserito, in qualità di Regio Ingegnere aggiunto[12], nel dipartimento del Nord e prima Ispezione, di cui facevano parte gli Abruzzi[13]. Qui il Michitelli fa anche esperienza per la sua preparazione in questo settore; lui e altri suoi conterranei vengono impiegati dalla nuova amministrazione francese all'interno delle varie organizzazioni, in base alle loro attitudini professionali[14].

In Abruzzo le prime iniziative riguardanti le opere pubbliche cominciano ad organizzarsi nel 1807, in previsione della visita di Giuseppe Bonaparte alle tre province, quando tutta la popolazione, soprattutto quella del territorio tramano, fin dall'agosto del 1806 si preoccupa del pessimo stato in cui si trovano le proprie strade, impegnandosi per sistemarle il meglio possibile con aggiustamenti provvisori. Una deputazione della città di Teramo, ricevuta dal Re, esprime il bisogno di aprire una nuova strada per quei luoghi, così da poter viaggiare senza disagi. Il 17 aprile del 1807 si riunisce il decurionato teramano per stabilire le deputazioni da assegnare in occasione della venuta del re, in particolare relativamente alla sistemazione stradale. Nella riunione del decurionato del 22 aprile 1807 a Francavilla al Mare, si parla ugualmente degli accomodamenti necessari alle strade per meglio onorare tale venuta. Lo stesso accade nelle riunioni del decurionato tenute a Lanciano l'11 aprile del 1807 e, successivamente, a Pianella il 10 luglio dello stesso anno. Il Re giunge a Teramo il 21 del mese di maggio, manifestando tutta la propria soddisfazione per l'ordine trovato nelle strade. Tutti i comuni, incoraggiati dalla promessa del sovrano di tornare spesso a visitare le province, stabiliscono di perfezionare la viabilità e di rendere rotabili le strade, compito in cui saranno particolarmente impegnati il Michitelli ed il Forti[15]. Prima di lasciare gli Abruzzi il Re, con Decreto, stabilisce la ripresa della costruzione di una strada abbandonata l'anno precedente, relativamente al tratto che unisce Chieti a Popoli, via fondamentale per il collegamento con Napoli. Viene costituita, inoltre, con Decreto del 24 maggio 1807, la Giunta delle Strade Comunali d'Abruzzo, con a capo il Generale di divisione Partenoux, composta dagli Intendenti delle tre province, nonché da alcuni importanti signori abruzzesi, cioè Domenico Nolli, di Chieti, Orazio Delfico, cugino del Michitelli ed anch'egli di Teramo, e Aurelio De Matteis, dell'Aquila; Eugenio Michitelli viene nominato Ingegnere per la Giunta delle strade comunali degli Abruzzi, riceven-

do anche l'incarico di redigere i progetti per la nuova strada consolare Chieti Popoli, sulle tracce della vecchia via romana, e per il tratto che dalla consolare devia verso Teramo; per tali opere gli viene assegnata inoltre la direzione dei lavori[16].

Con molta probabilità, questo è il primo incarico del Michitelli relativo all'Istituzione degli Ingegneri di Ponti e strade; tale istituzione viene quasi subito riordinata, attraverso un Decreto del 7 agosto 1807 a seguito del quale i Dipartimenti restano tre, mentre le Ispezioni vengono ridotte a due: una per la parte meridionale ed un'altra per quella settentrionale del Regno, che oltre ai percorsi degli Abruzzi comprende anche il collegamento fra Napoli e Roma; Eugenio Michitelli, come ingegnere aggiunto, appartiene a quest'ultima Ispezione.

Con Decreto Regio del 18 novembre 1808 viene fondato dal nuovo re, Gioacchino Murat, il Corpo Reale degli Ingegneri di Ponti e Strade[17]; i tecnici che costituiscono il Corpo sono architetti, provenienti da ambienti accademici, come il Michitelli, che continua a prestare servizio anche nella nuova struttura, con il titolo di Ingegnere aggiunto[18]. Il 21 gennaio del 1809 viene pubblicato il primo bollettino delle leggi con le relative istruzioni del Corpo[19], che dovrà rigorosamente rispettare il Michitelli, che, con Decreto del 7 febbraio del 1809, viene nominato Ingegnere aggiunto in secondo del Dipartimento del Nord, composto dai tre Abruzzi, appartenenti alla II Divisione, con residenza nella sua provincia dell'Abruzzo Ulteriore[20]. Egli è al servizio nel neoeletto Carlo Forti, nominato, col medesimo decreto, Ingegnere Capo di tale dipartimento[21]. Spesso i ruoli tra il Forti e il Michitelli, che è ingegnere in secondo, non risultano ben distinti, anche perché quest'ultimo si ritrova in alcuni casi a dirigere opere indipendentemente[22].

Questi professionisti devono essere abili sia nelle belle arti, da architetti, sia nelle scienze esatte ed applicate degli ingegneri: l'appellativo di "scienziato-artista" si addice bene al Michitelli, che nelle sue opere dimostra di saper ben conciliare le due professioni[23]; ma ha bisogno di rafforzare le proprie conoscenze nel campo delle scienze applicate, quindi viene affidato alla supervisione del più esperto ed anziano Carlo Forti[24].

Per provvedere alla formazione dei nuovi ingegneri viene istituita, con Decreto del 4 marzo 1811 del Murat, la nuova Scuola di Applicazione di Ponti e Strade[25]. Le materie di insegnamento sono: scienze fisiche, chimica, costruzioni, geometria descrittiva, meccanica applicata, scienza delle costruzioni, architettura civile, disegno, geodesia, agronomia, mineralogia, botanica ed altre, tutte discipline già conosciute dal Michitelli[26] che perciò non deve frequentare la nuova scuola.

Nei primi anni di vita del Corpo degli Ingegneri di Ponti e Strade la separazione delle figure professionali dell'architetto e dell'ingegnere non risulta evidente[27]; infatti in questo periodo, ed



Fig. 2 - Documenti relativi a Eugenio Michitelli.
Da sinistra: nomina di Ingegnere Dipartimentale della provincia dell'Abruzzo Citeriore, Napoli 25-4-1812, Archivio di Stato di Chieti; nomina di Ingegnere ordinario di I classe nella provincia dell'Abruzzo Citeriore, Chieti 3-1-1816, ASCH; nomina di Ingegnere di I classe della Direzione di Ponti e Strade per la provincia dell'Abruzzo Citeriore, Napoli 8-1-1819, ASCH

ancora successivamente, l'architetto teramano come anche i tecnici più qualificati dell'ambiente napoletano, continuano ad esercitare il ruolo di architetto-ingegnere; il Michitelli, come tanti altri ingegneri, assume anche il ruolo di architetto di città al servizio della municipalità; ciò comporta che tale professionista, come gli altri, può passare con disinvoltura dalla dimensione territoriale, al più ristretto ambito cittadino con incarichi propri di un architetto civile.

come nel caso di Chieti con il suo progetto per il teatro comunale[29], ma soprattutto per la città di Lanciano[30], dove oltre alla propria opera di rinnovamento urbanistico, gli viene assegnato anche il disegno della facciata della cattedrale, il progetto del teatro e del camposanto[31]. Gli ingegneri appartenenti al Dipartimento, oltre a svolgere le loro funzioni per il Corpo, su richiesta degli Intendenti potevano essere impiegati in opere per la pubblica amministrazione, come i già citati progetti del Michitelli, che mantiene il ruolo di ingegnere aggiunto in secondo al servizio di Carlo Forti, per il Dipartimento del Nord II divisione[32], fino al 21 giugno 1811, con la promozione ad ingegnere ordinario di prima classe, sempre alle dipendenze del Forti[33].

Al Michitelli viene provvisoriamente affidato il Dipartimento dell'Abruzzo Citeriore[34].

Si vuole ottenere un rafforzamento del ruolo provinciale, con un maggiore autocontrollo locale che, favorito dalla politica antifeudale del Murat, verrà confermato anche dopo la restaurazione borbonica[35]. Con Decreto Regio del 22 febbraio 1812 viene nominato Direttore Generale di Ponti e Strade, l'aiutante comandante Pietro Colletta[36]; da Napoli, in data 6 aprile 1812 il nuovo

Direttore comunica ufficiosamente all'Intendente dell'Abruzzo Citeriore la destinazione di Michitelli con l'incarico di Ingegnere Dipartimentale per quella provincia: egli quindi sarà deputato alla direzione di tutte le opere pubbliche, o personalmente, oppure avvalendosi della collaborazione di altri ingegneri posti alle sue dipendenze secondo le necessità.

Con Decreto Regio del 22 ottobre 1811, vengono approvate da Murat le Istruzioni, composte da 64 articoli, che costituiscono il regolamento per i lavori relativi a ponti e strade, gli obblighi e le regole cui devono attenersi tutti gli ingegneri, come anche gli ispettori.

Queste Istruzioni vengono pubblicate, firmate dal ministro Zurlo, il 17 aprile del 1812, ed inviate a tutti i Dipartimenti[37]. Eugenio Michitelli, ingegnere dipartimentale, dovrà attenersi scrupolosamente ad esse per il suo lavoro. In base a tale regolamento la figura di "Ingegnere Capo" viene uniformata a quella d'Ingegnere Ordinario di I classe dipartimentale[38], titolo questo appartenente al Michitelli e che quindi raggiunge il massimo grado tra gli ingegneri che esercitano attivamente la professione.

Al Michitelli, quale ingegnere di Dipartimento, non è concesso professionalmente di superare i limiti territoriali dello stesso senza una preventiva approvazione del Ministro; le Istruzioni prevedono che solo in caso di lavori straordinari egli può essere impiegato in altre province. Il 30 maggio del 1812 il Direttore Generale, per disposizione ministeriale, mette a disposizione del Michitelli, Luigi Oberty, ingegnere ordinario di III Classe, allo scopo di ampliare e sollecitare la direzione dei lavori pubblici nella provincia39.

Nel 1813 il dipartimento dell'Abruzzo Citeriore ha bisogno di essere rafforzato. Michitelli è confermato nel suo ruolo; alle sue dipendenze ci sono ancora Luigi Oberty, sempre come ingegnere ordinario di III Classe, ed il nuovo aspirante sotto-ingegnere, ancora studente, Raffaello Petrilli con il grado di Alunno, per collaborare e soprattutto per fare esperienza pratica sotto la direzione dello stimato ingegnere teramano[40]. Successivamente anche il sotto-ingegnere Salvatore Rossi sarà messo a disposizione del Michitelli che infatti fino al dicembre del 1814 viene affinacato dall'Oberty e dal Rossi.

In seguito alla restaurazione borbonica, si verifica una profonda crisi economica ed una forte carestia, così anche gli stipendi per gli ingegneri del Corpo vengono ridotti notevolmente[41]. Il 25 gennaio del 1817, Ferdinando I decreta l'abolizione del Corpo di Ponti e Strade e della relativa Scuola di applicazione. Il primo viene sostituito con la Direzione Generale di Ponti e Strade, dipendente dal Ministro degli Affari Interni, per la progettazione e realizzazione delle opere pubbliche statali, provinciali ed anche comunali[42]. Dal 25 marzo dello stesso anno il Michitelli non è più ingegnere ufficiale Regio della Direzione Generale di Ponti e Strade, ma appartiene sempre ad essa come ingegnere di I classe, direttore delle opere pubbliche provinciali per l'Abruzzo



Fig. 3 - Planimetria e particolare del progetto del nuovo ponte di fabbrica sul fiume Pescara, con la nuova strada consolare progettata dall'ingegnere Eugenio Michitelli, Chieti 1818, ASCH

Citeriore, svolgendo il suo servizio senza altri collaboratori. Inizia anche il suo impegno come architetto di città a Lanciano. Dal febbraio del 1823 è nominato ingegnere nella commissione di revisione nella Provincia dell'Abruzzo Citeriore per la direzione di Ponti e Strade.

Nell'aprile del 1824 viene promosso e si trasferisce a Napoli, dove svolge attività di ingegnere nella commissione delle opere di conto Regio della direzione di Ponti e Strade[43]; muore nel 1826.

Per quanto riguarda l'attività professionale di Eugenio Michitelli in Abruzzo, questa si può distinguere in base alle opere realizzate a Teramo agli inizi della carriera, si può poi analizzare il suo operato a partire dal 1806, quando Giuseppe Bonaparte istituisce il Servizio di Ponti e Strade e l'architetto teramano è impiegato attivamente nel Dipartimento del Nord del Regno di Napoli, inizialmente nell'Abruzzo Ulteriore ed infine in quello Citeriore.

Relativamente ai suoi esordi professionali, si può affermare che il suo talento di architetto, dimostrato nelle sue primissime opere, venga in parte oscurato poiché egli quasi da subito passa alle dipendenze dell'amico più esperto ed anziano, Carlo Forti[44], ma è al servizio di questi che raggiunge la massima preparazione nel campo dell'ingegneria[45].

Di questa fase della sua carriera, a partire dal suo ingresso nella Istituzione di Ingegneri di Ponti e Strade, si ricordano come primo impegno i progetti di ponti provvisori sul fiume Vomano, del 1802 insieme al Forti; poi fra il 1802 e il 1803 ci sono i progetti del Carcere Provinciale, del Palazzo del Tribunale e del Palazzo dei Presidi, tutti a Teramo.

Nel 1805, sempre insieme al Forti, progetta 300 greppie per i cavalli dell'esercito francese; realizza un progetto per la ricostruzione di un monumento nella piazza Maggiore sempre a Teramo

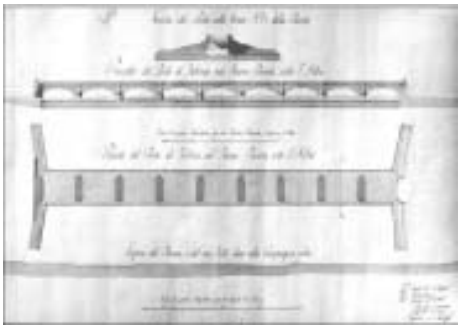


Fig. 4 - Pianta, prospetto e sezione trasversale del ponte sul fiume Pescara progettato da Eugenio Michitelli, Chieti 1818, ASCH



Fig. 5 - Cimitero di Lanciano, progetto del Michitelli, riproposto nel 1839 dal perito fiscale G. D'Ovidio, Archivio Storico Comunale di Lanciano

ed ha la direzione dei lavori di demolizione di un ponte sul fiume Tronto. Nel 1806 progetta, sempre insieme al Forti, un monumento temporaneo dedicato a Giuseppe Bonaparte nella piazza della Croce, a Teramo, e, per la prima volta fuori dalla sua città, collabora al progetto di un mulino a barche sul fiume Pescara, a Pescara.

Nel 1807 ottiene la direzione dei lavori dell'importante strada provinciale che unisce Chieti a Popoli.

Da questo momento è molto attivo particolarmente nella progettazione stradale, assumendo in molti casi anche la direzione dei lavori, come per la strada provinciale che collega la via consolare Chieti-Popoli fino a Teramo, dal 1807 fino al 1812, oppure per la strada consolare da Isernia a Castel di Sangro, del 1810, quando dirige anche i lavori per la realizzazione di un ponte di battelli sul fiume Tronto e collabora con il Forti per il progetto della strada provinciale da Roccaraso a Palena fino a Lanciano. Negli anni 1810-'11 progetta anche alcune cappelle a Città Sant'Angelo; seguono in quegli anni ancora una serie di progetti stradali, come quello della sistemazione della vecchia strada consolare da Chieti a Popoli, oppure della nuova strada consolare che unisce Popoli a Pescara, per la quale disegna anche un ponte stabile in legno.

Si può affermare che è nel 1811 che il Michitelli raggiunge la maturità ed il successo, quando viene destinato alla provincia dell'Abruzzo Citeriore: lascia la sua Teramo, considerata allora la città culturalmente più evoluta dei tre Abruzzi, per andare a risiedere a Chieti, la città probabilmente più ricca della regione[46]. Egli lavora per più di dodici anni in questo dipartimento, costituito da tre distretti: quello di Chieti, da cui dipende tutta la provincia, e quelli dei due distretti di Lanciano e Vasto, sedi delle due sottointendenze.

Del 1812 si hanno a Chieti i progetti per il Teatro Comunale e per la trasformazione del dismesso convento di S. Domenico Vecchio in Palazzo dell'Intendenza dell'Abruzzo Citeriore; dal 1813 al 1816, nella stessa città, si han-

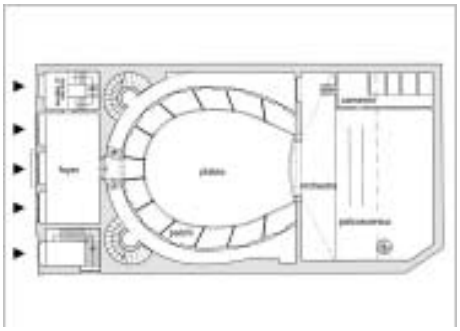


Fig. 6 - Ricostruzione della pianta del Teatro Comunale di Chieti, come nel progetto originale del 1812 di Eugenio Michitelli.

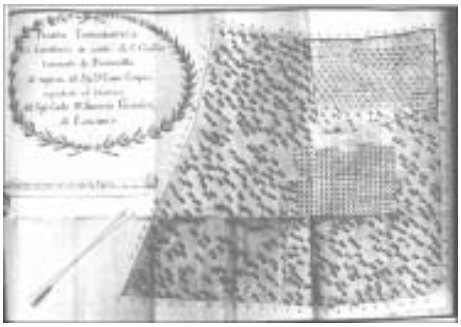


Fig. 7 - Eugenio Michitelli, rilievo di un terreno a Francavilla al M. eseguito per stimare il valore di un fondo rustico pignorato, Chieti 1817, ASCH

no i progetti per la trasformazione in edifici pubblici, con archivi, di alcune costruzioni appartenute in passato ad ordini religiosi, come l'istituto delle Scuole Pie e il convento di S. Francesco alla Scarpa, nel 1813, e successivamente il convento degli Agostiniani; sempre a Chieti progetta nel 1815 la trasformazione del quartiere della Civitella in Caserma della Gendarmeria Reale.

Tra il 1816 e il 1817 torna a preparare molteplici progetti stradali, fra i quali si possono citare la strada che unisce il Fiume Pescara al fiume Trigno, oppure quella che unisce Lanciano alla Provinciale per Chieti. Per la città di Lanciano fra il 1817 ed il 1822 prepara il Piano Urbanistico, ma nel 1817 progetta anche il Teatro Comunale e la facciata della cattedrale di Santa Maria del Ponte, e poi fra il 1818 e il 1820 progetta il camposanto comunale. Sempre a Lanciano, nel 1822, elabora la trasformazione in prigione distrettuale dei complessi conventuali di Santa Maria della Nuova e del convento dei Padri Lateranensi.

Fino al 1824, data del suo trasferimento a Napoli, lavora a vari interventi stradali e per la realizzazione di ponti in diverse località dell'Abruzzo Citeriore, impegnandosi anche in attività minori, come ad esempio nella valutazione di terreni. La figura del Michitelli assume un ruolo di primo piano: egli è in pieno un uomo del suo tempo, un interprete preciso e puntuale delle innovazioni in campo urbanistico ed architettonico; è protagonista in prima persona del cambiamento di rotta neoclassico, in seguito al quale le opere più importanti diventano gli edifici pubblici ed istituzionali, come i teatri, le biblioteche, i musei, gli ospedali, le carceri e i camposanti: l'edificio da monumento si trasforma in espressione di una funzione sociale.

Eugenio Michitelli, dopo la sua morte, ha ricevuto abbondanti elogi per le sue qualità di architetto e ingegnere espresse nelle opere che ha lasciato, soprattutto per la sobria facciata della Cattedrale di Santa Maria del Ponte a Lanciano, forse la sua opera migliore negli

anni della maturità, insieme al teatro comunale di Chieti dove ha potuto esprimere tutto il suo talento e la sua personalità di architetto, in quegli anni dove erano limitate le occasioni per dimostrare il proprio valore. Entrato nel Corpo Reale degli Ingegneri di Ponti e Strade, effettua soprattutto un lavoro di verifiche, perizie, consolidamenti, riadattamenti, trasformazioni e progettazioni di ponti e strade; egli è rappresentativo del nuovo tipo di professionista, espressione degli inizi del XIX secolo.

[1] H. R. HITCHOOCK, *L'architettura dell'ottocento e del novecento*, Torino, Einaudi, 1958, p. 17.
[2] A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni urbane nella Napoli dell'Ottocento*, Napoli, ed. ESI, 1985, p. 22.
[3] A. BUCCARO, *Opere pubbliche e tipologie urbane nel Mezzogiorno preunitario*, Napoli, Electa, 1992, p. 8.
[4] G. CRUGNOLA, "La viabilità nella Provincia di Teramo", in *Monografia della Provincia di Teramo*, vol. III, Teramo, ed. G. Fabbro, 1895, pp. 144-145.
[5] G. LANDI, *Istituto di Diritto Pubblico nel Regno delle Due Sicilie (1815-1861)*, tomo I, Milano, ed. A. GIUFFRÈ, 1977, p. 64.
[6] ARCHIVIO DI STATO DI PESCARA, Fondo Intendenza, Pescara, fasc I; *Ibidem*, fasc. VI.
[7] ARCHIVIO DI STATO DI CHIETI., F. I., Opere Pubbliche di Chieti, busta 126, fasc. 2245, f. 7.
[8] ASCH, F. I., OP. di Chieti, b. 96, fasc. 2050, f. 35.
[9] A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni*, *op. cit.*, p. 19.
[10] L. COPPA ZUCCARI, *L'invasione francese negli Abruzzi (1798-1815)*, vol. IV, Roma, ed. Vecchioni, 1928, p. 820.
[11] A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni*, *op. cit.*, p. 21.
[12] N. PALMA, *Storia ecclesiastica e civile della regione più settentrionale del Regno di Napoli, detta anche dagli antichi Pratutium, ne' bassi tempi Aprutium, oggi città di Teramo e diocesi aprutina*, vol. V, Teramo, ed. T. Angeletti, 1835,pp. 341-342.
[13] ARCHIVIO DI STATO DI TERAMO, Intendenza Francese, b. 32, fasc. 479.
[14] G. DE LUCIA, *Abruzzo Borbonico cultura, società, economia fra sette e ottocento*, Vasto, ed. Cannarsa, 1984, p. 83.
[15] L. COPPA ZUCCARI, *op. cit.*, vol. I, pp. 641-642.
[16] *Ibidem*, vol. II, pp. 739-740.
[17] G. LANDI, *op. cit*., p. 415; A. Valente, *Gioacchino Murat e l'Italia meridionale*, Torino, Einaudi, 1976, p. 327 alla nota n. 3.
[18] ASTE, I. F., b. 32, fasc. 479; N. Palma, *op. cit.*, vol. V, pp. 342-343; V. BINDI, *Artisti abruzzesi*, Napoli, ed. Comm. De Angelis e figlio, 1883, p. 171; A. AVENANTI, *Cultura e arte a Teramo nel periodo illuminista*, "Itinerari", nuova serie, XVII, nn. 1-2, aprile-agosto, Lanciano 1978, pp. 247-248.
[19] G. LANDI, *op. cit*., p. 416.
[20] ASTE. I. F., b. 32, fasc. 479; N. PALMA, *op. cit.*, vol. V, p. 341.
[21] *Idem*.
[22] ASTE, I. F., b. 32, fasc. 479.
[23] L. COPPA ZUCCARI, *op. cit.*, vol. IV, p.820.
[24] ASTE, I. F., b. 32, fasc. 479.
[25] A. BUCCARO, *Opere pubbliche e tipologie urbane*, *op. cit*., p. 8.
[26] G. B. DELFICO, *Dell'Interamnia Pretuzia*, appendice, Napoli, ed. Stamperia Reale, 1812, p. 3.
[27] A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni*, op. cit., p. 25.
[28] L. RENZETTI, *Il santuario di nostra Signora del Ponte*, Lanciano, ed. F. Tommasini, 1887, pp. 64-65.
[29] ASCH, Fondo Zambra, b. 28, *Carte e carteggi relativi alla costruzione del teatro intitolato di S. Ferdinando in questa città di Chieti.*
[30] AA. VV., *Lanciano città d'arti*, Lanciano, ed. Carsa, 1995, p. 36.

[31] C. MARCIANI, *Regesti di protocolli e deliberazioni decurionali del Comune di Lanciano*, vol. XI, manoscritto presso la Biblioteca Comunale di Lanciano - CH, pp. 341-342.
[32] ASTE, I. F., b. 32, fasc. 479.
[33] Con il Decreto del 21 giugno 1811 si aumenta il numero degli ingegneri, creando così due nuovi posti per ingegneri ordinari di prima classe. *Idem*.
[34] *Ibidem*, b. 126, fasc. 2247, f. 25.
[35] A. BUCCARO, *Istituzioni e trasformazioni*, *op. cit.*, pp. 25-26.
[36] ASCH, F. I., OP di Chieti, b. 126, fasc. 2247, f. 24.
[37] ASCH, F. I., OP di Chieti, b. 126, fasc. 2245, f. 7, "Istruzioni".
[38] G. LANDI, *op. cit*., t. I, p. 418.
[39] ASCH, F. I., OP di Chieti, b. 52, fasc. 2247, f. 26.
[40] *Ibidem*, fasc. 862, f. 25.
[41] *Ibidem*, fasc. 1961, ff. 21-30.
[42] G. LANDI, *op. cit.*, t. I, p. 415.
[43] N. PALMA, *op. cit*., p. 343.
[44] ASTE, I. F., b. 32, fasc. 479; L. COPPA ZUCCARI, *op. cit*., p. 820.
[45] ASCH, OP di Chieti, b. 126, fasc. 2247, f. 25.
[46] G. PANNELLA, *L'abate Quartapelle e la coltura in Teramo*, Napoli, ed. A. Morano, 1887, p. 151.

Laura Facchinelli

Il ponte ferroviario fra Venezia e la terraferma

Il collegamento fra Venezia e la terraferma è costituito da tre ponti affiancati che attraversano la laguna: il vecchio ponte ferroviario costruito a metà Ottocento, il ponte stradale degli anni '30 del Novecento e un secondo manufatto ferroviario realizzato a partire dagli anni '60. La storia della città è cambiata a partire dal primo attraversamento ferroviario: da quel momento si è creata una struttura stabile per un percorso che, fino ad allora, si era potuto effettuare solo con le barche.

Proposta già in precedenza per trovare nuovi sbocchi alle attività commerciali della Serenissima1, nell'Ottocento l'idea di un ponte per collegare la città insulare con la vicina terraferma si andò affermando con vari progetti. Nel periodo napoleonico, per esempio, si pensò di congiungere la zona dell'Arsenale con la terraferma in località Cavallino. Nel 1823 un certo Luigi Casarini disegnò, da Campalto alla Sacca di Sant'Alvise, un ponte che doveva servire a rivitalizzare una zona marginale e assai povera della città. Lo studioso pensava ad una strada percorribile sia in carrozza che a piedi, ombreggiata da filari d'alberi, con una grande piazza nel mezzo, per consentire la sosta dei passanti; a Venezia doveva sorgere una stazione postale con stalle e rimesse.

La costruzione di un ponte poneva però due ordini di problemi: occorreva infatti garantire sia l'integrità e l'equilibrio naturale della laguna che la sicurezza della città sotto il profilo strategico-difensivo. Poi c'erano le critiche degli irriducibili che, al di là dell'indubbia utilità di un ponte, vi scorgevano uno stravolgimento delle consuetudini secolari e della natura stessa della città.

La prima volta che si pensò ad un ponte per portare a Venezia la ferrovia fu nel 1830, quando il treno era stato inventato da cinque anni appena e in Italia non esisteva ancora nessuna linea. Il disegno proposto dall'ing. Baccanello col capomastro Biondetti-Crovato era molto audace: si trattava di condurre il ponte fino all'isola della Giudecca facendo sviluppare il binario lungo tutta la sua lunghezza fino a raggiungere la vicina isola di San Giorgio. Proprio in quel punto doveva sorgere la stazione, con affaccio sul bacino di San Marco, che allora accoglieva le operazioni portuali. Era una proposta dirompente, che venne ben presto abbandonata.

La proposta destinata a giungere a realizzazione venne presentata cinque anni dopo dai signori Sebastiano Wagner e Francesco Varè alla Camera di Commercio di Venezia, che se ne fece portavoce presso il governo di Vienna: si trattava di costruire una ferrovia che congiungesse le due capitali del Regno Lombardo-Veneto, Milano e Venezia. La Camera di Commercio, avuta con-



Fig. 1 – "Tracciamento della strada ferrata da Venezia a Milano studiato dalla Commissione fondatrice lombardo-veneta", con una veduta immaginaria del ponte sulla laguna

ferma dell'interesse del governo, nominò una commissione con l'incarico di studiare il progetto e interessò anche la Camera di Commercio di Milano. Le due commissioni si incontrarono a Verona il 26 maggio 1836: fu in quell'occasione che venne presentata per la prima volta la richiesta di un ponte in muratura.

La commissione fondatrice veneta riteneva, infatti, necessario che una tale struttura venisse realizzata, per porre fine all'isolamento che danneggiava pesantemente la città di Venezia. Inoltre la strada ferrata, sempre a parere della commissione, sarebbe rimasta incompiuta se il treno si fosse arrestato sul margine della laguna, perché in quel caso i viaggiatori avrebbero dovuto affidarsi, anche in futuro, al lento trasporto delle barche. L'impresa si presentava molto impegnativa anche dal punto di vista finanziario, cosicché il congresso deliberò che la spesa doveva far carico interamente alla società ferroviaria a condizione che il costo non fosse superiore a 4 milioni di lire austriache: in tali termini la commissione lombardo-veneta si espresse nella supplica per la concessione del "Privilegio".

Si diede incarico all'ing. Tommaso Meduna di redigere un progetto del ponte. Il progetto, ultimato in pochi mesi, venne presentato ufficialmente il 20 settembre 1836.

Meduna prese in esame ben cinque tracciati possibili, tenendo presenti la conformazione e la natura della laguna e considerando che Mestre e Fusina erano i punti d'approdo maggiormente frequentati da quanti si recavano a Venezia. Una delle soluzioni riprendeva la vecchia idea di condurre la ferrovia fino all'isola di San Giorgio, che però era complessa e dispendiosa. Quanto al punto di arrivo in terraferma, fra Mestre e Fusina, appariva preferibile passare per Mestre: per la minor lunghezza complessiva, per il minor numero di canali da attraversare, ma anche perché in tal modo la ferrovia avrebbe servito un borgo assai popoloso, sul quale convergevano tutte le strade di terraferma.

La scelta si orientò sulla linea che partiva dalla località San Giuliano, nei pressi appunto di Mestre, giungendo a Venezia in corrispondenza della Sacca di Santa Lucia, che presentava un'ampia area pressoché sgombra da edifici. Il ponte doveva essere costruito di mattoni con profili di pietra d'Istria, con 234 arcate per una lunghezza di 3.477 m e una larghezza di 8 m, sufficienti per un solo binario, con due marciapiedi laterali per il transito dei pedoni e filari di



Fig. 2 – Stampa raffigurante il ponte secondo il progetto di Tommaso Meduna

alberi per dare ombra. Il progettista escludeva l'uso del legname nella costruzione perché, a fronte di una minore spesa immediata, quel materiale avrebbe comportato un onere molto maggiore per i frequenti restauri ed interventi di manutenzione. Inoltre una struttura di legno avrebbe dato origine a qualche vibrazione, la quale -secondo lo studioso Carlo Cattaneo, che descrisse e commentò il progetto sugli Annali Universali di Statistica[2]- "se anche non avesse a turbare la precisa connessione delle rotaie, riuscirebbe molesta e sembrerebbe pericolosa ai passeggieri, in tanta lunghezza, e tanto isolamento nel mezzo d'uno spazio immenso che ha l'aspetto di un mare".

L'idea di allargare il ponte in più punti realizzando delle piazzette era ispirata al progettista dall'effetto visivo che sarebbe derivato dalla notevole lunghezza in rapporto alla larghezza: quelle isole dovevano servire per dissipare un effetto probabilmente impressionante per i viaggiatori, oltre che per dare solidità e ornamento alla costruzione. La piazzetta centrale doveva essere tanto spaziosa da potervi costruire un edificio dove potessero trovare rifugio sia i guardiani della strada ferrata che i pedoni: quest'ultimi sarebbero stati ammessi a transitare su passaggi ricavati a fianco della strada ferrata e protetti mediante steccati di legname.

Il progetto Meduna venne bocciato dal Consiglio Aulico di Guerra; anzi, per motivi di difesa venne bocciato qualunque ponte in muratura attraverso la laguna. Più tardi venne dato un permesso di massima, ma solo per un ponte di legno. Nel 1837, ottenuto, il "Privilegio" del sovrano3, si costituì una società pubblica di azionisti che assunse la denominazione di "Privilegiata Strada Ferrata Ferdinandea Lombardo-Veneta". Si

scelse un itinerario che doveva servire le maggiori città del Regno (Brescia, Verona, Vicenza, Padova) per garantire un rendimento economico adeguato. Per il progetto esecutivo si diede incarico all'ing. Giovanni Milani, un veronese che aveva maturato una certa esperienza di ferrovia. Il progetto, reso pubblico nel gennaio del 1840, venne approvato tre mesi più tardi.

L'ing. Milani dedicò gran parte del suo lavoro[4] proprio allo studio della laguna veneta e al disegno del ponte. Nel progetto, il tracciato si sviluppava lungo il "paludo" di San Secondo, punto intermedio fra due spartiacque, e questa era la condizione ideale. Milani precisava, infatti, che il manufatto non doveva deviare lo spartiacque né contrastare le correnti e doveva intersecare il minor numero possibile di canali: solo a tali condizioni poteva essere mantenuto l'equilibrio di quell'ampio bacino. Dato, però, che si doveva attraversare il Canale Colombola, punto di confluenza dei tre canali principali di Venezia, e quindi nodo necessario per il movimento commerciale della città, l'ingegnere proponeva di inserire un ponte di legno lungo 61 m, apribile, per consentire il transito dei navigli. Per assicurare la continuità alle condotte dell'acqua e del gas sarebbe stata necessaria la costruzione di un tunnel sotto il fondo della laguna.

La restante parte del ponte, lunga 3.486 m, doveva essere costituita da una struttura di mattoni con rivestimenti di pietra, con una grande piazza al centro e, da ciascun lato, due piazze minori.

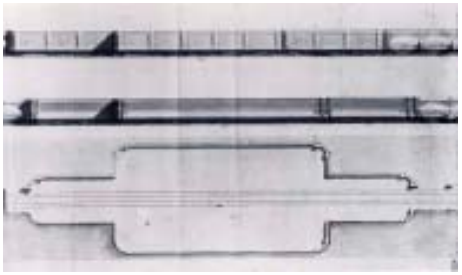


Fig. 3 – Progetto di Giovanni Milani, prospetto e pianta della piazza centrale del ponte

Erano anche previsti approdi a gradinate sulle due testate, con illuminazione lungo tutto il percorso: il ponte non sarebbe stato a servizio esclusivo della ferrovia, ma anche percorribile a piedi. Per ragioni di economia, era previsto un solo binario, ma per Milani questa limitazione non avrebbe comportato inconvenienti, dato che il tratto era ubicato all'estremità della linea. Si puntava al risparmio nell'uso dei materiali, ma nella piazza centrale non mancava un duplice monumento in segno di riconoscenza all'imperatore.

Sulla base di un attento studio dei fondali della laguna e delle costruzioni veneziane, Milani calcolava in 2 m e mezzo la profondità occorrente per le fondamenta del ponte. La costruzione sarebbe stata iniziata dalle piazzette intermedie, così da procurarsi in mezzo alla laguna, lungo la linea del ponte, delle comode basi per i lavoranti e i materiali

Contro il disegno di Milani si scatenarono le polemiche: ne fu protagonista Carlo Cattaneo, il quale criticava anzitutto la somiglianza rispetto al progetto del Meduna. Sul piano tecnico, Cattaneo esprimeva grandi perplessità

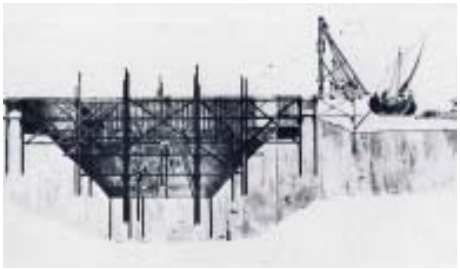


Fig. 4 – Disegno che illustra il procedimento da adottare per porre all'asciutto il terreno, al fine di procedere alla costruzione delle fondamenta del ponte

nei confronti del ponte girevole e suggeriva di accorciare il ponte e farlo terminare con un'ampia piazza dove poteva sorgere la stazione, precisando che ancor meglio sarebbe stato evitare il ponte e far attestare la ferrovia a Mestre: da quella località si poteva raggiungere Venezia, come si era sempre fatto, con barche a vapore, in modo rapido e molto più economico. Fra accuse, repliche e controrepliche[5], la questione si protrasse per lungo tempo.

Nel 1840 Milani si ritirò, a causa di divergenze insorte con la società, e le funzioni di ingegnere in capo vennero assunte da Luigi Duodo. Meduna, incaricato di riesaminare il progetto del Milani, vi apportò alcune modifiche. Fu su quella base che il 7 aprile 1841 venne stipulato il contratto preliminare con l'impresario Antonio Busetto detto Petich, noto per la sua esperienza nella realizzazione di opere di grande complessità. La prima pietra venne collocate il 25 aprile e i lavori iniziarono con le fondazioni della piazza maggiore. Con il contratto definitivo si decise di omettere l'acquedotto.

Nell'anno 1841 iniziarono i lavori di costruzione della ferrovia Ferdinandea contemporaneamente in tre settori: oltre al ponte sulla laguna, la stazione di Venezia e il tronco di terraferma da Mestre in direzione di Milano. Per primo venne ultimato il tronco di ferrovia da Marghera (ponte dell'Anconetta) a Padova, con inaugurazione il 12 dicembre 1842. Alla fine del 1843 vennero attivati i 1.400 m sulla terraferma da Marghera a San Giuliano, fino al margine della laguna. In attesa del ponte, il servizio ferroviario veniva completato da un collegamento per via d'acqua, effettuato sempre dalla società delle strade ferrate.

Per il ponte, la direzione dei lavori venne affidata all'ing. Andrea Noale con l'incarico di elaborare un ulteriore progetto.

Le differenze del progetto Noale rispetto ai due precedenti risultarono notevoli. La lunghezza del ponte, che doveva svilupparsi su 222 arcate, era di 3.602 m, con quattro piazze minori e una maggiore al centro; la larghezza veniva portata a 9 m, in previsione di una linea a doppio binario. Il ponte di Noale, pur essendo più lungo e più largo dei manufatti disegnati il precedenza e pur prevedendo uno splendido parapetto di pietra d'Istria, richiedeva una spesa minore. Piacque tanto, quel progetto, che venne senz'altro adottato6. In attesa dell'approvazione, si procedette nell'esecuzione dei lavori preparatori.

Nello stesso anno 1842 Duodo cessò dal servizio e tornò il Milani, ma alla direzione dei lavori del ponte restò il

Noale. L'approvazione del progetto giunse nel maggio 1842; si decise di omettere il ponte girevole.

I lavori procedevano a partire dalla grande piazza centrale e dalle piazzette minori. Per le fondazioni furono impiegati circa 80.000 pilotti di larice, sui quali veniva collocata una copertura di travi di larice, formando un graticcio. Per proteggere i lavori di fondazione vennero costruiti circa 8.000 m lineari di chiuse; venne eseguito un movimento di terra di quasi 100 mila mc per escavi e terrapieni. Gli archi venivano coperti di cemento, e sopra si formava un terrapieno battuto; sopra quel terrapieno, per una maggior protezione delle volte, si poneva uno strato di asfalto naturale. Per la parte in muratura vennero impiegati 16 milioni di mattoni, e 15 mila "sterci" di pietra da taglio vennero utilizzati per fasce e parapetti di finitura. Lungo i parapetti si costruivano, uno per lato, i canali di muratura che dovevano racchiudere i tubi di ghisa per la condotta dell'acqua potabile.

Ogni giorno lavoravano sul posto circa 1.000 uomini, ai quali si aggiungevano quelli impegnati nei boschi per la fornitura del legname, nelle cave dell'Istria per il taglio della pietra, nelle fabbriche di mattoni e nelle ferriere. Si utilizzavano continuativamente 46 barche per il trasporto di legnami o altri materiali, mentre 14 bastimenti viaggiavano regolarmente dall'Istria a Venezia per trasportare in laguna la pregiata pietra bianca [7].

Nella lapide murata sotto il 222° arco leggiamo la data 27 ottobre 1845. La costruzione di quell'opera imponente era durata meno di cinque anni, malgrado i contrasti, a volte assai duri, sorti fra i responsabili dei lavori. Rispetto alla spesa prevista dal contratto (4 milioni e mezzo di lire), quella effettiva risultò superiore di quasi un milione.

Il 4 gennaio 1846 venne effettuata una corsa di prova sull'intera linea da Venezia a Vicenza8, e il percorso venne compiuto in meno di due ore. L'inaugurazione ufficiale si svolse, con gran-

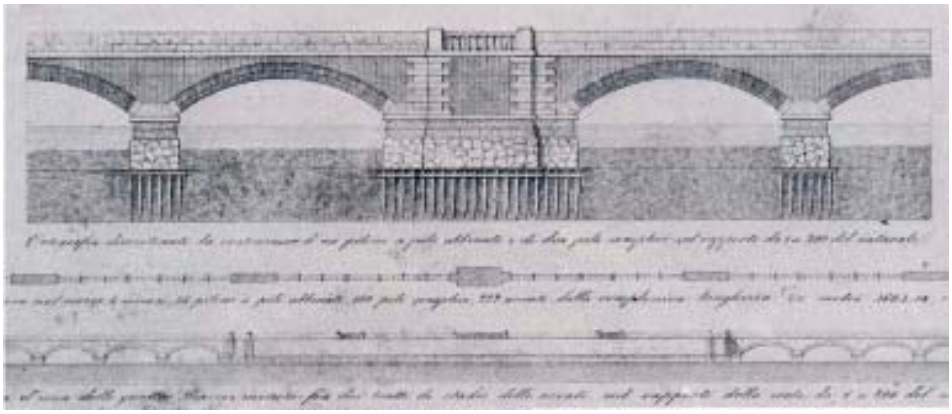


Fig. 5 – Particolare del ponte, riprodotto nella "Carta Topografica della laguna di Venezia e del territorio conterminante [...] con cenni descrittivi del gran ponte sulla laguna", 1847

de solennità e concorso di folla, l'11 gennaio, alla presenza dell'arciduca Ferdinando d'Austria e del Conte Giovanni Correr, podestà di Venezia. "Il carattere architettonico del ponte è di stile romano", si precisava in un opuscolo edito per l'inaugurazione[9]: "Bugnato generalmente in tutte le pile e nei basamenti dei piloni, delle piazze e delle testate […]. Il parapetto è di forma attica, massiccio sopra le arcate, a trafori di colonnette nelli piloni maggiori ed a comparti di trafori nelle piazze".

Nel punto di innesto del ponte ferroviario nella città di Venezia c'era un vasto spazio libero da costruzioni, ma poco oltre si innalzavano chiese e palazzi di nobili famiglie che si affacciavano sul Canal Grande. Con l'inserimento delle strutture ferroviarie, quella zona era destinata a subire un mutamento radicale; tuttavia, da area marginale, sarebbe diventata punto nevralgico della città.

Dapprima si allestirono i servizi ferroviari in una striscia di terreno che si incuneava fra la chiesa di S. Maria di Nazareth e quella di S. Lucia, ma ben presto quella sistemazione provvisoria apparve insufficiente, pertanto si demolì la chiesa di Santa Lucia con tutti gli altri edifici esistenti sul lato ovest. Il complesso della nuova stazione, ultimato nel 1860, venne pertanto ad affacciarsi sul Canal Grande[10].

Nel 1880 l'attivazione della stazione ferroviaria marittima completò il rovesciamento verso il continente della vocazione di Venezia, storicamente rivolta al mare. La presenza del duplice



Fig. 6 – Veduta aerea degli anni '30, dove si scorge il ponte ferroviario ottocentesco con i binari di stazione e il ponte stradale col terminale di piazzale Roma

terminale ferroviario determinò profondi mutamenti anzitutto nella configurazione della città: guardando, infatti, a quel nuovo polo della vita economico-sociale, si disegnarono nuove direttrici di percorso e si ampliarono le strade esistenti. La presenza della ferrovia valse, inoltre, come forza di aggregazione di attività industriali.

Nel Novecento due nuove opere si affiancarono al ponte ferroviario ottocentesco. Nel primo ventennio del secolo la realizzazione del porto industriale a Marghera diede nuovo impulso alla progettazione di un collegamento stradale fra Venezia e la terraferma. Finita la prima guerra mondiale, il Comune bandì un concorso nazionale, ma l'esito fu deludente. Proseguirono le libere progettazioni, fino quando la realizzazione del ponte venne inserita nell'ambito di un vasto programma di rivitalizzazione economica della città.

Venne elaborato un progetto di massima, che prevedeva un ponte parallelo e adiacente a quello ferroviario, con una struttura di cemento armato costituita da

una serie di travate di luce uguale a quelle delle arcate del ponte ferroviario, ripetendo la stressa distribuzione di piazzali, pile e pile spalle.

L'ing. Eugenio Miozzi, Capo dell'Ufficio Tecnico del Comune, predispose il progetto esecutivo ispirandosi al ponte preesistente, e quindi tornando alla volta in mattoni su basamento di pietra e calcestruzzo. Il ponte, lungo 4.035 m e largo 22, venne inaugurato il 25 aprile 1933, col nuovo terminale automobilistico di piazzale Roma[11].

Negli anni '60 del Novecento, mentre le strutture del ponte ultracentenario si presentavano pienamente valide, la linea fra Venezia e la terraferma era inadeguata alle velocità dei moderni convogli. Dato che un intervento sotto esercizio si presentava estremamente complesso e oneroso, le Ferrovie decisero di costruire un secondo ponte con una nuova linea modernamente attrezzata, che in prospettiva futura avrebbe messo a disposizione una linea a quattro binari. Nel 1961 venne bandito un appalto-concorso per il nuovo ponte, che doveva affiancarsi al manufatto ottocentesco, eliminandone il parapetto ma rispettandone la sagoma e l'allineamento delle pile. I lavori di costruzione iniziarono nel 1965 e si conclusero nel 1973.

Nel 1977, a 131 anni dalla costruzione, sul vecchio ponte ferroviario la circolazione ferroviaria venne provvisoriamente sospesa. Iniziarono le opere di risanamento; in particolare si era programmato di mettere a nudo le arcate per eliminare le infiltrazioni d'acqua che si erano manifestate nel tempo. Ma ecco che, tolta la massicciata, si constatò che il manto protettivo, costituito da sabbia del fondo lagunare, era integro. Si decise pertanto di mantenerlo e si provvide ad eliminare le infiltrazioni mediante iniezioni di cemento dal basso. Si sostituì il manto impermeabile di pece con un nuovo strato protettivo e si posero nuove rotaie.

Il ponte ottocentesco è ancor oggi in esercizio, a fianco delle altre due strutture. Nel gennaio 2006 ha compiuto 160 anni.

[1] Il primo a proporre la costruzione di un ponte fu il doge Marco Foscarini nel 1763.

[2] C. Cattaneo, *Primi studi dell'ing. Tommaso Meduna di Venezia, intorno al progetto di un ponte sulla veneta laguna ad uso delle strada ferrata tra Venezia e Milano,* «Annali Universali di Statistica», vol. 50° ottobre-dicembre 1836.

[3] Il riconoscimento garantiva i promotori dalla concorrenza di analoghe iniziative.

[4] G. Milani, *Progetto di una strada a guide di ferro da Venezia a Milano,* Venezia, 1840.

[5] La polemica fra Milani e Cattaneo trovò ampio risalto sulle pagine della rivista "Il Politecnico". Cfr. C. Cattaneo, G. Milani, *Ferdinandea. Scritti sulla ferrovia da Venezia a Milano, 1836-1841,* introduzione di Pietro Redondi, Biblioteca della Scienza Italiana, XXVX, Firenze, 2001.

[6] Per un confronto fra i tre progetti del ponte cfr. G. Gerlin, *Della congiunzione di Venezia colla terraferma, con illustrazione del grandioso ponte sulla laguna* […], Venezia, 1855.

[7] G. Gerlin, *Della congiunzione,* cit.

[8] Contemporaneamente al ponte translagunare erano state costruite le tratte Padova-Vicenza e Milano-Treviglio. Successivamente verranno costruite le tratte Vicenza-Verona (1849, con

apertura del ponte sull'Adige nel 1852), Verona-Brescia-Coccaglio (1854) e Treviglio-Bergamo-Coccaglio, a completamento della linea Milano-Venezia (1857).

[9] G. Gerlin, *Il gran ponte sulla veneta laguna che congiunge Venezia colla terraferma [...] inaugurato il giorno 11 gennaio 1846. Cenni storici ed artistici*, Venezia, 1846.

[10] A. Bernardello, *L'origine e la realizzazione della stazione ferroviaria di Venezia (1838-1866),* sta in "Storia Urbana", anno IX, n° 33 ott/dic, 1985. L'edificio resterà in funzione fino agli anni immediatamente precedenti alla seconda guerra mondiale, quando inizierà la costruzione di un nuovo edificio, ben presto sospeso a causa degli eventi bellici. L'attuale stazione è stata realizzata nei primi anni '50.

[11] E. Miozzi, *Il ponte del Littorio,* Venezia, 1934. Sulla costruzione del collegamento fra Venezia e la terraferma e sulle vicende della stazione di Venezia. Cfr. L. Facchinelli, *Il ponte ferroviario in laguna,* Venezia, 1987. Fra le altre pubblicazioni: v. *La grande Venezia. Una metropoli incompiuta fra Otto e Novecento*, a cura di G. Zucconi, Venezia, 2002.

Paolo Piantanida

Tra ingegneria e architettura: il villino "ingegneria sanitaria" a Torino e le istanze igieniste tra Ottocento e Novecento

1. *Premessa*

Molte sono le novità che condizionano lo sviluppo dell'ingegneria nell'Ottocento, ormai affrancatasi dall'originario ambito militare, dalla crescente industrializzazione allo sviluppo di infrastrutture civili, all'impiego di nuovi materiali, all'applicazione di nuove teorie scientifiche.

Nel progressivo dilatarsi ed intersecarsi di ambiti, talvolta molto diversi fra loro, attorno alla figura professionale dell'ingegnere, questo contributo intende mettere a fuoco alcune mutazioni indotte dal progressivo affermarsi del movimento igienista. È questo un campo che vede il continuo rapportarsi ed integrarsi di due settori disciplinari diversi, quello della Medicina e quello dell'Ingegneria, entrambi rivolti all'uomo, non solo ad evitare l'insorgenza delle malattie (prevenzione), ma anche a rendere più efficienti i fattori favorevoli alla salute e al benessere degli individui. Tre sono gli ambiti tipici del movimento igienista -salubrità degli ambienti liberi e confinati, igiene individuale, lotta contro le malattie infettive e le malattie sociali- ed in ognuno di essi l'osmosi tra ingegneria e medicina produrrà un nuovo "sapere" che -se per l'ingegnere è, tipicamente, un "saper fare"- porta con sé l'imprescindibile esigenza di "far sapere", ossia della divulgazione, e di "dover fare", ossia dell'adempimento agli obblighi derivanti dal progressivo aggiornamento in senso igienista del corpus legislativo.

Nel sec. XIX il primo esempio normativo è rappresentato dal Regolamento Napoleonico, promulgato nel 1806 e riguardante la polizia medica del Regno d'Italia. Il primo Ufficio Generale della Sanità è però istituito nel Regno Unito nel 1848 e tale fondamentale iniziativa è successivamente imitata da tutti i Paesi europei. Nell'Italia postunitaria, l'Ufficio Sanitario Centrale -avviato su iniziativa dei medici A. Bertani e G. Lanza, poi Ministro- diventa, nel 1887, Direzione Generale di Sanità con a capo il Prof. Luigi Pagliani di Torino ed il compito di riordinare ed organizzare la legislazione sanitaria nazionale[1]. Ad essa si aggiungono, a partire dal 1888, il Consiglio Superiore di Sanità ed i Consigli Sanitari Provinciali[2]. Parallelamente si interviene sulla formazione universitaria: all'Università di Torino è istituita nel 1877 una cattedra di Igiene che viene affidata a Luigi Pagliani, medico igienista allora appena trentenne: l'insegnamento è destinato a tutte le facoltà mediche ed è esteso a partire dall'anno accademico 18981899 alla Scuola d'Applicazione per ingegneri, quale materia di studio facoltativa, "e ancora superando mille difficoltà"[3].



Fig. 1 – Torino, Villino Ingegneria Sanitaria

2. *Verso l'ingegnere igienista*

Durante l'Ottocento, e particolarmente dopo la seconda metà del secolo, l'affermarsi dell'Igiene quale disciplina scientifica suscita l'interesse dell'ingegneria e dell'industria verso la risoluzione dei problemi impostati dagli igienisti. Il campo d'azione è perciò ampio e complesso, poiché si estende dall'impostazione urbanistica degli abitati ai servizi di fognatura, acquedotto, nettezza urbana ecc., sino al controllo delle caratteristiche distributive e di salubrità degli edifici.

Alla fine dell'Ottocento l'approvazione della legge sulla tutela dell'igiene e della sanità pubblica, costituisce nuovo efficace impulso ad intervenire "nei Comuni pel loro risanamento" e a "ottenere con la migliore istruzione degli uomini tecnici, la più illuminata opera degli artefici che ne sono gli immediati esecutori […] e [di] chi la esamina o consigli"[4].

Il problema della formazione dei nuovi tecnici progettisti è affrontato dal mondo accademico che, come si è visto, introduce -anche se con una certa inerzia- l'Igiene tra gli insegnamenti del curriculum degli studi. Parallelamente, però, sorge la questione di incitare gli ingegneri già attivi sul mercato ad aderire alle istanze del movimento igienista, anche per renderle immediatamente attuabili e per stimolare adeguatamente il mercato dei nuovi componenti e dei nuovi prodotti.

A questo fine, in Italia come in Europa, il movimento igienista cura particolarmente la propria visibilità nelle varie esposizioni che, destinate al grande pubblico, costituiscono efficace strumento per orientare il mercato, incluso quello edilizio, e per avvicinare i progettisti già in attività alla conoscenza dei dettagli progettuali. La formazione di questi ultimi è integrata dalla pubblicazione di appositi periodici che permettono di diffondere i "nuovi" criteri progettuali a tutti gli interessati. Non a caso una di queste riviste auspica, nell'editoriale del numero di gennaio 1891, "che accanto all'Ufficiale Sanitario dello Stato sia nei Comuni l'Ingegnere Sanitario, onde al consiglio segua l'azione illuminata, così ottenendo la formazione d'un *Genio Sanitario*, presidio di quella difesa"[5]: a soli due anni dall'approvazione della citata legge Crispi-Pagliani sulla tutela dell'igie-ne e della sanità pubblica, la cui applicazione era prevalentemente demandata a medici, diviene sentita la necessità di un tecnico che abbia la competenza interdisciplinare necessaria per tradurre in pratica i dettami del Movimento e per rispondere alle prescrizioni legislative.
Sta nascendo l'ingegnere igienista: secondo Corradini "L'architetto […] dovrà curare assai più la disposizione interna che non sia l'ornamentazione

esterna. Ma non basta! Colla buona disposizione l'architetto deve massimamente studiare la salubrità delle abitazioni, la *igiene della casa*!"[6] mentre, una decina di anni più tardi, Pagliani afferma che "Al concetto artistico della bellezza architettonica che, in passato, informava quasi esclusivamente l'opera dell'ingegnere architetto, i nuovi tempi hanno aggiunto e quasi sovrapposto quello pratico e umanitario della massima comodità e salubrità negli aggregati delle abitazioni come nei singoli edifizi. L'ingegnere architetto va diventando igienista: nelle sue opere associa all'arte l'igiene, perché l'uomo non trovi […] insidie alla propria prosperità fisica."[7].

3. *Francesco Corradini, Luigi Pagliani ed i periodici igienisti torinesi*

Nel panorama nazionale, il movimento igienista torinese è particolarmente vivace, non solo per la presenza di Luigi Pagliani, che stimola il mondo accademico ed influisce sul quadro normativo nazionale sino ad avere la responsabilità della Direzione Generale di Sanità, ma anche per l'attività editoriale, diretta a propagandare i dettami igienisti a livello nazionale.

Il primo periodico "tecnico-igienico" nasce nel 1890 -a poco più di un anno dall'approvazione della Legge Crispi-Pagliani- sotto la direzione di Francesco Corradini. Questi è ingegnere, a differenza di Pagliani che è medico, ed appartiene alla generazione di tecnici che non hanno avuto una formazione da ingegneri igienisti durante il

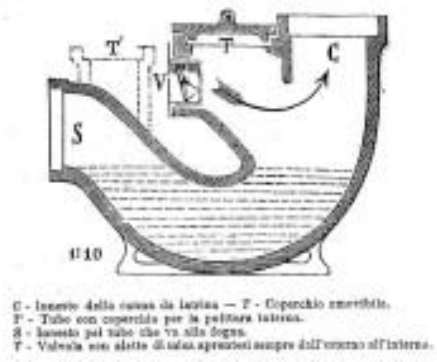


Fig. 2 – F. Corradini, Sifone Ventilatore

proprio corso di studi: approda perciò al movimento igienista per intima convinzione. Lo si capisce anche dalla citazione di P. Planat che apre un suo articolo sull'emissione termica di corpi scaldanti nervati[8], articolo per il resto squisitamente fisico-tecnico: *Le chauffage par les calorifères à nervures est beaucoup plous doux, plus régulier et plus sain*. Professionalmente parte della sua attività è dedicata la perfezionamento della tecnica degli impianti sanitari -competenza che gli vale una nomina nella Commissione speciale di riordinamento dell'Esposizione del 1890, settore apparecchi sanitari- sino a spingersi a progettare un sifone per colonne di scarico con serranda di mica per la sua ventilazione (Fig. 2), che peraltro suscita qualche dubbio in ordine alla tenuta all'acqua del dispositivo.

Il mensile da lui diretto, intitolato *L'Ingegneria Sanitaria*, si occupa dell'applicazione delle istanze igieniste a molteplici settori dell'ingegneria, dell'urbanistica e dell'architettura -anche se questa parola compare raramente

all'interno della rivista, che preferisce ad essa il termine "edilizia"- lasciando in secondo piano ricerche e comunicazioni di contenuto medico ed accademico.

La rivista pone perciò la propria attenzione all'evoluzione del ruolo dell'ingegnere e alla conseguente necessaria formazione professionale, come dimostrato dai raggruppamenti tematici dell'indice annuale[9]:

— *Dell'ingegneria sanitaria - dell'igiene edilizia*
— *Idrologia, condutture di acque potabili ecc.*
— *Fognatura*
— *Ospedali, istituti, asili, manicomi ecc.*
— *Riscaldamento ventilazione ed illuminazione*
— *Infortuni sui lavori. Previdenza e Assistenza. Case operaie*
— *Disinfezioni. Stabilimenti e apparecchi per la disinfezione*
— *Regolamenti Edilizii e vari*
— *Atti della Società d'Igiene e della Società degli Ingegneri*
— *Recensioni*
— *Bibliografie e libri nuovi*
— *Riviste*
— *Notizie varie*
— *Esposizioni, Concorsi, Congressi*
— *Indice delle Tavole*

A partire dal 1900 nasce a Torino una nuova rivista di ingegneria sanitaria (Fig. 3), intitolata *L'Ingegnere igienista - Rivista quindicinale di Ingegneria Sanitaria*: ne sono direttori Carlo Losio, ingegnere civile e membro del Consiglio Sanitario della Provincia di Torino, e Luigi Pagliani, che già conosciamo come Professore d'Igiene nella Regia Università e nella Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri di Torino.

Quest'ultimo, dopo avere riorganizzato la legislazione sanitaria e guidato la Direzione Generale di Sanità a Roma, ha partecipato, con l'ing. P. Carrera, al Concorso per la realizzazione del grande "Ospizio di Carità" di Torino (realizzato in quello che oggi è Corso Unione Sovietica) ed ha appena avviato a Torino l'insegnamento di Igiene anche presso la scuola di ingegneria.

La rivista condiretta da Pagliani ha periodicità quindicinale e si pone maggiormente vicina all'ambito istituzionale, accademico e medico nazionale, approfittando del diretto ruolo di Pagliani nell'organizzare la Sanità nazionale e della sua appartenenza al mondo accademico torinese.

Nella lista dei collaboratori figurano infatti, accanto a professionisti provenienti da tutta Italia, noti accademici (da G. A. Reycend di Torino a E. Fazio di Napoli) ed anche parlamentari (il Senatore Bizzozzero di Torino ed il Deputato Romanin-Jacur di Padova).

La diversa impostazione editoriale, rispetto alla rivista diretta da Corradini, appare anche dalla diversa articolazione dell'indice della prima annata[10]:

— *Questioni tecnico-sanitarie del giorno*
— *Memorie originali*
— *Progetti*
— *Esposizioni e Congressi*
— *Appunti tecnico-legali*

— Note pratiche
— Recensioni
— Riassunti di Lezioni
— Notizie
— Necrologie
— Concorsi

Le due riviste conviveranno per cinque anni per fondersi, a partire dal gennaio 1905, nell'unica *Rivista di Ingegneria Sanitaria*. L'operazione editoriale è, sotto il profilo delle persone, un'incorporazione, piuttosto che una fusione paritetica. L'*Ingegneria Sanitaria* viene assorbita da *L'Ingegnere igienista* che, si trasferisce nella sede della rivista diretta da Corradini ed assume il formato tipografico de l'*Ingegneria Sanitaria*, ma continua ad affidarsi alla direzione di Pagliani e Losio, senza più annoverare, neppure tra i collaboratori, Francesco Corradini. Il nuovo quindicinale eredita, però, un taglio maggiormente applicativo e meno accademico. Lo si può constatare leggendo la nuova articolazione tematica del secondo anno di vita della rivista[11]:
— Igiene generale
— Scuole, ospedali, sanatori, stabilimenti idroterapici e costruzioni varie
— Case economiche e operaie
— Fisica e chimica tecnica applicate all'Igiene
— Strade
— Fognature, acque, distribuzioni idriche, depurazioni, impianti di latrine, ecc.
— Riscaldamenti, ventilazione, impianti frigorifici [sic]*, disinfezioni, ecc.*
— Apparecchi varii



La rivista, a partire dal 1911, modificherà la propria denominazione in *Rivista di Ingegneria Sanitaria e di Edilizia Moderna*, mantenendo pressoché invariato il quadro dei propri collaboratori e confermando la direzione a Luigi Pagliani e Carlo Losio, sostituito qualche anno dopo (1916) dall'ing. Giulio Marcovigi, capo dell'Ufficio Tecnico degli Ospedali di Bologna.

4. L'abitazione salubre: il villino "Ingegneria Sanitaria" a Torino

Al termine del primo anno di vita de *L'ingegnere igienista. Rivista di Ingegneria Sanitaria*, la concorrente rivista *Ingegneria Sanitaria* donava agli abbonati, quale supplemento del numero 12 del 1900, un opuscolo illustrato contenente la minuziosa descrizione della casa appena ultimata per il direttore del periodico, ing. F. Corradini, puntualmente progettata dal medesimo secondo le "condizioni" che egli aveva messo a punto per assicurare la salubrità delle abitazioni[12] e denominata Villino Ingegneria Sanitaria (Fig. 1):
— rischiaramento
— abbondante ventilazione naturale
— volumetria minima degli ambienti abitati, ed altezza minima pari a m 3
— acqua potabile corrente distribuita senza contatto con il Piombo e pagata a contatore

— evacuazione facile e immediata dei materiali immondi, liquidi o solidi
— razionale riscaldamento e ventilazione
— orientazione possibilmente a Sud-Est e Nord-Ovest dei fronti principali
— fondazione su suolo roccioso o sabbioso
— sollevamento o isolamento dal terreno (casa impermeabilizzata o con sotterranei ben ventilati)
— ampiezza delle pubbliche vie per assicurare il miglior soleggiamento
— alloggi con ventilazione da fronti contrapposti

È facile constatare come la preoccupazione prevalente sia quella di assicurare un efficace ricambio d'aria, sia agli ambienti abitati che a quelli secondari (cantine), in modo da mantenere salubre e asciutta l'abitazione.

Il villino viene costruito in un anno di lavori, a partire dalla primavera del 1899 nella zona oltre il fiume Po a Sud del Monte dei Cappuccini (Fig. 4) ed ottiene la Medaglia d'Oro all'Esposizione d'Igiene di Napoli del 1900. È composto da tre piani fuori terra (dei quali il primo seminterrato) oltre al sottotetto: il seminterrato è adibito a

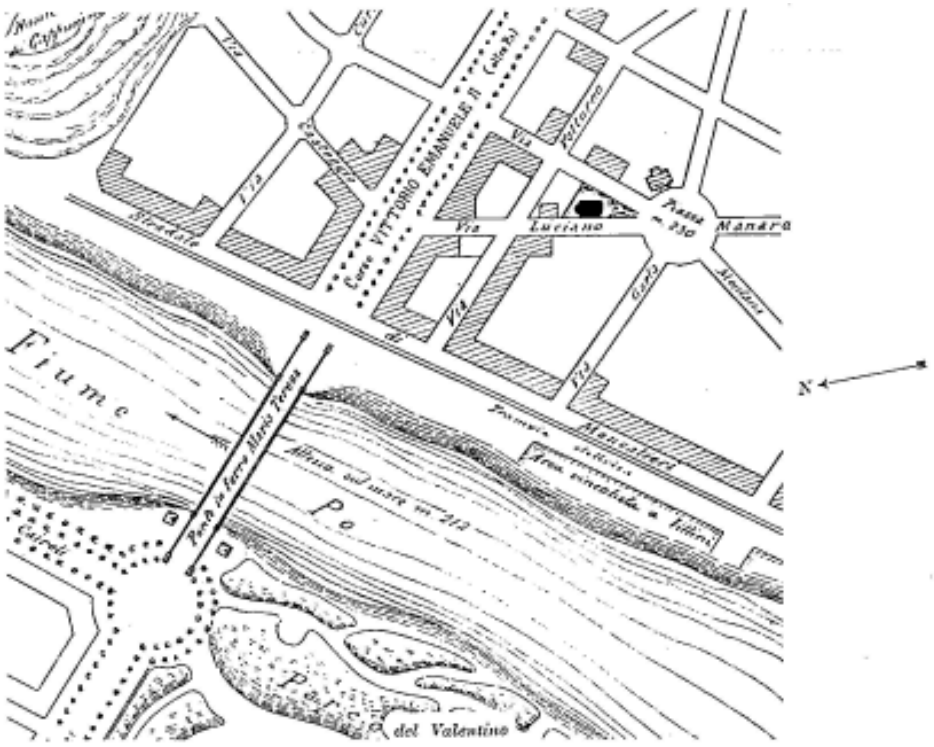


Fig. 4 – Torino, Villino Ingegneria Sanitaria: inquadramento urbano

cantina, lavanderia e, verso la parte fuori terra, ad ingresso e portineria; il piano superiore è destinato a cucina ed a tre locali di soggiorno oltre ad un "gabinetto del lavabo" e alla latrina; l'ultimo piano abitabile comprende quattro camere da letto, un "gabinetto pel bagno e doccia", un "gabinetto da toeletta con grandi armadi", un lavabo ed una latrina. Il piano intermedio è in comunicazione con il giardino mediante terrazzini in pietra e scalinata.

Sin qui la descrizione generale, che pare non differire, se non per una relativa abbondanza di installazioni da bagno e per la collocazione della cucina al secondo piano fuori terra, dalla consueta articolazione del villino piccolo borghese.

Tuttavia la maggior parte dell'opuscolo si occupa di fornire una puntigliosa descrizione delle installazioni e dei caratteri costruttivi igienico-sanitari che, talvolta con accurata mimesi, talvolta con esemplare evidenza, permeano integralmente la progettazione e la realizzazione del villino.

Le fondazioni, nonostante siano state eseguite in terreno asciutto e ghiaioso, sono state provviste di taglio contro la risalita capillare di umidità in corrispondenza del pavimento del primo piano costruito (quello seminterrato) mediante cartone catramato. I muri del seminterrato sono staccati dal terreno mediante realizzazione di una intercapedine ventilata e drenata, mentre il pavimento cementizio è realizzato su vespaio.

Quale altra innovazione "mimetica" rispetto al modo di costruire tradizionale, i muri perimetrali sono stati realizzati a "cassa vuota" che è stata mantenuta ventilata sino alla completa asciugatura dei due tavolati. Obbedendo, invece, alla tradizione costruttiva torinese, solo il solaio del pianerottolo di arrivo della scala è stato realizzato con travi in acciaio a doppio T e tavelloni forati: il resto degli orizzontamenti dell'edificio è stato costruito con sottili volte di laterizio a padiglione dette "in quarto". I pavimenti sono in mosaico alla veneziana, apprezzato particolarmente per le sue caratteristiche di monoliticità e lavabilità, tranne che nei locali di soggiorno e nelle camere da letto, dove si è adottato un "palchetto a piastrelle di legno del sistema brevettato Ingegnere G. A. Selvatico & C.", incollato con mastice caldo di catrame[13]. Imponente è la dotazione impiantistica,

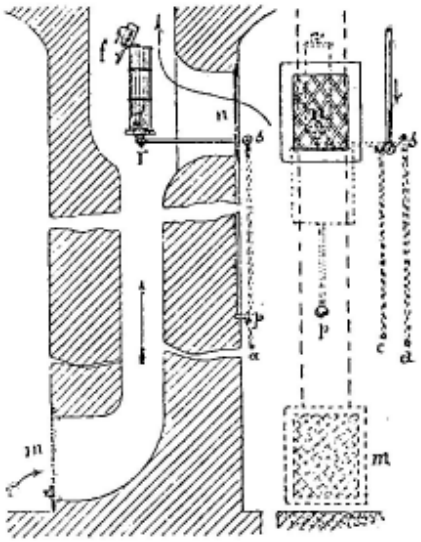


Fig. 5 – Ventilazione degli ambienti mediante tiraggio attivato da becco Bunsen

soprattutto per quanto riguarda il tema della ventilazione e del riscaldamento ambientale. L'accorpamento delle voci nel rendiconto finale dei lavori non permette un'analisi accurata, ma è sufficiente per stimare un'inci-denza degli impianti pari al 17% circa del costo totale della casa, ben al disotto degli standard odierni[14].

Alla diffusa e costante ventilazione degli ambienti concorrono un sistema di aperture fisse o regolabili che prendono aria fresca direttamente dall'esterno (tramite aperture nei muri perimetrali o nei serramenti, cfr. Fig. 6) ed espellono quella viziata per tramite di canalizzazioni verticali in muratura il cui tiraggio è attivato da aspiratori statici alla loro sommità o, nel caso delle latrine, del lavabo, della cucina e della sala da pranzo, da piccoli becchi Bunsen posti alla base dei relativi condotti (Fig. 5), come diffusamente sperimentato, nell'edilizia ospedaliera di fine Ottocento[15].

Per quanto riguarda il benessere termico dell'abitazione, Corradini indica con chiarezza che "le calorie necessarie per sopperire agli abbassamenti di temperatura esterna, devono esserci fornite per irradiazione dai materiali che ci circondano. Torneremo quindi all'ipocausto degli antichi Romani, riscalderemo i pavimenti e le pareti murali […]"[16]. Tuttavia, più praticamente, il riscaldamento della casa è assicurato da un impianto a termosifone alimentato da una caldaia a carbone posta nell'atrio alla base della gabbia scala, onde sfruttarne il calore disperso. È, allo stato della tecnica, la migliore delle soluzioni praticabili, anche se già nel 1891 l'Autore auspicava il teleriscaldamento, rammaricandosi che "il giorno peraltro non è ancora venuto di da poter con un solo centro di calore, estendere per tutte le abitazioni il riscaldamento, come si distribuisce oggi giorno l'acqua, il gas e l'elettricità"[17].

L'impianto è dimensionato per una temperatura interna di +16°C con una esterna di –6°C. In termini che oggi potremmo dire di sostenibilità energetica delle costruzioni, l'Autore ci informa che la potenza termica dispersa dalla sua casa è di 14 676 kcal/h (17 kW) per circa 1200 m³ lordi riscaldati: essi di verrebbero 22 kW rapportati alle attuali temperature interne di progetto, con una potenza specifica di circa 0,65 W/(m³ K), pari a 18 W/m³, valori ancora oggi non disprezzabili. Non mancano i caminetti, denominati "ventilatori", perché in grado di riscaldare l'aria esterna ed introdurla in ambiente per mezzo di bocchette laterali, in modo da mitigare gli inconvenienti di quello che B. Franklin definiva «il miglior sistema per scaldarsi il meno possibile bruciando il maggior quantitativo di legna possibile».

Completano la dotazione un filtro per l'acqua potabile (la cui distribuzione è refrigerata facendola passare dalla ghiacciaia ed è separata da quella per usi igienici, in lungimirante anticipo sulla sostenibilità nell'uso delle risorse idriche), un piccolo ventilatore a motore idraulico per l'aspirazione dell'aria fresca dalla cantina ed il raffrescamento

della sala da pranzo (ma Corradini sottolinea, a fronte dell'efficacia del dispositivo, il notevole consumo di acqua), tendoni esterni per la schermatura estiva della radiazione solare, una canna verticale per lo scarico in cantina delle immondizie solide (proprio quelle canne che gli attuali criteri igienici impongono di abolire), ed un pozzo nero con svuotamento per tramite di carro-botte e tubazione flessibile stagna, in grado cioè di impedire lo spargimento dei liquami e la fuoriuscita di esalazioni.

Tra quelle che oggi ci parrebbero ingenue semplificazioni, la scelta di evitare le doppie invetriate, ritenendo l'Autore che "le moderne abitazioni non esigono più doppie invetriate; un buon impianto di riscaldamento sopperisce alla poca deficienza di temperatura, dovuta alle finestre semplici."[18]: ma si tratta di una semplificazione dettata dalla volontà di non mortificare la ventilazione naturale, volontà ancora valida attualmente, soprattutto considerando quanti inconvenienti oggi si registrano negli edifici dove il ricambio d'aria è insufficiente.

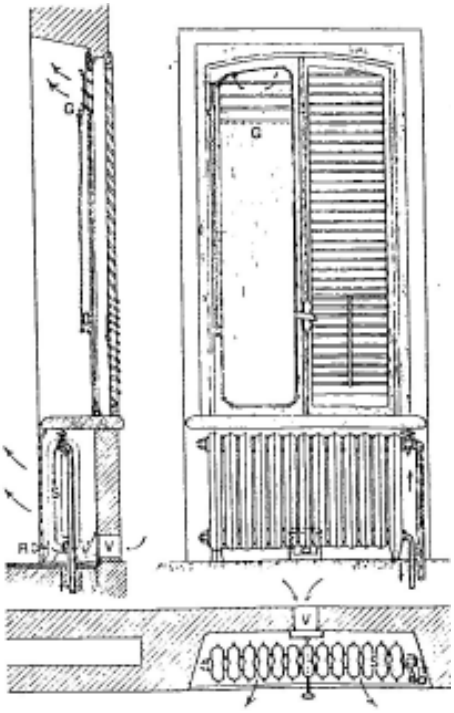


Fig. 6 – Villino Ingegneria Sanitaria: aperture di ventilazione. Nella zona del radiatore si noti l'analogia con quanto recentemente proposto dalla norma UNI7129

5. *Conclusioni*

Le vicende del movimento igienista torinese, con le loro ripercussioni nazionali, sono tali da mutare il quadro delle figure interessate professionalmente alla salute pubblica: al medico si affianca l'ingegnere, come bene è testimoniato dal fiorire delle riviste dedicate al tema dell'igiene.

Di pari passo si modificano in senso moderno l'urbanistica ed i caratteri distributivi e tecnologici, ambiti via via sempre più condizionati dalle reti e dai componenti impiantistici: alcune intuizioni sono profetiche (ad es. il teleriscaldamento) ed altre meriterebbero ancora una maggiore considerazione (ad es. il tema della ventilazione naturale egli ambienti), soprattutto nella formazione, anche post lauream, di ingegneri che sappiano recuperare dal recente passato una solida base sulla quale appoggiare una rinnovata attenzione alla salute dell'uomo e dunque alla sostenibilità.

In tal modo le pagine già percorse dell'evoluzione dell'ingegneria restano storia e non divengono archeologia.

[1] A Luigi Pagliani si deve la fondazione, tra l'altro, della Scuola di Perfezionamento in Igiene, dell'Istituto vaccinogeno e di quello Sieroterapico, tutti con sede a Roma.
[2] L'organizzazione della Direzione Generale di Sanità è dovuta alla cosiddetta Legge Crispi-Pagliani, del 22.12.1888.
[3] L. Pagliani e C. Losio nell'Editoriale del primo numero de «L'Ingegnere igienista» (1° gennaio 1900).
[4] F. Corradini, *Il nostro programma*, in *Ingegneria Sanitaria*, anno 2°, n. 1, Torino, 1891.
[5] *Ibidem.*
[6] F. Corradini, *La casa nuova e le abitazioni salubri*, atti della conferenza tenuta il 24 ottobre 1890 alla Prima Esposizione italiana di Architettura in Torino, Torino, 1891, p. 18.
[7] L. Pagliani, C. Losio, *L'Ingegnere igienista. Rivista quindicinale di Ingegneria Sanitaria*, n. 1, anno I, Torino, 1900.
[8] F. Corradini, *Sull'impiego delle superfici metalliche di riscaldamento armate di coste o nervature*, ne *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*, n. 5, anno VIII, Torino, 1882.
[9] Si fa riferimento, in particolare, all'*Indice delle materie contenute nel volume II - annata 1891 del periodico mensile tecnico-igienico illustrato L'Ingegneria Sanitaria*, Torino, 1892. L'organizzazione tematica dell'indice rimarrà pressoché invariata, a parte piccole modifiche quali l'aggiunta di un capitolo apposito per le scuole, sino alla fusione della Rivista con quella condiretta da Pagliani.
[10] Si fa riferimento, nello specifico, all'*Indice generale* dell'anno I de *L'ingegnere igienista. Rivista di Ingegneria Sanitaria*, Torino, 1901.
[11] Si fa riferimento, a titolo esemplificativo, all'*Indice generale delle materie* dell'anno II (1906) della *Rivista di Ingegneria Sanitaria*, Torino, 1907.
[12] F. Corradini, *La casa nuova e le abitazioni salubri*, cit..
[13] Oltre che nella carta catramata usata per l'impermeabilizzazione del seminterrato, il catrame è impiegato anche all'interno dell'abitazione vera e propria: per ironia della sorte, considerata al dichiarata vocazione sanitaria del villino, esso è oggi compreso nell'elenco mondiale delle sostanze pericolose perché cancerogene.
[14] Nella valutazione dell'incidenza degli impianti va tuttavia tenuto presente che gli importi relativi alle voci impiantistiche, tuttavia, potrebbero essere stati in parte ridotti dai fornitori in vista della pubblicità che sarebbe stata loro garantita dalla divulgazione del villino sulle pagine della rivista diretta dal suo progettista. Nulla sappiamo, inoltre dell'impianto di illuminazione..
[15] Ad esempio, si veda il padiglione progettato da Crescentino Caselli per l'ampliamento dell'Ospedale di Pisa.
[16] F. Corradini, *Il Villino Ingegneria Sanitaria. Supplemento del 1900 in omaggio e dono agli Abbonati del periodico tecnico-igienico illustrato "L'ingegneria Sanitaria"*, Torino, 1901, p. 11.
[17] F. Corradini, *La casa nuova e le abitazioni salubri*, op. cit..
[18] *Ivi*.

Enzo Siviero, Ilaria Zampini

L'ingegneria italiana del Novecento: ricerca in corso presso lo IUAV di Venezia

La ricerca sulla storia dell'ingegneria italiana del Novecento, in corso presso il Dipartimento di Costruzione dell'Architettura dell'Istituto Universitario di Venezia (IUAV), promuove la rivalutazione del pensiero e delle opere delle figure più rappresentative del mondo culturale e tecnico italiano e il riconoscimento dell'esistenza di questa cultura costruttiva. Lo studio investe un periodo esteso e ricco di avvenimenti sia nell'ambito professionale sia nell'ordinamento universitario, il XX secolo, vuole essere l'inizio e l'incoraggiamento per una attività che approfondisca le figure e le opere significative ma ancora poco conosciute andando a riempire dei vuoti culturali e dimostrando che la capacità di costruire opere di pregio e valenza architettonica sia da sempre presente nei progettisti italiani.

A partire dalle tesi di laurea si è realizzata una rilettura delle esperienze progettuali dei più famosi personaggi del passato e contemporanei ricostruendo la crescita della Scienza e della Tecnica delle costruzioni nel nostro Paese. Allo IUAV infatti, dalla fine degli anni Ottanta ad oggi, sono state discusse oltre 70 tesi di laurea storico-monografiche sui protagonisti dell'architettura strutturale storici e contemporanei, sia in Italia che all'estero e sulle teorie e le tecniche costruttive nel loro sviluppo storico. Le tesi a carattere storico e monografico sono state poi riordinate ricostruendo il quadro generale dell'ingegneria nel secolo appena trascorso in Italia ("I protagonisti dell'Ingegneria strutturale in Italia nel '900", laureanda Ilaria Zampini, relatore Enzo Siviero) tracciando un percorso che attraversa il secolo e lega sia i personaggi che le Scuole.

Si è proseguito su questa strada nella ricerca in corso, si tratta di un lavoro svolto prevalentemente nel settore applicativo e riguarda per lo più i personaggi legati all'ambito dei ponti e ad alcune Scuole di Ingegneria italiane, da estendere successivamente alle altre sedi mancanti. "Scuole" intese come linee di pensiero che condividono la stessa impostazione scientifica, specificando le eredità culturali e articolando l'indagine per zone territoriali circoscritte, al fine di sviluppare lo studio in un contesto ben caratterizzato sotto il profilo sociale, didattico, scientifico, progettuale.

Le Scuole d'Ingegneria di Bologna Milano, Napoli, Padova, Roma e Torino, con Pisa e Genova, alternandosi alla guida del rinnovamento di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, per prime hanno portato le novità scientifiche e tecniche a diffondersi in tutti gli ambienti accademici italiani e nel mondo delle

costruzioni. Questo avveniva attraverso gli scambi tra le maggiori Facoltà, con l'avvicendamento di professori e studiosi nelle varie sedi universitarie che favorivano la conoscenza e la circolazione delle diverse "correnti" di pensiero scientifico e tecnico.

L'interesse già suscitato ha portato ad ampliare la ricerca già effettuata e a progettare l'allestimento di una mostra itinerante sulle opere dei maggiori Progettisti, estendendo lo studio anche a Spagna e al Portogallo.

Sulla stessa linea culturale di promozione dell'apporto dell'ingegnere al panorama delle costruzioni italiane, il Centro Studi del Consiglio Nazionale degli Ingegneri, in collaborazione con lo Iuav, per la mostra itinerante del 2006, presenterà una rassegna sull'evoluzione dei ponti in Italia nel Novecento sviluppata attraverso i loro "autori" ingegneri.

In seguito verranno elencati i vari personaggi trattati, rinviando per gli approfondimenti alle relative tesi di laurea, consultabili presso la biblioteca Iuav. Il lavoro è lontano dalla conclusione e necessita di ulteriori implementa-zioni proprio a partire dai suggerimenti che si spera perverranno numerosi.

CRONOLOGIA DEI PERSONAGGI
con riferimento agli studi effettuati fino al 2005

Silvio Canevazzi (1852-1918) studiò a Milano, insegnò Meccanica applicata alle Costruzioni e Ponti e Costruzioni idrauliche alla Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Bologna, che diresse dal 1911 al 1918, furono suoi allievi Landini, Muggia.

Camillo Guidi (1853-1941) studiò a Roma, insegnò Statica Grafica, Scienza delle Costruzioni, Teoria dei ponti al Politecnico di Torino dal 1881 al 1922. Furono suoi allievi Alberga, Colonnetti, Danusso, Locatelli, Porcheddu.

Attilio Muggia (1860-1936), studiò a Bologna. Assistente e collaboratore di Canevazzi, ne continuò l'opera prima come docente di Architettura Tecnica dal 1891 e Costruzioni Civili dal 1898. Diresse la Scuola di Bologna dal 1923 al 1927.

Giovanni Antonio Porcheddu (1860-1937), laureatosi a Torino con l'ing. Camillo Guidi, fu rappresentante del sistema Hennebique in Italia tra il 1895 e il 1933, favorendo la diffusione del cemento armato nel nostro Paese..

Alessandro Peretti (1862-1919), studiò alla Regia Scuola per Ingegneri di Padova dove si laureò nel 1886. Ingegnere dell'ufficio tecnico Comunale di Verona dal 1886 al 1900 e Ingegnere Capo dell'Ufficio Tecnico di Padova dal 1900 al 1919.

Arturo Danusso (1880-1968) studiò a Torino dove fu allievo di Guidi. Insegnò Meccanica applicata alle costruzioni al Regio Istituto Tecnico Superiore a Milano dal 1915 al 1955, furono suoi allievi Oberti, Locatelli, Grandori, Finzi.

Armando Landini (1881-1956), studiò a Bologna con Canevazzi di cui fu assistente e collaboratore.

Insegnò dal 1912 Costruzioni civili e industriali e Materiali da Costruzione alla Reale Scuola di Applicazione per

Ingegneri di Bologna.

Carlo Parvopassu (1881-1959), studiò a Roma. Insegnò Meccanica applicata alle costruzioni e alle macchine alla Reale Scuola per ingegneri di Padova dal 1910 al 1958. Fu direttore della Scuola di Padova dal 1925 al 1929 e dal 1943 al 1945.

Giuseppe Albenga (1882-1957) allievo di Guidi a Torino. Dal 1914 insegnò Costruzioni Stradali e Ferroviarie e Scienza delle Costruzioni all'Università di Bologna. Dal 1928 insegnò Costruzione di Ponti al Politecnico di Torino dove fu rettore del Politecnico dal 1929 al 1932.

Gustavo Colonnetti (1886-1968) studiò a Torino con Guidi. Nel 1911-14 insegnò a Genova. Dal 1914 alla Scuola di Ingegneria di Pisa di cui fu Direttore dal 1918. Dal 1920 insegnò al Politecnico di Torino di cui fu Direttore dal 1922 al 1925, nel 1928 fu trasferito alla cattedra di Scienza delle Costruzioni, sostituendo Camillo Guidi.

Luigi Santarella (1886-1935), studiò a Milano. Insegnò Costruzione in cemento armato e Ponti e strutture speciali a Milano dal 1920 al 1935, dove diresse la Scuola di Specializzazione per le Costruzioni in Cemento Armato del Politecnico.

Eugenio Miozzi (1889-1979), studiò a Bologna con Muggia e Canevazzi, Ingegnere del Genio Civile a Udine e Belluno, Primo Ingegnere Capo del Genio Civile a Bolzano, dal 1928 fu Capo Compartimento AASS, Azienda Autonoma Statale della Strada (l'attuale Anas) per le province di Belluno, Bolzano e Trento. Dal 1931 fu Ingegnere Capo del Comune a Venezia

Pier Luigi Nervi (1891-1979), studiò a Bologna dove iniziò l'attività collaborando dieci anni con Muggia.
Insegnò Tecnica delle Costruzioni e Tecnologie dei Materiali alla facoltà di Architettura a Roma dal 1945 al 1962.

Luigi Stabilini (1896-1967), studiò a Bologna con Canevazzi e Albenga. Insegnò Scienza delle Costruzioni, Costruzioni stradali e ferroviarie e Ponti a Bologna, Padova e Milano.
Fu direttore dal 1943 al 1967 della Scuola di Specializzazione per le Costruzioni in Cemento Armato del Politecnico di Milano.

Giulio Krall (1901-1971), studiò ingegneria a Milano e Matematica a Roma. Insegnò alla facoltà di Scienze a Roma nel 1925-30, all'Istituto matematico della Sapienza di Roma nel 1929-62, alla facoltà di architettura a Napoli nel 1931-39. Fu capo dell'ufficio tecnico dell'impresa Ferrobeton dal 1935 al 1960.

Letterio Francesco Donato (1901-1978) studiò con Guidi e Alberga a Torino. Insegnò a Pisa dal 1936 al 1963, nel 1936-42 e 1946-48 a Livorno. Preside della facoltà di ingegneria di Pisa nel 1956-59, Direttore dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni al Politecnico di Torino nel 1963-69.

Piero Locatelli (1902-1988), studiò a Milano, fu allievo di Danusso, di cui fu assistente e in seguito collaboratore. Insegnò Scienza delle Costruzioni alla facoltà di Ingegneria Industriale del Politecnico di Milano dal 1942 al 1977.

Direttore dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni del Politecnico di Milano nel 1950-69. Furono suoi allievi Finzi, Grandori, Ballio, Migliacci.

Riccardo Morandi (1902-1989), studiò a Roma, insegnò Tecnologia di materiali e Tecnica delle costruzioni a Roma dal 1957 e Forma e struttura dei ponti alla facoltà di architettura a Firenze tra il 1959 e il 1969. Furono suoi allievi Petrangeli e Musmeci.

Adriano Galli (1904-1956), studiò a Napoli con Ricci, Krall e Signorini. A partire dal 1930 insegnò a Napoli dove diresse l'Istituto di Scienza delle Costruzioni nel 1943-45. Diresse la Facoltà d'Ingegneria di Napoli dal 1948 al 1954. Furono suoi allievi Giangreco, Franciosi, Raithel, De Miranda, Mazzarella.

Carlo Pradella (1905-1982) studiò a Milano dove si laureò nel 1929.

Capo Ufficio Tecnico della SACAIM di Venezia, dal 1946 sino al 1959, progettò il primo ponte in Italia in c.a. precompresso, il viadotto sul Piave a Vallesella (Bl).

Fausto Masi (1905-2000) ha incoraggiato la divulgazione delle costruzioni in acciaio, promovendo la creazione dell'ACAI e della rivista *Costruzioni Metalliche* e pubblicando numerosi testi sulla costruzione in acciaio.

Carlo Cestelli Guidi (1906-1995), studiò a Roma. Dal 1938 insegnò a Roma Costruzioni in legno, ferro e cemento armato e nel 1957-68 Scienza delle Costruzioni. Diresse l'Istituto delle Costruzioni alla facoltà d'ingegneria di Roma nel 1958-66 e l'Istituto di Tecnica delle Costruzioni alla facoltà di architettura nel 1966-79.

Guido Oberti (1907-2003) studiò a Milano laureandosi ingegnere industriale elettrotecnico nel 1929 e in Scienze matematiche nel 1934. Fu allievo di Danusso di cui fu assistente e collaboratore. Ha insegnato Scienza delle Costruzioni dal 1938 a Milano e dal 1954-77 di Tecnica delle Costruzioni a Torino. Fu uno dei pionieri della la sperimentazione su modelli all'Ismes.

Franco Levi (1914) studiò a Parigi, insegnò a Losanna nel '44, fu collaboratore di Colonnetti a Torino dal 1949. Insegnò Scienza delle Costruzioni ad architettura a Venezia nel 1962-69 e successivamente ad ingegneria al Politecnico di Torino nel 1969-89. Furono suoi allievi Macchi, Creazza, Mancini.

Giulio Pizzetti (1915-1990), studiò a Torino con Alberga e Colonnetti. Insegnò dal 1943 al 1985 Scienza e Tecnica delle Costruzioni al Politecnico di Torino e alla Facoltà di Architettura di Venezia, in Argentina, ad Ulm e negli Stati Uniti. Dal 1969 al 1982 diresse l'Istituto di Scienza delle Costruzioni al Politecnico di Torino.

Pietro Matildi (1917-2002), laureato in Matematica a Pisa ed in Ingegneria Civile a Bari. Insegnò matematica a Livorno e a Pisa. Dal 1949 insegnò alla facoltà di ingegneria a Bari e dal 1960 a Trieste dove diresse l'Istituto di Scienza delle Costruzioni. Dal 1974 insegnò a Bologna. Fu suo allievo Mele.

Riccardo Baldacci (1917-1986), studiò a Pisa, fu allievo di Alberga e Donato. Insegnò a Pisa dal 1948 al 1955 e dal

1955 al 1977 a Genova dove fu Direttore dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni e Preside della facoltà di Ingegneria dal 1973 al 1976.

Bruno Dall'Aglio (1917-1992) studiò a Padova con Bonvicini di cui fu assistente a partire dal 1947. Dal 1959 è docente a Padova dove diresse l'Istituto di Scienza delle Costruzioni dal 1963 al 1987. Dal 1977 al 1981 è stato preside della facoltà di Ingegneria di Padova.

Silvano Zorzi (1921-1994), studiò Ingegneria civile idraulica a Padova e a Losanna con Colonnetti durante la guerra. Nel dopoguerra insegnò per un periodo a Torino prima di dedicarsi all'attività professionale. Grande innovatore e uno dei migliori progettisti strutturali di ponti e viadotti in Italia.

Giuseppe Grandori (1921) studiò a Milano con Locatelli. Dal 1954-58 insegnò Scienza delle Costruzioni alla facoltà di architettura del Politecnico di Milano e dal 1958-60 Ponti. Dal 1960 insegnò Costruzione di Ponti a Cagliari, dal 1961 al 1991 è di nuovo al Politecnico di Milano dove insegnò Scienza delle Costruzioni..

Elio Giangreco (1924) studiò Ingegneria elettrotecnica e Scienze Matematiche a Napoli dove fu allievo di Galli e Krall. Dal 1954 fu ordinario a Bari dove insegnò fino al 1958, anno in cui tornò a Napoli dove insegnò fino al 1999. Fu direttore dell'Istituto di Tecnica delle Costruzioni alla Facoltà d'Ingegneria di Napoli dal 1958 agli anni '90.

Mario Caironi (1924) studiò a Milano con Stabilini. Dal 1955 insegnò a Milano nella Scuola "Fratelli Pesenti", dal 1966 insegnò Tecnica delle Costruzioni alla facoltà di ingegneria a Pavia e dal 1970 è ordinario di Tecnica delle Costruzioni al Politecnico di Milano.

Ugo Carputi (1924), studiò a Napoli laureandosi con Galli, fu assistente di Franco Jossa. Ha insegnato Tecnica delle Costruzioni, Tecnologia dei Materiali e Tecnica dell'edilizia alla facoltà di architettura di Napoli a partire dal 1966 ad oggi.

Leo Finzi (1924-2002) studiò a Milano e fu allievo di Locatelli. Dal 1948 insegnò a Milano dove nel 1960 è stato Direttore dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni alla facoltà di architettura. Nel 1958 diresse il Dipartimento di Scienza delle Costruzioni alla facoltà d'ingegneria di Trieste.

Sergio Musmeci (1926-1981), studiò Ingegneria civile e aeronautica a Roma, Collaborò nello studio di Morandi e Nervi. Insegnò alla facoltà di architettura di Roma dal 1956, dove nel 1968 ottenne la cattedra Meccanica Razionale e successivamente di Ponti e Grandi Strutture, insegnamento che tenne anche ad Ancona nel 1973-74.

Fabrizio De Miranda (1926) studiò a Napoli con Galli. Collaborò con Masi e Zorzi. Dal 1952 insegna alla facoltà di architettura del Politecnico di Milano. Nel 1968 insegnò a Trieste, nel 1968-72 a Pavia, nel 1973-75 a Cosenza. Nel 1991-96 ha insegnato Costruzioni in acciaio alla facoltà d'ingegneria del Politecnico di Milano

Francesco Martinez y Cabrera (1929-2000) studiò a Napoli, fu assistente di

Stabilini al Politecnico di Milano.
Insegnò Scienza delle Costruzioni e Ponti e Grandi Strutture alla facoltà d'Ingegneria del Politecnico di Milano dal 1967 al 2000. Nel 1975-77 insegnò come professore ordinario alla facoltà di ingegneria ad Ancona.

Renato Sparacio (1929) ha studiato a Napoli dove è stato allievo e assistente di Franciosi. Ha insegnato Scienza delle Costruzioni a Napoli a partire dal 1963 e a Pavia dal 1968 al 1971, dove ha diretto l'Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni. Dal 1971 ad oggi è ordinario di Scienza delle Costruzioni a Napoli.

Giorgio Macchi (1930), studiò a Torino, fu assistente di Levi e collaborò con Zorzi. Docente al Politecnico di Torino dal 1955, è stato Direttore dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni ad Architettura a Venezia nel 1969-73. Dal 1973 si trasferisce a Pavia dove nel periodo 1976-78 è stato Preside della facoltà d'ingegneria.

Giorgio Romaro (1931), studiò a Padova dove si laureò nel 1956.
A partire dal 1962 ha insegnato Tecnica delle Costruzioni a Padova fino al 1966 e Apparecchi e impianti per il sollevamento e il trasporto nel 1974.

Antonio Migliacci (1931), studiò a Milano con Stabilini, Locatelli, Dei Poli. Ha insegnato a Milano nel 1953-70 come assistente di Stabilini, dal 1967-73 insegnò Progetti e Strutture e dal 1975 Tecnica delle Costruzioni.
Dal 1997 insegna Progetti e Strutture a Lecco. È suo allievo Franco Mola.

Antonio La Tegola (1931) studiò a Bari, dal 1958 è assistente di Giangreco a Bari e a Napoli. Insegnò a Palermo, a Catania e in varie altre sedi.
Direttore del Dipartimento di Strutture dell'università della Calabria nel 1980-92. Dal 92 ad oggi insegna Scienza e Tecnica delle Costruzioni a Lecce.

Raffaello Bartelletti (1932) si è laureato nel 1958 a Pisa con Letterio Donato. Ha insegnato Tecnica delle Costruzioni alla Facoltà di Ingegneria di Pisa dal 1963, dove nel 1980 diventa ordinario di Teoria e Progetto di Ponti Dal 1983 al 1996 ha diretto l'Istituto di Scienza delle Costruzioni a Pisa.

Salvatore di Pasquale (1932-2004), studiò a Napoli. Insegnò alle facoltà di architettura di Napoli e Pescara. Nel 1973 è ordinario a Firenze dove dal 1983 al 1995 è Direttore del Dipartimento di Costruzioni. Dal 1985 al 1991 è stato Preside della facoltà di architettura di Firenze. Negli anni '90 ha insegnato a Ferrara e Venezia. Nel 2000-01 è stato il primo Preside della facoltà di architettura di Catania con sede a Siracusa.

Giuseppe Ghinassi (1932-1995) studiò all'università di La Plata in Argentina dove si laureò nel 1958 e a Bologna dove conseguì la laurea italiana nel 1965. Insegnò Scienza delle Costruzioni a La Plata in Argentina e a Buenos Aires dal 1958 al 1964.

Carlo Gavarini (1934) studiò a Roma con Giulio Ceradini. Ha insegnato a Roma a partire dal 1958 e dal 1964 a Firenze, dal 1968 insegnò all'università dell'Aquila. È stato Direttore del Dipartimento di Ingegneria Strutturale e

Geotecnica alla Sapienza di Roma nel periodo dal 1992 al 1998.

Mario Paolo Petrangeli (1938) Studiò a Roma laureandosi nel 1961 con Giulio Ceradini. È stato allievo e collaboratore di Morandi. nel 1964-71 è docente di Progettazione di Ponti a Roma e nel 1972-75 a L'Aquila, dove dirige il Dipartimento di Scienza delle Costruzioni, dal 1976 al 2001 è associato di Progettazione di Ponti alla Sapienza di Roma

Federico Mazzolani (1938) studiò a Napoli dove collaborò con Giangreco. A partire dal 1962 ad oggi ha insegnato tecnica delle Costruzioni alla facoltà di ingegneria di Napoli, dove dal 1978 al 1982 ha diretto l'Istituto di Tecnica delle Costruzioni.

Michele Mele (1939), studiò a Bari, è stato collaboratore di Fabrizio De Miranda Carlo Cestelli Guidi e Pietro Matildi. A partire dal 1963 ha insegnato Scienza delle Costruzioni, Tecnica delle Costruzioni e Ponti a Bari e successivamente a Trieste e dal 1975 è a Roma.

Giulio Ballio (1940), studiò a Milano con Dei Poli e Leo Finzi. Ha insegnato al Politecnico di Milano Scienza e Tecnica delle Costruzioni a partire dal 1967, Scienza delle Costruzioni a Pavia dal 1970 e Costruzioni in acciaio a Genova nel 1991. Rettore del Politecnico di Milano dal 2002.

Massimo Majowiecki (1945), si è laureato a Bologna nel 1969 dove insegna Tecnica delle Costruzioni a partire dal 1973. Insegna al Politecnico di Milano nel 1983, nel 1997 insegna Tecnica delle Costruzioni nella Facoltà di Architettura a Ferrara e dal 2001 insegna Progettazione strutturale alla facoltà di architettura a Venezia.

Giuseppe Mancini (1947) allievo di Levi a Torino, dal '78 è stato assistente e successore di Pizzetti alla facoltà di architettura del Politecnico di Torino. Nel 1986-89 ha insegnato a Cagliari. Dal 1999 insegna Ponti e Tecnica delle Costruzioni a Torino.

Giuseppe Matildi (1948), figlio di Pietro Matildi, si è laureato nel 1972 a Trieste. A partire dal 1983 è Docente di Costruzioni Metalliche a Bologna dove insegna tuttora.

TESI RELATIVE AI PERSONAGGI ITALIANI in ordine cronologico di laurea dal 1990 al 2005

Riccardo Morandi e i suoi Ponti, Carlo Mason, Maria Beatrice Ravagnan

Giulio Pizzetti: un ingegnere nel mondo degli architetti, Francesco Catalano, Marina Dal Piaz

Silvano Zorzi quarant'anni di progettazione di ponti e viadotti, Stefania Lincetto

Sergio Musumeci e i suoi ponti, Antonella Perco

L'architetto-ingegnere Giuseppe Jappelli ed il suo ponte sospeso, Stefano Corletto

I Romaro: cento anni di costruzioni metalliche dall'800 ai premi Cecm, Luca Arrigucci, Rocco Zanatta,

Anton Claudio Galateo: ponti sospesi a cavi dell'inizio del diciannovesimo secolo, Lucia Briseghella

L'ing. Giuseppe Ghinassi nella recente

storia della creatività strutturale, Andrea Zanatta
Eugenio Miozzi e i suoi ponti, Luisa Culos
Giorgio Macchi: scienziato e costruttore, Davide Scappini, Elena Ruffo
*Fabrizio De Miranda nella storia dei ponti in acciaio,*Gigliola Meneghini
Giulio Krall: teorico e costruttore, Nicoletta Barbieri, Roberta Miotto
Alessandro Peretti ingegnere comunale a Padova nel primo Novecento, Stefano Bovo
Canevazzi, Landini, Muggia: attività didattica e ricerca scientifica alla R. Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna, Chiara Dal Ben
*Franco Levi e lo sviluppo del cemento armato,*Silvia Lazzarin, Sabrina Bittante
L'attività didattica e sperimentale di Camillo Guidi alla Reale Scuola di Applicazione per ingegneri di Torino, Martina Chiarato, Michela Stevanato
Tra teoria e costruzione l'impegno di Francesco Martinez y Cabrera, Michela Malatesta
Remo Calzona– maestro, teorico ed ingegnere, Francesco Sante Nitti, Stefano Flaim
*Massimo Majowiecki e la progettazione delle tensostrutture,*Barbara Doni
*Giuseppe Grandori: origine e sviluppo della moderna ingegneria sismica italiana,*Claudia Rossi
*Antonio Migliacci. Pensiero e azione nella tecnica delle costruzioni,*Mariano Cognolato
Leo Finzi e le strutture in acciaio, Vanda Dal Ri
Giulio Ballio ingegner, Silvia Gusella, Veronica Kofler
Guido Oberti e l'indagine sperimentale, Clara Zerio
Luigi Stabilini e scuola di specializzazione del cemento armato del Politecnico di Milano, Carlo Sordillo
Arturo Danusso: tra scienza e tecnica, Giorgia Favaretti
Adriano Galli: maestro, scienziato, progettista, Sandra Minuzzo
Riccardo Baldacci, Davide Montellato
*La teoria e la tecnica del cemento armato attraverso le esperienze di Carlo Parvopassu,*Silvia Penzo
Le strutture in architettura (Angelo Mangiarotti, Simone Baldan, Giorgio Cecchinato
Renato Sparacio: tra didattica e professione, storia e innovazione, Cristina Vettori
Mario Paolo Petrangeli. La vita, i misteri, le opere, Michele Toscano e Piera Zanotto
Opere e progetti di Michele Mele, Maria Teresa Giove
Elio Giangreco "Teoria e tecnica della precompressione", Andrea Paladin
Raffaello Bartelletti: verso l'architettura strutturale, Liana Carraro
Elio Giangreco e la Tecnica delle Costruzioni, Raffaella Scaratti
Salvatore Di Pasquale, scienza e arte del costruire, Laura Calliaro
Carlo Gavarini: l'impiego nell'ingegneria antisismica tra scienza e coscienza, Silvia Marcon, Cristina Marzola
Giuseppe Mancini: ricerca e progetto, Enrico Pasinato
Ugo Carputi strutture in architettura: ricerca, didattica, professione, Sara Di

Leonardo
Luigi Santarella: la coscienza del docente, l'esperienza del tecnico, Alberto Monti
Giorgio Nicola Siniscalco. 1962-2000. In una didattica strutturale per l'architettura, Stefano Dalla Rosa
Piero Locatelli: professore, ricercatore, professionista, Marvi Bellon, Roberto Morosin
Michele Mele, Silvia Battistini
Carlo Cestelli Guidi e i suoi ponti tra ricerca e progetto, Donatello Baessato
Giuseppe Mancini: tra i protagonisti dell'ingegneria strutturale al Politecnico, Giuseppe Barbata
Mario Caironi ingegnere; legno, ferro, cemento armato, Paolo Lucchesi, Cristina Sponza
I protagonisti dell'ingegneria strutturale nell'Italia del Novecento, Ilaria Zampini
Letterio Francesco Donato. L'impegno verso la promozione dell'acciaio, Simone Matteazzi e Nicoletta Ruzza
Federico M. Mazzolani, Acciaio e sintesi creativa, Mauro Casarin
I ponti metallici italiani nella seconda metà del Novecento, Sandro Travisi
Bruno dall'Aglio: fra teoria e applicazione, Barban Laura
Giorgio Romaro: una filosofia progettuale nel mondo dell'acciaio, Spanò Denise
Antonio La Tegola: sintesi tra ricerca e progetto, Pettenò Chiara, Volpato Silvia
L'ingegneria strutturale nella Scuola di Bari, Ciocia Maria Carmela
I Ponti in Sardegna, Marino Daniela
Salvatore Leone: tecnica e ingegno, Alberto Centenaro
Enzo Bandelloni: la figura e l'opera nell'ambito dell'architettura veneta del secondo dopoguerra, Silvia Meneghini

TESI RELATIVE AI PERSONAGGI STRANIERI in ordine cronologico di laurea dal 1990 al 2005
I ponti di Robert Maillart oggi, Federico Rinoldo
I Ponti Hennebique, Stefano Bianchi
Marc Mimram: strutture e forme nell'architettura, Cristina De Zanet, Tiziana Contri
Jörg Schlaich: i ponti pedonali, Ada Tambato
Fritz Leonhardt e la sua filosofia costruttiva: ingegnere o architetto?, Juliana Cozzi
Eugene Freyssinet e la nascita del cemento armato precompresso, Alessandra Discepolo
Jiri Strasky ed i suoi ponti, Adriana Barbina
Tradizione ed innovazione nei ponti di Juan José Arenas, Martina Mazzucato
In tema di ponti: da Carlos Fernandez Casado a Leonardo Fernandez Troyano, Silvia Velo
Julio Martinéz Calzon. Autogenesi di un'opera: la poesia della materia, Paola Moschini
René Greisch. "l'homme des ponts". Bureau d'études Greich, Ombretta Apulei
Antonio Josè Reis: i ponti come paesaggio, Enrico Meggiolaro, Matteo Meggiolaro
Tradizione e innovazione nei ponti di

Janvier Manterola Armisen, Paolo Lizza
Wilkinson Eyre Architects: teoria e architettura, Lucia Casarin
Arte e tecnica nei ponti di Hugo Corres Peiretti, Laura Adragna
Armando Rito, Sara Malizia, Amedeo Sica
Juan Sobrino a Barcellona: Ingegnere in una città di Architetti, Gabriele Valentinuzzi

Chiara Vernizzi

L'architettura universitaria a Parma: storia di un'infrastruttura del sapere

I molti modi in cui il rapporto tra città e Università si è impostato e sviluppato nel tempo sono un significativo parametro per individuare ed affrontare il tema dell'organizzazione urbana nel suo complesso. In altri termini, nel corpo della città, l'Università ha trovato storicamente forme di insediamento di volta in volta differenti al cambiare del contesto, proprio per la sua natura di "sistema" autonomo rispetto al complesso urbano.

Proprio nella complessità e nella variazione di questi "modi", con i quali rapportarsi all'insieme, l'Università come sistema ha affinato le proprie peculiari forme di organizzazione interna.

Intendendo il "sistema Università" nella sua accezione di opera pubblica, infrastruttura del sapere, si vuole ripercorrere, a titolo di esempio, la vicenda insediativa dell'Università di Parma, dalla originaria collocazione nel centro storico (Fig. 1), tessuto consolidato della città, alla realizzazione del Campus Universitario (Fig. 2) nel quale sono insediate tutte le Facoltà scientifiche, tra cui anche quella di Ingegneria, dando vita ad una sorta di città "altra" rispetto ad un contesto fortemente caratterizzato ormai non più in grado di assorbirne in modo completo la presenza.

Questo sintetico excursus offre lo spunto per una serie di riflessioni di natura diversa, a partire dalla complessità organizzativa di questa struttura in rapporto al sistema normativo e prescrittivo che ne costituisce la matrice;



Fig. 1 – Localizzazione delle attuali sedi delle strutture dell'Università di Parma



Fig. 2 – Foto Aerea del Campus Universitario a sud-ovest della città

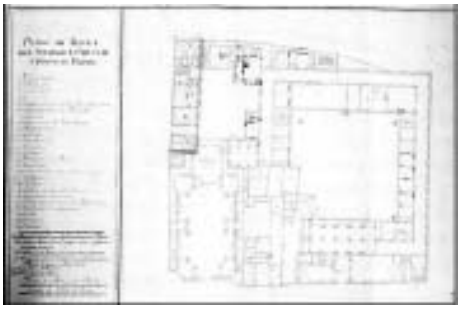


Fig. 3 – Progetto per l'inserimento delle grandi aule all'interno del Collegio di San Rocco, ormai Palazzo Universitario (ASPr, Mappe e Disegni, Vol. 9, n. 10)



Fig. 4 – Sezione del Palazzo Universitario con il prospetto della Torre Astronomica e di una facciata interna (ASPr, Raccolta Sanseverini, 1/IV)

sia che si tratti di costruire nuove edifici, sia che si tratti di rivitalizzare parti degradate del complesso urbano.

Infatti, l'Università ha costituito e continua a costituire un momento importante nella formazione dei modelli di intervento sia dal punto di vista metodologico che della qualità finale del "prodotto".

Al di là della sua funzione specifica, quella dell'insegnamento e della trasmissione del sapere, da un punto di vista più strettamente architettonico ed urbanistico, il sistema Università è uno dei possibili parametri con i quali potenziare le dinamiche urbane, anche per la sua intrinseca capacità di dare vita ad un indotto complesso.

Di particolare rilievo, inoltre, il ruolo svolto da diversi Ingegneri, dall'epoca del Ducato ad oggi, nella realizzazione di questo sistema infrastrutturale.

Attraverso un'indagine storico-urbanistica emerge come in ogni epoca, dalla sua costituzione, l'Ateneo si stato ospitato in sedi temporanee poi abbandonate per costruzioni progettate per le nuove necessità della didattica e della ricerca che via via si manifestavano: infatti, ad una iniziale dispersione dello "Studium" nella città, si contrapporrà soltanto alla fine del XVI° secolo, ad opera della Compagnia di Gesù, una strategia di concentrazione fisica dei luoghi delegati all'istruzione superiore che si concretizzerà nella costruzione del chiostro della Chiesa Gesuita di San Rocco (Figg. 3 e 4), attuale sede centrale dell'Ateneo parmense.

Conformemente alle nuove linee di sviluppo urbano verso il sud della città, l'Università è ancora presente con l'insediamento del suo Orto Botanico, su progetto del Petitot, ed in epoca Ducale Maria Luigia affiderà a Nicola Bettoli, architetto di corte, il progetto di un nuovo Palazzo dell'Università (Fig. 5 - attuale sede del Tribunale), iniziando la costruzione sulla struttura dell'ormai inutilizzato Collegio dei Nobili, al fine di segnare una separazione fisica e simbolica tra gli edifici civili deputati alla trasmissione del sapere e quelli religiosi.

Le svariate iniziative per concentrare molti edifici universitari lungo lo Stradone nei primi dieci anni del secolo scorso, la costruzione del nuovo Ospedale a padiglioni alla fine degli anni venti, la valorizzazione del complesso ex conventuale di San Francesco da Paola nell'immediato dopoguerra, vanno tutte lette come antecedenti necessari di quel meccanismo urbano territoriale che ha portato alla costruzione del Polo Scientifico Tecnologico nel Nuovo Insediamento Universitario di Via Langhirano.

La ricerca è stata condotta prevalentemente attraverso materiale storico-iconografico conservato nei vari archivi parmensi, analizzando in particolare gli elaborati a scala sia urbana, dai quali desumere gli aspetti pianificatori ed evolutivi a piccola scala, e gli elaborati a scala architettonica, sui quali riconoscere le diverse mani progettuali e le diverse concezioni in esse rispecchiatisi.

Innanzi tutto, in epoca farnesiana, (1545-1732) il già nominato Collegio di San Rocco, realizzato a partire dal 1659 e completato solo nel 1730; il collegio dei Nobili, attiguo alla chiesa abbaziale di San Marcellino, che vide ampliarsi la sua definizione architettonica attraverso acquisti di case limitrofe, nella porzione urbana attualmente definita dalla piazza del Tribunale e da via del Conservatorio; il palazzetto di San Rocco (Fig. 6), originaria sede degli studi universitari di tipo umanistico; il palazzo Cusani, attuale sede della Casa della Musica; collocato a fianco della chiesa di San Francesco e parzialmente utilizzato dai frati, successivamente sede della Zecca ducale, del Tribunale cittadino e infine della Pretura.

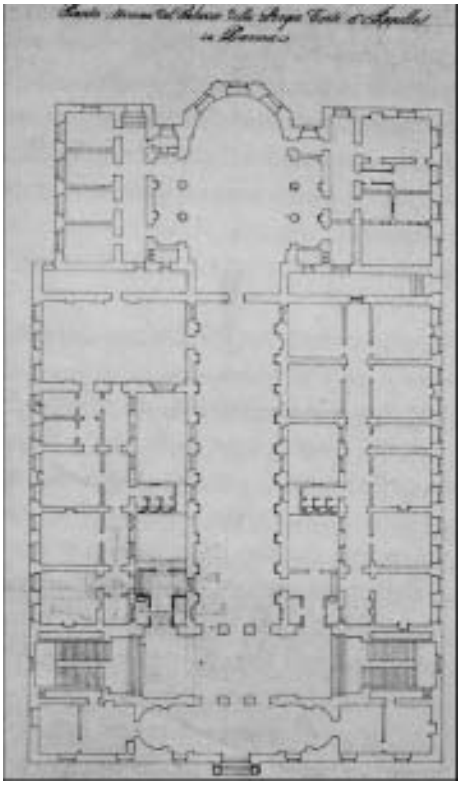


Fig. 5 – Pianta del piano terreno del Nuovo Palazzo degli Studi destinato, poi, a Tribunale (ASCPr, Mappe e Disegni, AAI, 2/X)

Durante il periodo Borbonico e Luigino (1732-1847) Parma conobbe un secondo periodo di grande benessere, che condizionò in modo determinante lo sviluppo degli studi e, di conseguenza, delle infrastrutture destinati ad ospitarli.

In particolare, nel 1752 venne istituita l'Accademia di Belle Arti, che venne insediata nell'ala occidentale della Pilotta, nella quale ancora oggi trova

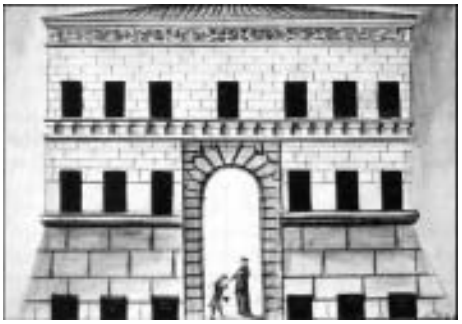


Fig. 6 – Prospetto del Palazzetto di San Rocco (ASPr, Raccolta Sanseverini 1/XXXVIII)

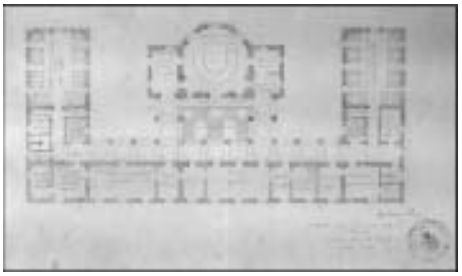


Fig. 7 – Progetto del piano primo della Reale Clinica Chirurgica (ASCPr, Mappe e Disegni, AA III -2/II, Ing. Enrico Bovio, scala originale 1:200)

sede, mentre nel 1755 iniziò la costruzione del Collegio Lalatta. Da non dimenticare il ruolo svolto dal sistema degli Ospedali, in qualche modo strettamente connesso a quello degli studi universitari. Dopo la morte di Maria Luigia, avvenuta nel 1847 e la parentesi di Carlo II, l'Università di Parma venne definitivamente soppressa ad opera di Carlo III, che destinò il Collegio di San Rocco a caserma e il nuovo Palazzo degli Studi a Tribunale.

Durante la successiva reggenza di Luisa Maria di Berry (1854-1859) gli Studi vennero ripristinati, anche se non vennero realizzati edifici destinati ad ospitarli, giungendo, così all'Unità d'Italia in uno stato assai compromesso dalle continue sospensioni e riaperture.

Con decreto 22 giugno 1860 si suddivisero le Università in due fasce di merito e con la legge Matteucci (31 luglio 1862), l'Università di Parma venne dichiarata di secondo ordine, cosa che determinò un grave danno per gli studi parmensi, fino a quando, il 14 luglio 1887, fu emanato il decreto di equiparazione dell'Università di Parma a quelle di primo ordine, determinando una decisa inversione di tendenza, anche per la ripresa architettonica delle sedi universitarie. Allo stesso anno risale la prima ipotesi di piano regolatore della città nel quale sono contenute indicazioni pianificatorie che si riflettono anche su diverse zone universitarie.

In particolare nei primi 10 anni del secolo scorso, l'Università attuò un progressivo programma di riuso di strutture preesistenti per insediare diversi nuovi Istituti:

- nel 1904 il casinetto del Petitot sullo Stradone venne utilizzato per accogliere gli studi di Farmacologia;
- nel 1907 il Museo di Storia naturale trova definitiva sistemazione nel Palazzo Universitario;
- nello stesso 1907 nel giardino dell'Ospedale dei Pazzerelli viene realizzato il Tubercolosario;
- nel 1910 si insedia nell'ex Filanda Negri l'Istituto di Igiene;
- nel 1911 si insediano nell'ex convento di Santa Teresa le scuole di Disegno e di Matematica;
- nel 1915 nei pressi della chiesa del

Quartiere viene realizzato il Padiglione Chirurgico, su progetto dell'ing. Enrico Bovio (Fig. 7).

L'Università aveva inoltre acquistato due lotti di terreno sullo Stradone per costruire un'Area delle Scienze a carattere Biologico in continuità con l'Orto Botanico, ma venne realizzato solo uno degli edifici previsti, attualmente sede di alcuni uffici dell'Amministrazione Provinciale di Parma.

Il costo di questa realizzazione orientò verso soluzioni diverse per la sistemazione delle numerose facoltà ed istituti che continuavano a far crescere l'Università di Parma: emblematico è l'insediamento, progettato dall'ing. Cornelli, all'interno dell'ex convento di San Francesco da Paola (Fig. 8), una volta liberato dall'Ospedale dei bambini, trasferitosi nei nuovi padiglioni dell'Ospedale Maggiore, progettati dagli ingegneri Marcovingi e Trabattoni.

Il primo intervento di nuova costruzione ad hoc di edifici universitari risale agli anni Cinquanta del secolo scorso e riguarda la Facoltà di Veterinaria, situata a nord ovest del centro della città, anche se la prima vera e propria ipotesi di decentramento delle attività universitarie già localizzate nel centro cittadino risale al periodo degli studi preliminari alla stesura del nuovo Piano Regolatore della città (1969-73): tale ipotesi prevedeva di attrezzare una vasta area separata dal nucleo più centrale della città allo scopo di creare una nuova polarizzazione funzionale favorendo lo sviluppo di attività di servizio collaterali.



Fig. 8 – Rilievo delle Torri dei Paolotti (ASPr, Raccolta Sanseverini, 1, 43a)

Nel marzo 1969 venne presentato un "programma edilizio delle sedi universitarie" elaborato da un gruppo di lavoro con ricercatori e collaboratori già familiari ai temi del decentramento universitario in area bolognese. Coordinatore del gruppo era il prof. arch. Fernando Clemente, affiancato dall'arch. Guido Canali e dall'ing. Alberto Mambriani, oltre ad una serie di altri ingegneri ed architetti. Le successive rielaborazioni di questa prima bozza di intervento portarono all'individuazione dell'area posta a sud-ovest della città. L'identificazione di una struttura a griglia in cui disporre i diversi edifici destinati ad ospitare i futuri istituti, venne condotta



Fig. 9 – Particolare del Centro di Calcolo dell'Università all'interno del Dipartimento di Chimica

rivolgendo una particolare attenzione a criteri di interazione interdisciplinare.

Una sola opera, tra i tanti edifici previsti, venne, però, costruita secondo le indicazioni di questa griglia preliminare: l'edificio della Facoltà di Chimica, la cui realizzazione ebbe inizio nel 1973. Il modello teorico astratto di riferimento tipologico venne, infatti, abbandonato per lasciare spazio ad una più articolata serie di edifici che dovevano trovare la loro definitiva espressione compositiva nella continua revisione progettuale, sempre condotta a fianco dei fruitori della struttura: docenti, studenti, ricercatori.



Fig. 10 – Veduta della corte: sullo sfondo il Dipartimento di Chimica, a sinistra il Dipartimento di Fisica, a destra il Dipartimento Biologico

L'edificio destinato alla Facoltà di Chimica (Fig. 9) si ispira a quello del Politecnico di Losanna, che venne realizzati tra il 1971 ed il 1977 su progetto dello studio Zwifel, Strickler e partners e fu progettato, in origine, dall'arch. Clemente, dall'arch. Canali e dell'ing. Mambriani, ed in fase esecutiva e di variante dal solo ing. Mambriani.

La sede della Facoltà di Chimica (1974-1985) è stata riassorbita come elemento significativo dal punto di vista compositivo all'interno della nuova "piazza" (Fig. 10) individuata dai corpi longitudinali delle sedi di Biologia e Fisica.

Anche le sedi dei Dipartimenti di Fisica (Fig. 11) (1891-1986) e di Biologia (1978-1987) sono state progettate dall'ing. Mambriani, seguendo criteri compositivi improntati al rispetto di una rigida griglia modulare che regola gli aspetti distributivi sui tre livelli degli edifici.

In seguito al primo approccio, la materiale costruzione del "Campus" ha poi seguito percorsi molto differenti, che hanno condotto ad una facies espressiva molto composita architettonicamente, ma assai efficace sotto il profilo delle relazioni ambientali innescate, definendo un settore urbano fortemente caratterizzato sotto il profilo funzionale che ha innescato ulteriori espansive dinamiche espansive sia all'interno che all'esterno del recinto dell'infrastruttura. Questa rapida e assolutamente non esaustiva carrellata storica sulle sedi universitarie e sui rispettivi progettisti, quando noti, ha, in realtà voluto essere

soprattutto uno spunto per alcune ulteriori riflessioni su alcune figure di ingegneri che, in un lungo tempo, hanno caratterizzato lo sviluppo in senso più esteso non solo dell'edilizia universitaria, ma, tutta l'evoluzione dell'Università parmense.

Solo le figure più recenti, appartenenti per lo più agli ultimi cento anni della nostra storia, sono, in realtà note; di quelle, invece, appartenenti ad un passato più remoto non sempre è noto il nome.

Così come, talvolta, soprattutto quando l'istruzione era strettamente connessa agli istituti religiosi, progettisti, nel senso attuale del termine, non erano nemmeno "tecnici" con una preparazione specifica, ma religiosi particolarmente eruditi in settori scientifici attinenti l'edilizia capaci, però, di lasciare ai posteri grandi esempi di architettura e funzionalità.

L'analisi, effettuata attraverso una ricognizione del materiale storico iconografico esistente presso i diversi archivi storici della città di Parma, tra cui anche e soprattutto quello universitario, ha offerto interessanti spunti di riflessione anche sulle diverse modalità esecutive proprie delle diverse epoche storiche cui è riconducibile l'esecuzione degli elaborati grafici.

L'ottica attraverso la quale sono stati analizzati i disegni effettuati è tesa soprattutto alla ricerca di modalità espressive tipiche del disegno di ingegneria, di stampo più tecnico-esecutivo, forse meno attento ad aspetti artistici di tipo pittorico, riscontrabili, invece, negli elaborati grafici più antichi, ma teso all'evidenziazione degli aspetti costruttivi essenziali alla realizzazione dei fabbricati.



Fig. 11 – Particolare del Dipartimento di Fisica

Molto ampio è l'ambito culturale volto ad indagare i rapporti tra disegno e progettazione nell'ambito dell'ingegneria, in relazione ai diversi ruoli che il disegno storicamente ha assunto ed assume nei vari momenti del processo progettuale, da quello ideativo formale a quello di realizzazione tecnica, sia in ambito costruttivo tradizionale che industrializzato.

La specificazione e la conseguente specializzazione del linguaggio grafico in funzione dei contenuti e delle tecniche esecutive rappresenta, oggi più che mai, un interessante ambito di ricerca, specie se intesa come ricostruzione storica dei processi che l'anno generata e risulta utile nell'accezione di estrarre

quell'insieme di invarianti che garantiscono validità metodologica ai linguaggi specifici.

Una di queste invarianti, la più importante e strutturata, è sicuramente la "radice geometrica" del disegno, che costituisce sempre il punto di partenza per ogni specializzazione del linguaggio grafico.

Un'altra invariante può essere individuata dalla metodologia d'uso adottata nei confronti dei diversi metodi di rappresentazione, in funzione della metodologia progettuale.

Il momento normativo, infine, specializza il linguaggio, finalizzandolo e restringendolo ad un determinato ambito, ma sempre deve garantire la permanenza dei valori di universalità data dal rispetto delle invarianti geometriche e metodologiche.

Perché, per un ingegnere un bel disegno è soprattutto un disegno ben costruito, al di là della pulizia e dell'espressività del tratto, giusto nella finalizzazione, rigoroso nei contenuti.

Bibliografia

Aa.Vv., *La Regione Culturale*, MIlano, Etas Kompass, 1973.
Aa.Vv., *Parma, la città storica*, Parma, Artegrafica Silva, 1978.
P. Giandebiaggi, *I disegni dell'Architettura Universitaria:Parma (1600-1940),* Parma, La Tipografica Parmense, 1990.
A. Mambriani (a cura di), *Università Città Piano*, Roma, Gangemi Editore, 1999.

Carolina De Falco

Trasporti su rotaie agli inizi del Novecento. La Circumvesuviana e il progetto per la stazione di Bellavista

Sul finire del 1920, quando viene inaugurata a Roma, presso l'Istituto di Belle Arti, la nuova Scuola Superiore di Architettura si verifica il momento di sintesi della ricerca della nuova figura professionale dell'architetto ormai distinta da quella dell'ingegnere. I grandi progressi raggiunti nel settore dei trasporti su ferro durante questo periodo forniscono l'impulso per la costruzione degli edifici destinati alla nuova destinazione d'uso. L'architettura ferroviaria in genere, ma comunque quella realizzata per i diversi impianti di trasporto su rotaie, fornisce ancora un terreno d'incontro per ingegneri e architetti, i primi impegnati nella sperimentazione di tecniche innovative, i secondi nella ricerca di modelli per dare nuova forma alle recenti sedi. La stazione della circumvesuviana di Portici-Bellavista, progettata nel 1927 da Carlo Avena, figlio dell'ingegnere Adolfo, ideatore di arditi impianti di funicolari aeree per la città di Napoli alla fine dell'Ottocento, offre lo spunto per ripercorre alcune tappe di tali sviluppi.

Va ricordato a tal proposito che se in Francia, nel XVIII secolo, architettura e ingegneria erano ancora strettamente connesse, nonostante la formazione del "Corp des Ponts et Chaussées", in Inghilterra si comprese che le nuove esigenze nel tempo delle macchine non potevano più essere soddisfatte da un'Arte Bella; fu John Smeaton, nel 1750 circa, ad adottare per primo il titolo di ingegnere civile, distinguendo in tal modo il proprio operato non solo da quello dell'architetto ma anche da quello dell'ingegnere militare[1]. Ai progressi raggiunti nel campo dell'industria siderurgica Watt aggiunse la nuova tecnica ricavante energia dal vapore acqueo determinando, com'è noto, la nascita di una nuova era dell'ingegneria. All'inizio del XIX secolo, con l'applicazione del vapore ai trasporti, l'ingegnere meccanico - il cui antenato era stato il costruttore di mulini fin dal tardo Medioevo - si distinse nel suo ruolo oramai autonomo. Nel 1847 in Inghilterra si costituì inoltre la Institution of Mecha-nical Engineers.

Se binari e veicoli a ruote furono usati fin dal 1530, data della prima illustrazione per quanto noto, di una ferrovia, la vera svolta avvenne con Gorge Stephenson, con la prima locomotiva a vapore, realizzata nel 1825. Per quanto riguarda i mezzi di trasporto cittadino sembra probabile che la prima tramvia stradale abbia avuto origine a New York nel 1832, sostituita dal "trolley" con la comparsa della trazione elettrica nel 1889. Il problema principale di tale tipo di trasporto era tuttavia costituito dalla perdita di tempo causata dagli altri mez-



Fig. 1 – Funicolare aerea tra Via Roma e il Corso V.E-Progetto degl'Ingegn.ri S. Sorrentino e A. Avena (Gambardella, De Falco)

zi di locomozione che inevitabilmente invadevano le rotaie. La richiesta di un transito più rapido condusse dunque all'ideazione di linee sotterranee e sopraelevate; per queste ultime mostrandosi particolarmente all'avanguardia New York, mentre Londra ancora dopo il 1900 ebbe l'unica rete metropolitana del mondo, il cui ingegnere capo fu John Fowler[2].

«La specialità di queste ferrovie» mette in luce la pubblicazione dell'ingegnere Oppizzi del 1915 «è il servizio delle metropoli con treni quasi continui; ove pure si coprono grandi distanze, perciò hanno capacità di traffico viaggiatori elevatissime; velocità che non sarebbero consentite alle tramvie, quindi numero di vetture-Km più che doppio 250 mila e più; sede stradale propria, ciò che le rende libere nella velocità»[3]. Quest'ultima osservazione sottolinea, come accennato, una delle ragioni principali che determinò il successo delle metropolitane come mezzo di trasporto cittadino. Nel saggio viene inoltre rilevato che nei quartieri esterni o prossimi alle periferie le ferrovie sopraelevate erano preferite dai viaggiatori mentre quelle sotterranee erano considerate una necessità. La costruzione delle gallerie veniva eseguita con il metodo dell'aria compressa, attraverso enormi cassoni metallici cilindrici orizzontali, del diametro di sette metri, disposti a coltello lungo la direttrice di penetrazione anteriore. La trazione nella maggior parte delle metropolitane era elettrica, alimentata da corrente continua, con una potenza complessiva di 1500 HP. Treni composti da due vetture del peso medio di 150 tonnellate a vuoto, compresa la locomotiva, potevano trasportare 100 tonnellate di merci[4]. Intorno alla metà degli anni venti del Novecento si realizzano, quasi contemporaneamente, in Campania importanti progressi nella costruzione di mezzi di trasporto su rotaie. Nel 1924, com'è noto infatti, si costituisce a Napoli la Società Anonima Funicolare Centrale che un anno dopo avvia i lavori affidandone poi il montaggio alla ditta milanese specializzata Ceretti & Tanfani. Inaugurata nel 1928, la Funicolare Centrale, progettata dall'ingegner Comencini insieme a Nicola Daspuro, ricalcava in sotterranea l'ardita idea di Adolfo Avena il quale, laureatosi presso la Real Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Napoli, dove era stato allievo di Paolo Boubée, si era dedicato allo studio, particolarmente all'avanguardia, di una funicolare aerea tra via Roma e il Corso Vittorio Emanuele fin dal 1884[5]. Per unire la collina di via Manzoni con l'inizio del lungomare viene infine aperta,

nel 1931, la funicolare di Mergellina, a seguito della convenzione stipulata dalla Società Partenopea Edilizia Moderna Economica, la quarta linea dunque a essere costruita, dopo quelle già esistenti di Chiaia e di Montesanto. Nel frattempo la Società Ferrovie Napoletane, esercente la Cumana da Napoli a Torregaveta, nel 1927 porta a compimento l'elettrificazione della sua rete, anche se l'auspicato prolungamento fino a Miseno e a Baia dovrà attendere il 1940.

È proprio l'elettrificazione a fornire l'avvio nel perfezionamento del sistema dei trasporti su ferro[6]. Già nel 1897 infatti l'allora Ministro dei Lavori Pubblici Prinetti aveva nominato una Commissione composta dagli ingegneri Nicoli e Grismayer, del Regio Ispettorato delle ferrovie, e dai rappresentanti delle reti Mediterranea e Adriatica, per studiare gli «effetti dell'applicazione elettrica alle ferrovie di traffico limitato con scopo principale di renderne più economico l'esercizio»[7]. Il problema iniziale dei primi esperimenti fu determinato dal terzo binario, che riceveva energia da sottostazioni alimentate da una centrale termoelettrica, il quale costituiva, per quanto isolato, un potenziale pericolo. Il sistema non ebbe infatti sviluppi significativi, se non per un servizio di tipo metropolitano tra Villa Literno e Napoli, sostituito negli anni 1902-1921 da diversi modelli di locomotive elettriche a fili aerei, a corrente alternata trifase.

L'elettrificazione della rete ferroviaria coincide anche con il suo ampliamento al fine di creare una connessione con le linee già in funzione nell'Italia settentrionale. Un progetto dell'ingegnere Cucciniello, del 1914, testimonia a tal proposito l'impegno speso nella costruzione del collegamento della Puglia con Napoli, nel momento stesso in cui quest'ultima veniva messa in comunicazione con Roma. "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 percorso relativamente più breve, in comunicazione diretta la capitale del Mezzogiorno d'Italia «Napoli», con le Puglie […] In tal modo questa nuova arteria a trazione elettrica verrebbe a congiungere Bari sull'Adriatico con Napoli sul Tirreno, e tenendo conto della costruenda «direttissima elettrica» del-

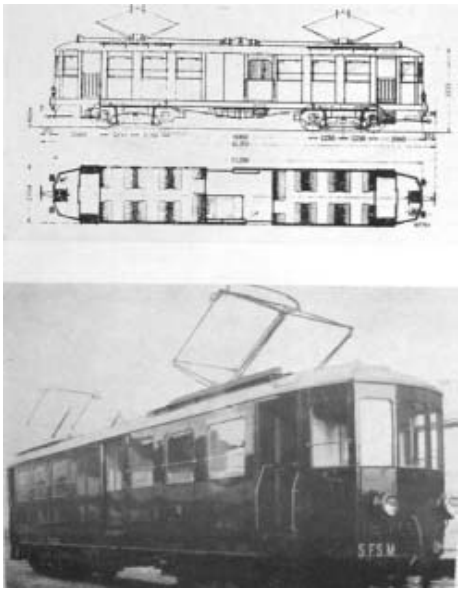


Fig. 2 – Elettromotrice: schema e prototipo nel 1926 (Ogliari)

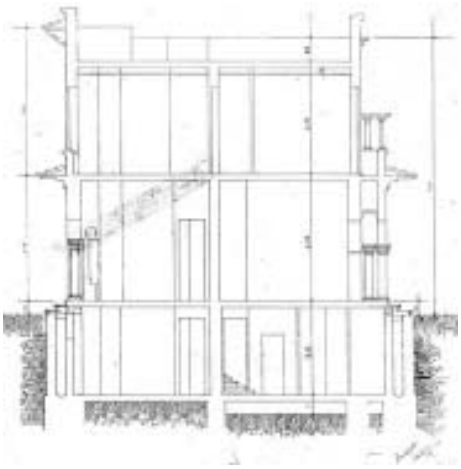


Fig. 3 – C. Avena, Ferrovia Circumvesuviana. Nuova stazione di Bellavista, sezione. 1927. (ASCN)

lo Stato «Roma-Napoli» si verrebbe a costruire la più grande ferrovia elettrica del mondo Bari-Napoli-Roma"[8].

La Napoli–Roma fu inaugurata nel 1927 dopo lunghe riflessioni sull'opportunità di realizzare una linea unicamente esterna alla città o che la attraversasse prima di proseguire, come poi fu fatto, da piazza Garibaldi ai Campi Flegrei, mediante un tracciato di gallerie, consentendo fermate intermedie come una metropolitana.

Un sicuro impulso anche nella soluzione del problema dei trasporti a livello provinciale in Campania viene fornito dall'elettrificazione e rinnovamento della Circumvesuviana. Nel 1901 la Società anonima Ferrovia Napoli-Ottaiano, che si era costituita nel 1890 con l'intento di assumere il completamento della costruzione della linea approvata tre anni prima (nel 1884 si era invece inaugurata la prima ferrovia a vapore Napoli-Nola-Baiano), si trasforma in una società per azioni con la denominazione di Strade Ferrate Secondarie Meridionali. Il progetto prevedeva il prolungamento della stazione di arrivo del tronco nord da San Giuseppe, dove era stata proseguita già nel 1891, fino a Sarno e la costruzione del tronco sud Napoli-Pompei-Poggiomarino. A partire da quest'ultima località la linea, che assumeva pertanto una forma anulare intorno al Vesuvio tanto da essere denominata per tale ragione Circumvesuviana, si ricongiungeva a Sarno, mentre la scissione nei due rami dopo Napoli avveniva a Barra. Circa 70 chilometri di binari caratterizzati da rettifili molto lunghi, curve di ampio raggio e pendenze molto limitate. Il materiale era stato fornito dalle Ferrerie del Vesuvio, con sede a Torre Annunziata, mentre le locomotive provenivano da Saronno.

La grande frequentazione della Circumvesuviana ha un immediato risvolto ai fini turistici tanto che già nel 1903 entra in funzione la nuova ferrovia elettrica per giungere sul cratere del Vesuvio -in sostituzione della più antica funicolare del 1880- la quale viene collegata al percorso della vesuviana dalla fermata di Pugliano (Resina), sulla Napoli-Pompei. Anche le terme di Castellammare e la città Sorrento furono infine collegate attraverso il prolungamento della Circumvesuviana nel 1934 a partire da Torre Annunziata, fornendo persino l'esempio, come ricorda la cronaca del quotidiano *Il Mattino* di quell'anno, per la costruzione della Londra-Liverpool.

Nel 1926 la Circumvesuviana viene dunque elettrificata rendendo necessarie alcune modifiche. Le rotaie della ferrovia, quasi interamente in sede propria a binario unico ad aderenza naturale, del tipo Vignole dal peso di 21,4 Kg./ml. furono sostituite con altre del peso di 36 Kg./ml., mentre per la trazione elettrica furono impiegate automotrici a due assi e a due motori da 50 HP ciascuno con cui poter formare treni da 40 T[9].

Altri dati tecnici sono forniti dalla *Rivista dei Trasporti* del febbraio di quell'anno da cui si apprende che vi erano circa venti tra locomotori e automotrici, queste ultime dotate di freno a mano, freno Westinghouse e freno elettrico in corto circuito, provviste inoltre di un pantografo per la presa di corrente. All'interno dei vagoni, la cui ossatura era in legno duro rivestito e placcato, lo spazio maggiore era previsto per il trasporto dei passeggeri, ma vi era pure un reparto per la posta e un bagagliaio.

La soppressione della trazione a vapore e la sua sostituzione con quella elettrica portarono a una efficace semplificazione dei servizi con un notevole incremento di traffico che passò dai circa tre milioni di passeggeri trasportati nel 1907 a circa il doppio nel 1926. Anzi ormai prendere la Circumvesuviana era diventato un evento sociale raccontato nelle enfatiche cronache dell'epoca che riferivano di «attoniti visitatori che amano farsi ritrarre in rimembranti foto di gruppo o in singolari pose affacciati ai finestrini o sui predellini»[10].

Va ricordato che durante questo periodo, dal 1924 al 1934, dirigeva il Ministero delle Comunicazioni Costanzo Ciano (padre di Galeazzo) il quale prestò particolare attenzione proprio al tema dei trasporti, lasciando un volume, al termine del suo mandato, dove illustrava i successi ottenuti dalle comunicazioni italiane sotto la sua direzione[11]. A capo dell'Ufficio Costruzioni Edilizie e Stradali, in collaborazione con l'Ufficio Architettura, va ricordato il ruolo chiave svolto nel migliorare la qualità architettonica delle opere ferroviarie da Ferruccio Businari, con la pubblicazione, nel 1931, degli episodi più significativi[12]. L'ingegnere si batté infatti nel sostenere che una maggiore attenzione artistica non comportasse necessariamente un aggravio nelle spese.

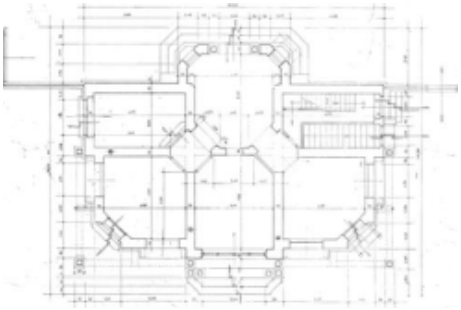


Fig. 4 – C. Avena, Ferrovia Circumvesuviana. Nuova stazione di Bellavista, pianta. 1927. (ASCN)

Gli edifici delle stazioni ferroviarie progettati in quegli anni, infatti, offrono un ampio repertorio linguistico che declina, non meno di altre opere, il passaggio dell'architettura italiana dall'eclettismo al modernismo, dal classicismo alle premesse del razionalismo. Tra questi possiamo sicuramente includere le stazioni della circumvesuviana



Fig. 5 – Ex stazione di Bellavista allo stato attuale

in Campania, tra cui quella di Bellavista progettata da Carlo Avena nel 1927.

Sulle orme paterne, e così come i fratelli Gino e Mario, quest'ultimo impegnato in particolare in Egitto, dove evolve la propria esperienza in base alla lezione di Terragni e di Sartoris, proseguendo poi la propria attività a Milano, anche Carlo si dedicò alla progettazione[13]. Come risulta dagli incartamenti, ritrovati presso l'Archivio Storico della Circumvesuviana, la nuova stazione di Bellavista fu progettata con l'intento di riunire le due fermate di Cassano Campitelli e di Bellavista in un'unica località situata in una zona intermedia, con autorizzazione resa attraverso un D.M. del 15 ottobre 1926[14]. Una nota dell'Ispettorato generale Ferrovie, Tramvie e Automobili del Ministero delle Comunicazioni, del 1928, segnala l'approvazione del progetto del fabbricato viaggiatori, a meno dell'apparato centrale di manovra e dei segnalatori automatici ai passaggi a livello, in quanto, si sottolinea, era necessario riflettere sull'opportunità di installare tali impianti anche sulle altre stazioni. Un esposto del 1930, infine, contro un esproprio di parte del terreno su cui sorgeva la villa di delizia dei signori Cangiani e Carlino, al fine di correggere il tracciato planimetrico dei binari, testimonia l'avvenuta costruzione dell'edificio, ormai in esercizio, per il quale si stava provvedendo a realizzare l'accesso con strada carreggiabile da via Nuova Bellavista.

I disegni di progetto di Carlo Avena ritrovati, le piante dei piani terreno, superiore con le logge, e inferiore con i servizi, magazzino e i locali destinati agli accumulatori, una sezione e due diverse prospettive, sono firmati, datati e siglati da un motto: «pietra su pietra…»[15].

La stazione è sopravvissuta al processo di urbanizzazione del Comune di Portici degli anni '70, ma è stata riconvertita a uso residenziale, mentre l'attuale fermata, situata poco più avanti, presenta una struttura a ponte opera di Nicola Pagliara. Nonostante le trasformazioni interne, conserva all'esterno i caratteri e i materiali originari, mostrando un linguaggio tardo-liberty, evidente nel movimento dovuto all'incastro dei volumi poligonali sull'impianto centrale, nel ricco paramento murario maiolicato, nell'ordine a volute dei capitelli e nell'immancabile orologio, repertorio non privo di ascendenze mediterranee espresse nelle cupole di copertura e nelle logge pergolato[16].

Al di là dell'insegnamento paterno, il progetto di Carlo Avena, non risente della svolta, a dir vero quasi contemporanea, determinata dagli episodi degli

ultimi anni Venti, come la prima mostra romana dei giovani razionalisti al Palazzo delle Esposizioni, e comunque non è immediato a Napoli l'esito del differente clima culturale determinatosi a seguito dell'Esposizione di Arti Decorative di Parigi del 1925.

È precedente anche alle stazioni della Circumvesuviana progettate dall'"architetto-ingegnere" Marcello Canino tra il 1934 e il 1945, con un linguaggio alternamente classico-monumentale, come nella stazione di Napoli - poi sostituita dal *Terminal* di Giulio De Luca e Arrigo Marsiglia negli anni '70 – o legato al mediterraneo come espressione di tradizione, per esempio a Pompei Villa dei Misteri, o ancora che dava rilievo alla modernità dell'ingegneria, come a Castellammare[17]. La stessa facciata della stazione ferroviaria di Mergellina a Napoli, progettata nel 1927, presenta ancora una commistione di motivi classicisti e tardo-liberty, sebbene secondo un impaginato di più ampio respiro, non priva di innovazione nell'uso del vetrocemento[18].

Va comunque sottolineato che a Napoli l'uso tardivo del repertorio liberty può essere forse interpretato come l'adesione a oltranza nei confronti di un linguaggio che aveva saputo svincolarsi dalla tradizione, peraltro viceversa recuperata in quegli stessi anni dalle tematiche novecentiste, o perpetuata, a esempio, nel "barocchetto" romano, e adottata da alcuni degli stessi fautori delle nuove correnti del pensiero razionalista. In un contesto dove, tra i protagonisti del liberty, Paterna Baldizzi



Fig .6 – C. Avena, Ferrovia Circumvesuviana. Nuova stazione di Bellavista, prospettiva. 1927. (ASCN)

aveva lasciato tracce della sua presenza insegnando a Napoli presso la Scuola Superiore Politecnica (dal 1923 Real Scuola d'Ingegneria), e che vive una nuova stagione dell'"eclettismo di ritorno" protrattasi, in alcuni casi, oltre la fine della prima guerra mondiale[19]. Laddove, negli anni pure produttivi sotto l'egida dell'Alto Commissariato, l'ambiente intellettuale napoletano viene animato da una cultura di opposizione al fascismo, raccolta nei cenacoli della Libreria 900 o intorno alle figure di Croce o dell'ingegnere Bordiga.

In altri ambiti l'uso del liberty negli anni Venti è stato segnalato quasi come lessico di appartenenza a una categoria: quella dei dipendenti delle Ferrovie dello Stato. In Sicilia infatti, negli anni tra il 1922 e il 1925, furono costruite stazioni ferroviarie, ma anche ambienti di servizio delle stesse e finanche abitazioni del personale, secondo soluzioni riprese dagli stilemi del modernismo di Basile, da autori come Fragapane o Sindona, quest'ultimo formatosi a Napoli[20]. Non sempre, in ogni caso, come

già accade nell'epoca delle costruzioni in ferro e vetro o a seguito della scoperta del cemento armato, l'architettura, nel porsi in maniera critica quale specchio di una società in evoluzione, riesce immediatamente a dare nuova forma alle scoperte tecnologiche dell'ingegneria. È ciò che forse accade, all'inizio del XX secolo, con il tema degli edifici ferroviari, che offre tuttavia ancora un terreno di confronto tra le due discipline, solo di recente distinte.

[1] J. K. FINCH, *The Story of Engineering*, Anchor Books – Doubleday e C., New York, 1960 (trad. it. *Storia dell'ingegneria*, Firenze, Sansoni, 1962), p. 13.

[2] *Ivi*, pp. 259-264 e 283-284.

[3] P. OPPIZZI, I più recenti progressi della tecnica nelle ferrovie e tramvie. Costruzioni – *materiali –esercizio – tecnologia dei trasporti*, Milano, Hoepli, 1915, p. 204.

[4] Cfr. anche SOCIETÀ TRAMVIE E FERROVIE ELETTRICHE, *Dal tranvai alla metropolitana*, Roma, S.E.N., 1961. Sui primi progetti di metropolitana a Napoli cfr. G. ALISIO, *Lamont Young: utopie e realtà nell'urbanistica napoletana dell'Ottocento*, Roma, Officina, 1978.

5 Il progetto, approvato dal Consiglio comunale nel 1893, fu premiato con la medaglia d'argento e sarebbe stato persino finanziato da Eiffel, se non fosse stato successivamente ostacolato: A. GAMBARDELLA, C. DE FALCO, *Avena architetto*, Napoli, E.S.I, 1991, pp. 69-79, anche per ulteriori dettagli tecnici.

6 Sull'argomento cfr. anche P. DUPUY, La traction electrique: tramways, locomotives et metropolitains electriques…/ par Paul Dupuy, Paris, Libraire de sciences generales, 1897.

[7] G. ROCCATI, Dalla strutturazione amministrativa della rete ferroviaria italiana ai primi esperimenti della sua elettrificazione, in Architettura ferroviaria in Italia. Novecento, a cura di E. Godoli, A.I. Lima, Palermo, Dario Flaccovio, 2004, p. 18.

[8] 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 1914, pp. 3-4.

[9] F. OGLIARI, *Terra di Primati*, *Storia dei Trasporti italiani*, vol. V, Milano, Cavallotti Editori, 1976, pp. 1591-1594.

[10] *Ivi*, p. 1623. Cfr. anche F. OGLIARI, *La Circumvesuviana 100 anni di storia*, Milano, G. Mazzotta, 1990.

[11] C. CIANO, *Dieci anni di attività al Ministero delle Comunicazioni*, Roma, Casa Editrice Pinciana, 1949, XVIII: cfr. E. MASIELLO, *Architetti e ingegneri del Ministero delle Comunicazioni*, in *Architettura ferroviaria*, cit., p. 96 e la bibliografia citata sulle opere realizzate dalle Ferrovie negli anni venti e trenta.

[12] F. BUSINARI, *L'architettura nella edilizia delle Ferrovie dello Stato*, in *Relazioni tecniche al II Congresso Nazionale degli ingegneri italiani* (Roma 8-18 aprile 1931), Roma, Società anonima poligrafica italiana, 1931, IX, a cura del Sindacato Nazionale Fascista Ingegneri.

[13] C. DE FALCO, *Mario Avena: architetture degli anni Trenta in Egitto*, in *Dal Barocco al Razionalismo studi di architettura*, Napoli, E.S.I., 1996, pp. 111-125; per l'opera di Gino cfr. *ivi*, p. 124, n.4. La produzione napoletana di Carlo Avena annovera la realizzazione dell'ospedale Ascarelli e del cosiddetto giardino degli aranci a Posillipo.

[14] Archivio Storico della Circumvesuviana, Napoli, fascicolo *Stazione di Bellavista*, relazioni e disegni sciolti e privi di numerazione. In *Ibidem* anche le citazioni successive.

[15] *Ibidem*. Ringrazio per la segnalazione i proff. Pasquale Belfiore, autore del restauro dell'edificio della ex stazione, nel 1989, e Maria Dolores Morelli.

[16] Sul tema dell'architettura mediterranea cfr. CH. GAMBARDELLA, Il sogno bianco. Architettura e mito mediterraneo nell'Italia degli anni '30, Napoli, Clean, 1989.

[17] M.D. MORELLI, Stazioni della Circumvesuviana, in Marcello Canino 1895/

1970, a cura di S. Stenti, Napoli, Clean, 2005, pp. 182-187.

[18] B. GRAVAGNUOLO, Le stazioni ferroviarie di Napoli nel XX secolo, in Architettura ferroviaria, cit., p. 407.

[19] P. BELFIORE, B. GRAVAGNUOLO, Napoli. Architettura e urbanistica del Novecento, Napoli, Editori Laterza, 1994, pp. 18-55. Cfr. anche R. BOSSAGLIA, 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. 209220.

[20] E. SESSA, *Un tardo liberty per le stazioni in Sicilia*, in *Architettura ferroviaria*, cit., pp. 169-186.

Aulo Guagnini

1910: un coraggioso approccio al cemento armato. Il caso della Sinagoga di Trieste

Facendo seguito al grande sviluppo economico di Trieste nella seconda metà dell'Ottocento, la locale Comunità Ebraica[1] decide di erigere quella che diverrà la più grande Sinagoga d'Italia, capace di oltre 2000 posti a sedere[2]. Dopo l'infelice esito di un grande concorso di architettura a scala europea[3], il progetto viene affidato allo studio di architettura più noto all'epoca in città, lo Studio Berlam[4].



Fig. 1 – Esterno della Sinagoga

Gli architetti riuscirono a superare l'handicap della configurazione del terreno a disposizione, su due lati delimitato da vie strette e aperto soltanto su una piccola piazza, che non poteva essere utilizzata per la facciata principale[5] . Sia per ragioni statiche, in funzione della spinta delle volte, sia per seguire la tradizione delle antichissime costruzioni orientali, si costruirono muri rastremati esternamente, con una pendenza del 3%, a partire da 9 metri sul livello stradale[6].

Già dal bando di concorso del 1903 si desume che "il sottosuolo è di formazione alluvionale ed è costituito, fino alla profondità media di metri 3,50, da materiale di riporto, poi da uno strato argilloso, sul quale furono eseguite le opere fondazionali degli altri edifici"[7]. Il problema tecnico sulla composizione del terreno è ribadito, in seguito, dai Berlam, che, per la presenza di argilla, sono costretti a progettare fondazioni molto estese per un edificio che, tra l'altro, deve essere calcolato per venti fino a 140 km/h, con una precisa scelta di materiali in grado di "presentare la massima resistenza al tempo"[8].

La struttura interna presenta quattro grandi volte a botte, sostenute da quattro pilastri. Le volte, per mezzo di pennacchi sferici, sorreggono la cupola. Oltre alle quattro grandi volte, ne fu costruita, sopra l'entrata, un'altra più stretta, sotto la quale si affaccia un matroneo, che costituisce, allo stesso tempo, il vestibolo principale, sormontato dalla galleria dell'organo o cantoria. A conferire nobiltà alla facciata principale e ad alleggerire la mole imponente dell'edificio contribuisce l'inserimento di una torre maestosa che si impone sul paesaggio urbano. All'interno lo spazio tra i pilastri è occupato da due gallerie

laterali a gradoni, molto inclinate, che consentono la vista dell'Aron senza impedimenti. La volta a botte di fronte all'ingresso "prosegue" con l'abside, particolarmente evidente per essere la zona più ricca di ornamenti, anche musivi. Le altre cupole e le arcate sono ornate semplicemente con graffiti le cui linee indicano quella decorazione a mosaico che, per mancanza di fondi, fu progettata ma non eseguita. Per capire il senso delle scelte in rapporto alle difficoltà del cantiere, sono emblematiche le parole pronunciate all'inaugurazione dagli stessi progettisti "nella parte costruttiva si cercò di unire quanto ci offre di meglio la nuova tecnica dei cementi armati alle vetuste e nobili tradizioni delle costruzioni a volta romane e bizantine"[9].

Nel saggio che gli stessi progettisti pubblicarono sulle pagine del numero monografico dedicato all'inaugurazione della Sinagoga dalla rivista Corriere Israelitico, viene offerta una dettagliata quanto superficiale "lista" delle tecniche e dei materiali usati nella realizzazione, l'elenco delle maestranze che vi hanno lavorato e numerose osservazioni sulla scelta dello "stile".



Fig. 2 – Vista interna su un matroneo

Il primo aspetto da sottolineare è il fatto che tutte le fondazioni sono continue e seguono l'andamento dei muri maestri. I quattro pilastri che sostengono la cupola hanno fondazioni a plinto; non c'è alcuna innovazione rispetto agli altri edifici realizzati in quel periodo; la tecnica usata però riserva qualche sorpresa. Le strutture sotterranee hanno la particolarità di essere state realizzate in terra di Santorino, una sorta di pozzolana composta da biossido di silicio, argilla, allume con l'aggiunta di altre sostanze in modo da ottenere una composizione compatta atta ad essere utilizzata in terreni dove c'è presenza di acqua. A Trieste tali accorgimenti erano già stati impiegati per le costruzioni portuali e per gli edifici del Borgo Teresiano. Va detto però che l'uso di fondazioni dirette con questa tecnica costituisce un *unicum* rispetto al modo di costruire fondazioni in calcestruzzo. Sono state calcolate per una pressione di 3 kg/cm² con una struttura a gradoni in pietra arenaria e calcestruzzo.

Le considerazioni più interessanti emergono da un'attenta osservazione delle strutture del Tempio[10] . Le altezze interne sono di 13,30 metri nella parte piana del soffitto, di ben 24,70 metri nel punto più alto, in corrispondenza della chiave della volta e di 28,20 nel punto di imposta della cupola principale.

Prima di analizzare le strutture in conglomerato cementizio armato, è giusto ricordare che, per quanto riguarda i relativi calcoli, "i signori costruttori edili […] subappaltarono le opere in cemento armato alla locale ditta Seravalli &

Pontello diretta dal sig. ing. Vittadini. Quest'ultima ditta eseguì, direttamente in regia della Comunità, le opere in stucco lucido, le decorazioni in gesso e in cemento bianco"[11]. Evidenziare in modo completo tutte le soluzioni costruttive e tecnologiche sarebbe complesso, pertanto si preferisce concentrare l'attenzione sulle gallerie laterali dei matronei, sulla galleria dell'organo e sul sistema di copertura in quanto ritenute tra le più interessanti per l'epoca.

L'imponenza delle strutture è evidente già dalle tavole originali[12] relative alle gallerie dei matronei. Lo schema dell'armatura presenta due travi principali collegate fra loro in modo da formare un'unica trave a "U", di luce netta 13,30 metri e con appoggi sui pilastri di 60 centimetri. Sulla trave più interna formante la "U", vengono incastrate cinque travi a mensola in cemento armato di sezione 25 x 248 cm (all'incastro nel muro) e 25 x 90 cm (all'incastro con la trave). Le travi principali a "U" sono armate per ogni singola ala con cinque ferri ∅ 50 inferiormente e con 4 ∅ 25 nella parte superiore; le staffe sono in parte inclinate e in parte diritte con interasse di 20 cm e di spessore 10 mm, per lo sforzo di taglio è stato inserito un "cavallino" Æ 50 mm.



Fig. 3 – Vista interna

Quasi al centro dei cinque mensoloni trasversali è stato posto un piastrino rompitratta 30 x 35 cm, (armato con 4 Æ 30 e fitte staffe elicoidali da 10 mm), che va ad incastrarsi, interagendo, nella trave inferiore e nel solaio a supporto vero e proprio del matroneo. Vi è poi la presenza di una "trave a ginocchio" che corre dalla trave ad "U" fino al muro perimetrale con un incastro di 60 cm, armata con 4 Æ 28 e staffe da 10 mm. Su queste travi è stata appoggiata una soletta dello spessore di circa 10 cm armata con una maglia in acciaio 20 x 20 cm: la soletta è armata superiormente; quest'ultimo aspetto è particolarmente interessante poiché essendo una tratta soggetta a flessione composta (taglio e flessione) dovrebbe essere armata anche inferiormente. Al di là dei dati tecnici, quello che colpisce è proprio la dimensione degli elementi che si andavano a realizzare all'interno di un edificio[13] . Porre in opera barre di acciaio del diametro di 50 mm che dovevano coprire una luce di 13 m non era affatto un'operazione semplice, soprattutto a causa del peso proprio di questi elementi, delle difficoltà di manovra in cantie-

re, dei procedimenti di accoppiamento e di inserimento nei casseri.Lo stesso discorso può essere fatto per la galleria dell'organo, che risulta composta da 4 mensole di luce 3,35 m e una trave di collegamento che funge da parapetto, lunga 5,50 m[14].

La parte più "affascinante" riguarda il sistema delle cupole e delle coperture: i disegni sono molti, ma comunque incompleti, mancano alcune piante e le sezioni. Ci sono però alcune tavole che riguardano il calcolo della statica grafica relativo a questi elementi[15].

La cupola principale in realtà è composta a sua volta da due cupole, una di intradosso e una di estradosso e sono entrambe semisferiche: quella interna ha diametro 14 metri e quella esterna 16. Sono state realizzate entrambe in calcestruzzo armato, ma con una sostanziale differenza rispetto ai disegni originali di progetto. In corrispondenza della chiave, probabilmente in corso d'opera, si è provveduto a inserire un'ogiva al fine di permettere il passaggio della luce.

Entrambe le cupole sono sostenute da volte in mattoni e cemento sulle quali è stato posto l'anello per la ripartizione dei carichi, realizzato in mattoni pieni tirantati per contrastare le varie spinte: infatti questa muratura in parte poggia sulle volte e in parte sui pennacchi. Dal cordolo in mattoni partono le strutture vere e proprie in cemento armato: quelle del solaio del tetto circostante la cupola e quella della cupola stessa.

Data la perfetta simmetria, analizziamo un quarto della superficie del tetto: il sistema portante è costituito da due



Fig. 4 – Vista della cupola interna

travi d'angolo, da una trave orizzontale poggiante su pilastri sovrastanti le volte e da nove travi che si incastrano nel muro e nella trave orizzontale, proseguendo nella base della cupola. L'interasse di queste travi è di 2,4974 m[16], ed hanno dimensioni di 25 x 40 cm. Queste travi a loro volta sostengono il solaio del tetto. La soletta del solaio di copertura, dello spessore di 12 cm, non è appoggiata semplicemente sull'impalcato delle travi, ma forma un sistema unico con esse. La pendenza del tetto è data solo da un semplice getto inclinato verso i compluvi perimetrali eseguiti anch'essi in calcestruzzo armato. Anche in questo caso si è fatto uso di travi a mensola, e la loro armatura è composta da cinque ferri (quattro inferiori e uno superiore) e staffe diritte e inclinate.

La cupola principale risulta composta da nervature distanti 2,1 m alla base. Esse erano state progettate per giungere fino alla sommità, in realtà, come detto, terminano prima, dato che è stato realizzato un lucernaio. La soluzione dei progettisti è stata quella di realizzare una cupola leggera, ma molto resistente, che

non inducesse sforzi di flessione. È stata realizzata con ventiquattro nervature dello spessore di soli 6 cm, non abbiamo però alcuna informazione sulla dimensione dei ferri.

L'indiscutibile modernità dell'opera si rivela nelle esili dimensioni dei getti, infatti le due volte hanno uno spessore di 12 cm (quella interna) e di 15 cm (quella esterna), armate solo con una maglia di ferro, che potremmo paragonare alle odierne reti elettrosaldate.

Si può ipotizzare quello che doveva essere stato l'armatura per i getti. Con ogni probabilità è stata realizzata una grande centina su un'impalcatura interna che poggiava direttamente sul pavimento sottostante; su di essa, dopo un primo getto della cupola di intradosso, sono stati predisposti i casseri per le nervature, ed infine si è armata la seconda cupola, con una centina probabilmente a perdere (almeno in parte).

È possibile ipotizzare inoltre che tali getti siano stati realizzati in diverse fasi, in quanto dall'esterno si possono riconoscere le tracce di linee di ripresa del getto, linee che nel corso del tempo si sono dimostrate il punto debole della struttura in quanto interessate da fessurazioni che hanno dato luogo a infiltrazioni d'acqua. Considerando l'epoca e

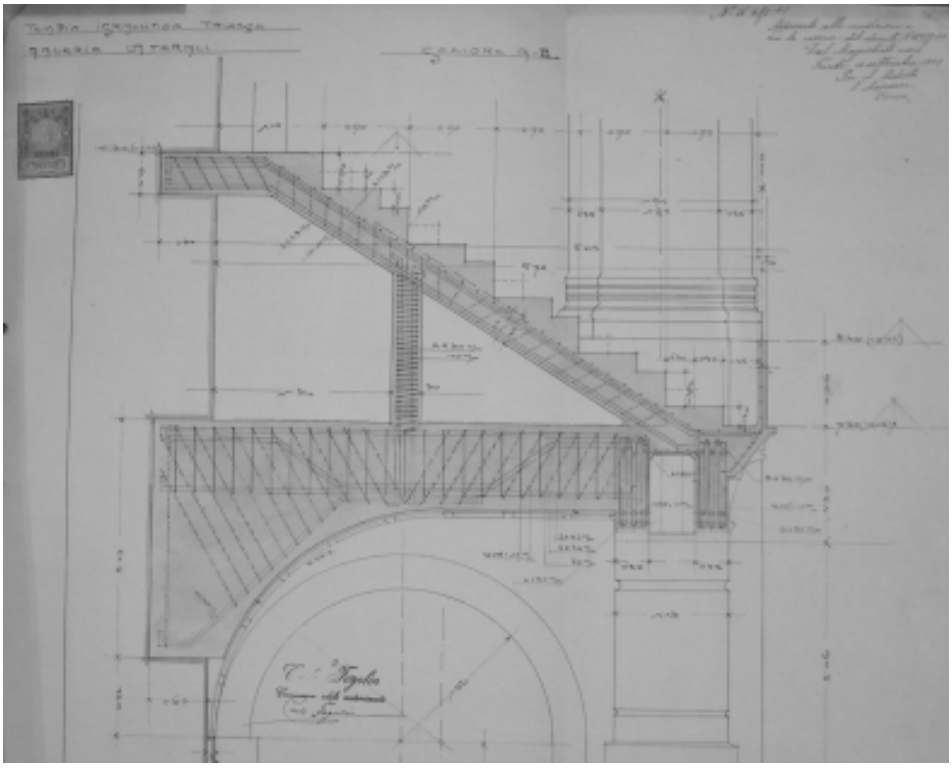


Fig. 5 – Sezione del matroneo, disegno delle strutture (Museo della Comunità Ebraica di Trieste)

la difficoltà di eseguire getti continui di grandi superfici, data anche l'impossibilità tecnica di preparare e di portare i materiali ad altezze non indifferenti, inconvenienti di questo tipo non possono essere considerati errori di costruzione quanto piuttosto inconvenienti irrinunciabili di ogni cantiere a carattere sperimentale. Sulla qualità delle scelte non c'è dubbio: su precisa richiesta della committenza, per la parte costituente l'ossatura portante dell'edificio sono stati impiegati i migliori ritrovati offerti dalla tecnica del tempo, facendo giungere i materiali e le maestranze da vari paesi, perfino dalla Baviera (va ricordato che Trieste fino al 1918 è stata parte dell'Impero Austro-Ungarico)[17].

Per quanto riguarda la validità del metodo di calcolo, si tratta di capire se gli strumenti dell'epoca erano adeguati e sufficientemente raffinati per realizzare tali manufatti o se ci si basava ancora su formule semi-sperimentali derivanti dai primi brevetti.

All'epoca erano passati oltre dieci anni dalla pubblicazione dei primi manuali[18], e sicuramente i progettisti potevano avvalersi del Manuale Hoepli del 1903[19]. Procedendo ad una verifica, utilizzando il formulario dell'epoca e gli strumenti di calcolo attuali[20], si può notare come le strutture risultino correttamente dimensionate in base alle caratteristiche dei materiali impiegati all'epoca[21] . Anche le prove di collaudo statico

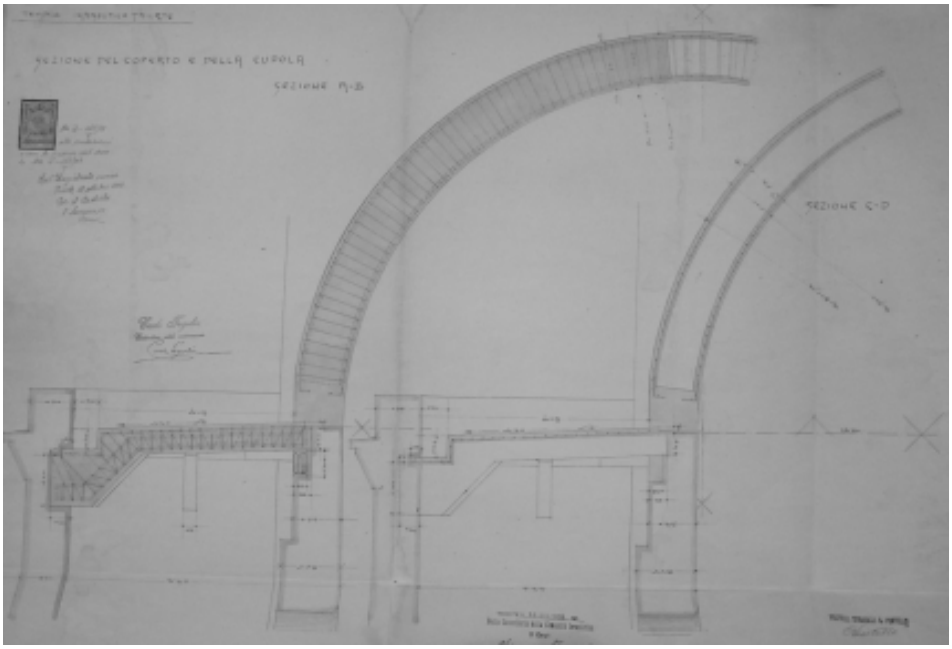


Fig. 6 – Sezione della cupola principale e della copertura, disegno delle strutture (Museo della Comunità Ebraica di Trieste)

che sono state effettuate dopo il completamento del cantiere[22] hanno dimostrato l'assoluta validità dei metodi impiegati, metodi estremamente innovativi per l'epoca. Del resto quello della Sinagoga di Trieste, così diversa da quella delle altre città italiane, può essere definito un "cantiere modello" per il primo Novecento[23], un cantiere che merita di rientrare nella storia delle costruzioni europee, non solo per l'originalità delle proposte architettoniche, delle scelte tecnico-ingegneristiche e per il coraggioso approccio al cemento armato, ma anche e soprattutto per il fatto che un edificio di tali proporzioni è stato completamente realizzato in soli quattro anni[24] .

[1] A Trieste confluirono Ebrei da paesi di lingua tedesca e aderenti al rito Aschenazita (Nord Europa), da varie Comunità adriatiche, gruppi dalla Polonia, dalla Spagna, dalla Grecia, da Corfù e dalle Romanie, cfr. M. Stock, *Nel segno di Geremia, Storia della Comunità Israelitica di Trieste dal 1200*, Trieste, Istituto per l'Enciclopedia del Friuli Venezia Giulia, 1979, pp. 6-7.

[2] Carol Meeks scrisse: "Ruggero Berlam […] built the most original Synagogue of the period in Trieste in 1910 […] it can, however, be seen as a courageous and not wholly unsuccessful attempt at modernization", cfr C.V.L. Meeks, *Italian Architecture 1750-1914*, London, New Haven, 1966, pp. 268-270 .

[3] Il bando di concorso appartiene al settembre 1903 e apparve sul "Wiener Bauindustrie Zeitung Organ für Architekten". Vinse l'architetto. Matou-schek, ma non si arrivò mai alla firma del contratto per l'affidamento dei lavori.

[4] Ad occuparsi del progetto saranno Ruggero e Arduino Berlam, cfr M. Pozzetto, *Berlam, un secolo di architettura*, Trieste, Editoriale LLoyd, MGS Press, 1999, pp. 128-130.

[5] Tradizionalmente le sinagoghe prevedono l'orientamento verso Est.

[6] La Sinagoga è ispirata allo stile della Siria del IV secolo.

[7] Archivio della Comunità Ebraica di Trieste (ACET), *Programma per l'elaborazione del progetto di massima di un Tempio israelitico da erigersi in Trieste*, ottobre 1903.

[8] ACET, *Programma per l'elaborazione del progetto di massima di un Tempio israelitico da erigersi in Trieste*, ottobre 1903.

[9] *Il Nuovo Tempio Israelitico di Trieste*, «Corriere Israelitico», Trieste, 27 giugno 1912.

[10] P. Piva, *Il Tempio Israelitico di Trieste: note sugli elementi costruttivi*, «Archeografo Triestino», serie IV, volume LIV (CII della raccolta), 1994, pp. 147-165.

[11] *Il Nuovo Tempio Israelitico di Trieste*, in «Corriere Israelitico», 27 giugno 1912.

[12] Le tavole sono conservate presso il Museo della Comunità Ebraica di Trieste.

[13] Le parti in calcestruzzo armato sono state realizzate dopo il completamento delle parti murarie.

[14] A stupire sono proprio le dimensioni del parapetto, alto 1,50 m e spesso 30 cm, anch'esso è armato da barre del diametro di 50 mm. Nei disegni compare poi una trave incassata nella muratura priva di una vera e propria funzione statica, ma che serve da collegamento alle mensole e funge da ripartitore dei carichi, con una funzione che si avvicina a quella di contrappeso.

[15] Le tavole sono conservate presso il Museo della Comunità Ebraica di Trieste.

[16] Il dato colpisce, in quanto è praticamente impossibile realizzare una tale perfezione di misura in cantiere, ma così è stato riportato sulle tavole delle carpenterie.

[17] Sul numero speciale del «Corriere Istraelitico» del 27 giugno 1912 è riportata una dettagliata lista delle maestranze e delle provenienze dei materiali impiegati nel cantiere.

[18] C. Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau*, Marseille, Editions Parenthéses, 2005, pp. 89-90.

[19] G. Vacchelli, *Le Costruzioni in Calcestruzzo ed in Cemento Armato*, Manuali Hoepli, II ed., Milano, Ulrico Hoepli, 1903.

[20] Le verifiche sono state condotte sulla cosiddetta galleria dell'organo, facendo riferimento al metodo delle Tensioni Ammissibili.

[21] Le difficoltà dell'analisi attuale della struttura risiedono essenzialmente nell'incertezza sui materiali impiegati e sulla qualità del getto di calcestruzzo e dei ferri impiegati: ben poco si sa sulla classe di resistenza del cemento utilizzato o della qualità dell'acciaio. Incertezze derivano poi dalla qualità dei giunti, sulla perfezione o meno degli appoggi fra trave-muratura trave principale-trave secondaria. Inoltre è stato utilizzato un coefficiente di omogeneizzazione pari a 10.

[22] I risultati delle prove sono conservati presso l'Archivio Comunità Ebraica di Trieste.

[23] Sono conservate presso l'Archivio della Comunità Ebraica di Trieste due lettere: il 28 giugno 1908 l'architetto. Luca Beltrami scrisse al Berlam: "[…] ho ricevuto le illustrazioni del tuo Tempio Israelitico e faccio a te e a Arduino le mie vive felicitazioni" e il professor. Camillo Boito scrisse a Ruggero Berlam: "Caro Berlam, a Lei e al suo figliolo, degno di padre, mando con vivissima compiacenza il più fervido mi rallegro, senza dubbio un magnifico Tempio […]"

[24] I lavori vengono affidati all'impresa il 6 aprile 1908 e l'inaugurazione avviene il 27 giugno 1912. I calcoli dei cementi armati sono stati presentati a partire dal 1909 fino ai primi mesi del 1911.

Mirko Guaralda

Le vie dell'Impero. Le strade coloniali italiane e il loro rapporto con la manualistica del Ventennio

Le infrastrutture viarie sono elemento fondamentale, primario, oltre che nella costruzione di un sistema sociale ed economico fondato sullo scambio di beni ed idee, anche nella definizione dell'identità di un luogo, nella creazione di un paesaggio: la strada è l'espressione di una cultura che struttura il territorio secondo i propri ritmi di viaggio, che costella il contesto di segni, simboli, elementi chiave nel guidare il viandante lungo il percorso.

Istanze economiche, sociali e culturali differenti, nel corso della storia, hanno modificato, arricchito tracciati, variato le modalità del viaggio; epoche di espansione hanno richiesto nuove vie a sostegno del crescente sviluppo produttivo e commerciale. Manuali e trattati sulla costruzione, manutenzione e gestione delle opere stradali si sono avvicendati nel tempo, per supportare le esigenze di nuova mobilità, ovvero per registrare i progressi, le innovazioni del settore.

Già nel 1755 Hubert Gautier si cimenta con la stesura di un testo in parte volto ad illustrare le tecniche costruttive degli antichi Romani, le cui strade per lungo tempo hanno costituito il modello ideale di via, in parte a fornire indicazioni pratiche, molto puntuali, sulla realizzazione delle infrastrutture viarie, trattando nel dettaglio la natura di fondi, sottofondi e manti d'usura in relazione alla consistenza del terreno, al tipo di suolo incontrato, alle condizioni geografiche e climatiche del contesto[1].

Se il testo del Gautier abbina ricerca storica ed esempi pratici, Giulio Stabilini, in *Strade Comuni e Ferrovie*, opera in più volumi redatta dalla fine dell'800 agli anni '20 del '900, espone principi, regole geometriche, scientifiche e matematiche per la progettazione dei tracciati, anche in rapporto al taglio modale ed alla gerarchia degli itinerari[2]. Il testo dello Stabilini è un trattato teorico che fornisce indicazioni e spunti ad ingegneri qualificati per la progettazione della strada. Come in tutte le epoche di sviluppo, la seconda metà del XIX secolo vede un proliferare di studi e scritti sul tema dei trasporti: da una parte l'avvento delle ferrovie aveva completamente rivoluzionato le regole di mobilità; su di un altro versante, il nuovo Regno d'Italia necessitava di strade efficienti ed omogenee su tutto il territorio nazionale per rendere effettiva quella unità nazionale lungamente agognata. La costruzione di opere stradali, di infrastrutture viarie diviene un mezzo fondamentale per supportare lo sviluppo del nuovo stato, imporre al mosaico di paesaggi, di culture differenti un segno unitario ed unificante, come appunto le ferrovie e le strade statali.

Lo spirito positivista permea lo sviluppo italiano del XIX secolo: le reti viarie vengono pianificate, progettate, verificate e realizzate quali opere prioritarie, ma senza assumere un carattere di necessità ed urgenza. Situazione ben diversa si riscontra, invece, nel periodo tra le due Guerre Mondiali: il regime fascista, nel voler imporre un rapido e fulmineo processo di sviluppo e modernizzazione alla nazione, richiede processi in tempi ristretti, realizzazioni di opere complesse ed articolate nel giro di pochi anni se non mesi. A supporto di questa febbrile attività di modernizzazione, vengono elaborati nuovi testi, manuali volti a rispondere in modo immediato alle esigenze di rapida progettazione ed esecuzione. Nel settore delle opere stradali, ma testi simili si ritrovano anche per l'edilizia, è significativo il volume di Eugenio Miozzi, realizzato come un abaco di soluzioni tipo, un catalogo di elementi, manufatti ed opere d'arte da comporre al bisogno[3]. Il manuale si configura come una raccolta di tavole dettagliate, esecutive, per illustrare con precisione la costruzione tanto dei diversi supporti alla viabilità, quanto di quelli alla mobilità: cunette, tombini, fossi, ponticelli, case cantoniere vengono disegnati, analizzati ed offerti come soluzioni tipo per un uso immediato. Il linguaggio, lo stile dei manufatti è ancora ottocentesco, le soluzioni tecniche, invece, registrano anche l'uso dei nuovi materiali, quali il cemento armato. Particolarmente interessante è il caso delle opere d'arte più impegnative, quali ponti e gallerie: travi ed impalcati dei viadotti vengono studiati su moduli tipo e soluzioni realizzative standard. Il testo propone ponti a volta su luci di 10, 12, 12.50, 15, 20, 24 metri realizzati in muratura od elementi lapidei; parimenti, nelle tavole dalla 110 alla 150, viene presentata una rassegna di ponti in calcestruzzo armato, con struttura trilitica, da 3, 5, 7, 10, 12, 15, 17 e 20 metri. Discorso a parte meritano invece le opere in ferro, materiale in Italia tradizionalmente poco reperibile e poco utilizzato, per cui vengono proposti casi tipo esemplificativi, come il ponte a Brivio sull'Adda. Per quanto riguarda la sezione trasversale dei viadotti, anche in questo caso la logica è quella della modularità, della ripetizione e moltiplicazione degli appoggi standard. Il testo di Eugenio Miozzi si configura, quindi, come un prontuario di elementi a catalogo per il rapido impiego, elementi tipo, modulari, assemblabili in rapporto alle esigenze locali.

Se questa logica di produzione in serie, stereotipata, della strada trova difficile applicazione nella penisola italiana, territorio denso di memorie, tracciati preesistenti e paesaggi complessi ed articolati, lo stesso non avviene nelle colonie d'Africa. Le terre dell'Impero vengono lette dai conquistatori come aree primitive ed arretrate, prive di segni, vincoli rilevanti per la realizzazione delle nuove opere. Il paesaggio, prodotto da culture diverse e differenti da quella europea, viene inteso come un contesto vergine, le cui uniche costrizioni sono la morfologia del terreno, la natura dei reticoli idrici. Le nuove direttrici,

impostate su lunghi rettifili ed ampie curve, divengono nelle terre di conquista il segno più evidente della colonizzazione, le opere che meglio simboleggiano il dominio della cultura italiana sulle terre straniere assoggettate.

Il 19 maggio 1936, subito dopo la proclamazione dell'Impero, il Duce, capo del governo e ministro delle colonie, traccia in modo preciso la nuova rete viaria dell'Africa Orientale imponendo non solo mete e tappe delle direttrici, ma anche i tempi di realizzazione: le opere dovevano essere tutte concluse entro la fine del 1938, per il 30 Giugno 1937 dovevano invece essere transitabili le vie Asmara-Addis Abeba ed Asmara-Gondar. La gestione dei lavori viene affidata a Giuseppe Cobogli Gigli che si trova a dover progettare e realizzare praticamente da zero una rete di quasi 4.000Km di strade[4]. Per abbattere sia i tempi di pianificazione ed elaborazione che quelli di realizzazione, la scelta che viene fatta si rifà al metodo proposto dal Miozzi: viene elaborato un abaco di elementi standard da ripro-porre, assemblare lungo il tracciato a seconda del contesto attraversato.

Lo schema di lavoro adottato permette, quindi, di avere un'opera unitaria, riconoscibile per una sua impostazione, per un suo stile proprio su tutto il territorio, ma articolata localmente. I dati base del progetto richiamavano gli assunti dell'Azienda Autonoma delle Strade Statali (AASS, l'odierna ANAS) per le strade di primaria importanza calati, però, nell'ambito del contesto coloniale: le nuove direttrici dovevano presentare un piano stradale di 9mt, 7 pavimentati e 2 di banchina, con raggi di curvatura superiori ai 30mt e pendenze sotto il 7%; per le strade minori, invece, era prevista una carreggiata di 7mt, di cui 6 bitumati, curve con raggi sopra i 15mt e pendenze sotto l'8%; per agevolare la mobilità pesante venne inoltre pensato un sistema di piazzole di incrocio a distanze costanti sulle diverse direttrici.

Oltre l'esigenze di concludere i lavori in tempi brevi, a parte la vasta estensione della rete da realizzare, l'impresa era anche resa ardua dalla natura dell'Impero: strade nella concezione europea del termine erano essenzialmente assenti, come pure le materie prime necessarie alla realizzazione di infrastrutture viarie secondo le tecniche tradizionali della cultura italiana.

In Abissinia, infatti, la mobilità era ancora legata alla trazione animale, impostata su piste a fondo naturale, con sezioni mai superiori ai 3mt e con pendenze elevate in presenza dei dislivelli. Le uniche eccezioni erano la Addis Abeba-Addis Alem, 56Km con sezione di 4,50÷5,00mt a fondo impietrato, e la Addis Abeba-Gimma, che presentava lievi pendenze ed ampie curve.

Per quanto concerne le strade ferrate, il corno d'Africa presentava poche tratte, come la Gibuti – Addis Abeba o la Asmara – Biscia, entrambe a scartamento ridotto ed insufficienti sia per le esigenze del nuovo impero, sia per il trasporto tanto dei mezzi quanto degli operai dei nuovi cantieri. L'economia e la natura del Regno, povero di materie

prime soprattutto di natura ferrosa, impose di pianificare lo sviluppo dello Impero partendo dalla creazione di una rete stradale piuttosto che da un sistema ferroviario: benché in Somalia gli italiani avessero già realizzato la strada ferrata a scartamento ridotto Mogadiscio – Duca degli Abruzzi, in Abissinia, anche a causa dei forti dislivelli, già la pianificazione di un sistema ferroviario venne rimandata a fasi successive del processo di colonizzazione.

L'assenza di una rete precostituita, adatta al transito dei mezzi motorizzati italiani, impose la iniziale realizzazione di piste provvisorie, tanto necessarie alla formazione del sistema viario definitivo, quanto alle esigenze militari per il controllo dell'impero. La conduzione dei lavori vide, quindi, la stretta collaborazione di AASS e del Genio Militare: le piste provvisorie, furono riprese solo nei passi obbligati dalle vie bitumate in modo tale da consentire la

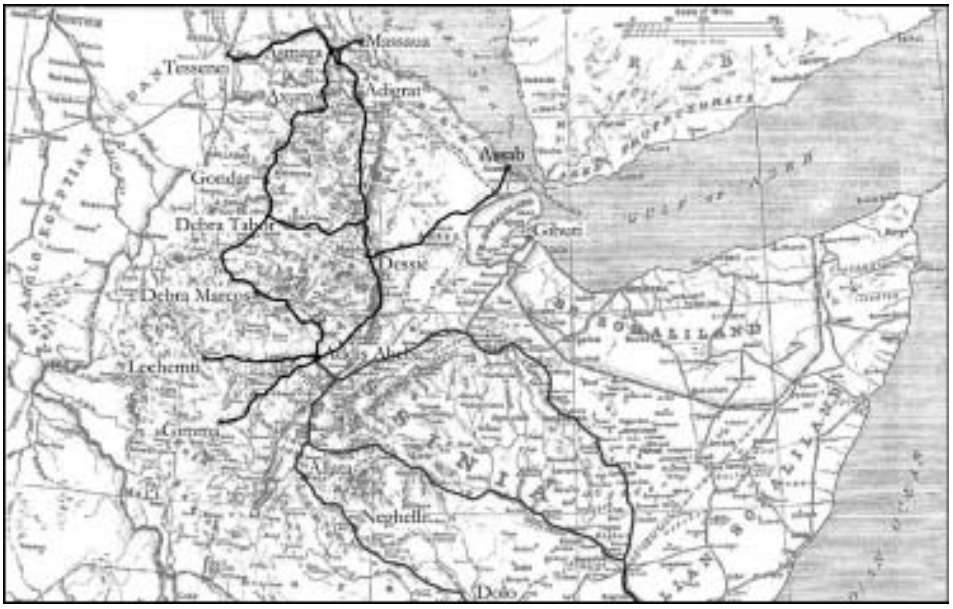


Fig. 1 – La rete stradale realizzata in Africa Orientale: in nero le direttrici realizzate nel periodo 1936-1938; in grigio scuro le vie di connessione con la rete somala realizzate dopo il 1938

Strada n°1	*di Dogali*	*Massaua-Asmara*	*116Km*
Strada n°2	*della Vittoria*	*Asmara-Addis Abeba*	*1.100km*
Strada n°3	*per Decamerè*	*Nefasit-Decamerè*	*40km*
Strada n°4	*della Dancalia*	*Assab-Dessiè*	*310km*
Strada n°5	*dell'Eritrea Occidentale*	*Asmara-Tessenei*	*385km*
Strada n°6	*del Lago Tana*	*Asmara-Gondar-Addis Abeba*	*1.254km*
Strada n°7	*del Gimma*	*Addis Abeba-Gimma*	*353km*
Strada n°8	*di Lechemti*	*Addis Abeba-Lechemti*	*336km*
Strada n°9	*di Debra Tabos*	*Gondar-Dessiè*	*500km*

transitabilità delle direttrici senza che queste fossero intralciate o rallentate dai cantieri. In poco tempo, sul territorio "vergine" dell'Abissinia, alle piste negussite, in fondo battuto e senza massicciata, si aggiunsero i percorsi provvisori del Genio Militare ed, infine, le direttrici definitive, bitumate ed infrastrutturate ad opera dell'Azienda Autonoma Statale delle Strade. La rete del nuovo impero doveva raccordarsi alle direttrici presenti nelle limitrofe colonie di Eritrea e Somalia. In queste aree, sotto il governatorato di De Bono, erano già state realizzate alcune vie, quali la Massaua – Asmara, la Mogadiscio – Mustabil, lungo la valle dell'Uebì Scebeli, e la Mogadiscio – Dolo, sulla quale si sarebbe poi innestata la Addis Abeba – Dolo.

La scelta di riproporre in colonia tecniche, strutture e modalità elaborate in madrepatria pose subito il problema logistico dei materiali da costruzione: l'Abissinia non presentava impianti o cave per la produzione di cemento adatti o sfruttabili; la qualità delle argille non era poi consona per la produzione di mattoni utili agli scopi degli italiani. Macchinari, materie prime, manodopera furono tutti importati dall'Italia con un notevole sforzo economico e logistico. Nel progettare le opere d'arte, per limitare al massimo l'impiego del calcestruzzo e soprattutto del ferro, si ricorse a strutture in conci di pietra, unico materiale reperibile in loco, per la maggior parte delle strutture.

Il pietrame di tipo basaltico, i graniti e gli gneiss vennero utilizzati per murature grezze, laddove si reperivano trachiti od arenaria era invece possibile ricavare conci e pietre a forma obbligata. Per ottimizzare l'uso del calcestruzzo, anche per contenere i costi derivanti dall'importazione del materiale, in fase di appalto venne prescritto l'impiego di cemento ad alta resistenza, tale da richiedere un basso dosaggio delle malte. I materiali lapidei vennero quindi assunti come elemento principale nella costruzione dei diversi itinerari: le opere d'arte, tanto le maggiori quali volte e piattabande, quanto le minori, tombini e ponticelli, seguivano un abaco impostato sui modelli utilizzati in patria. La ripetizione modulare degli stessi elementi non solo permise di ridurre i tempi di progettazione e calcolo, ma facilitò anche la gestione dei cantieri, permettendo l'uso di un limitato numero di centine e casseforme, il trasporto di una ridotta quantità di legname per la formazione degli impalcati.

La produzione in serie risulta evidente in molte soluzioni, basti citare il ponte sul Baressà con 3 arcate da 10mt, quello sul Millè a 5 arcate sempre da 10mt, oppure quelli con arcate da 12mt sul Giarrà (1), sul Ghibolo (7), nella piana del Robi (3). Altri attraversamenti sono poi impostati su moduli da 12,50, 15 o 20 metri, tutte misura che già si ritrovano nel manuale del Miozzi[5].

Una maggiore cura ed attenzione progettuale, l'uso di materiali e tecniche particolari fu riservata solo alla opere più impegnative, laddove la natura del contesto, il regime delle acque non consentiva di adottare in sicurezza le

sbrigative soluzioni a catalogo, come sul Tacazzè ed il Barca, dove vennero realizzati ponti in ferro, ovvero sulla strada del Bassopiano Occidentale e su quella di Tacazzè, verso Gondar, che presentano arditi arconi in cemento armato. In corrispondenza di ponti e viadotti, la sezione viaria prevedeva marciapiedi sopraelevati larghi 1mt, in parte a sbalzo per limitare la larghezza delle murature, la sede stradale conserva, invece, uno sviluppo trasversale di 7mt.

Realizzazione seriali si ritrovano anche per i trafori e le gallerie, fatte tutte su modello di quella del Teumaber, che presenta una sagoma con due piedritti verticali leggermente inclinati. La sezione permette una larghezza di piano viabile di 7,40mt e, tramite una volta a pieno centro, presenta un'altezza del vano di 7,02mt, di 7,50mt nei tratti in roccia viva non rivestiti. Nelle sezioni in trincea, le banchine vennero sagomate e rivestite di pietrame in modo tale da realizzare delle cunette ad L, come viene anche illustrato nel Miozzi. Per quanto concerne le massicciate, queste vennero realizzate con un'ossatura di pietrame dello spessore di 0,25mt, sormontata da uno strato di pietrisco cilindrato e bitumato di 0,15mt; nei rettilinei e nelle curve non sopraelevate il piano stradale era finito a due spioventi con pendenza del 4%, opportunamente raccordati al centro.

Per dare omogeneità a tutta la rete stradale, diversi interventi sono stati attuati anche sulle rare direttrici preesistenti: le precedenti strade coloniali, con carreggiate di 8mt, 6mt di corsia e 1 per lato di banchina, con curve sopra i 26mt e pendenze sotto il 7%, sono quindi state adattate alla regola generale definita per la rete viaria dello Impero italiano; i due itinerari neghussiti, invece, sono stati anche ripavimentati ovvero bitumati. Come in Italia la realizzazione delle strade statali, con il loro corredo di opere d'arte, supporti alla viabilità ed alla mobilità, hanno costituito un passaggio fondamentale nella costruzione di una nazione unitaria, di un paesaggio che, seppur variegato, ritrova delle costanti nei manufatti stradali, parimenti nell'Impero i nuovi itinerari lasciavano l'indelebile segno della colonizzazione, l'imposizione di una forte immagine, la definizione di nuovi luoghi in rapporto alla cultura dei conquistatori.

La trasposizione dello schema tradizionale delle statali italiane, però, trova un punto di debolezza nelle strutture di presidio e manutenzione delle strade, ovvero nel sistema delle case cantoniere: Nonostante ufficialmente l'Impero fosse stato sottomesso e pacificato, in fase tanto di pianificazione quanto di realizzazione non sembrò prudente proporre l'insediamento di famiglie italiane od indigene filogovernative lungo i tracciati. Il problema del presidio e della manutenzione degli itinerari venne quindi rimandato a tempi di maggiore stabilità politica: per la gestione delle fasi costruttive, vennero realizzati 453 cantieri, tutti dotati di presidio militare, insediati l'uno dall'altro a non più di 6Km. Lungo le diverse tratte, ogni impresa appaltatrice realizzo poi degli agglomerati di maggiore importanza de-

nominati intendenze, presso le quali erano installati magazzini, depositi, servizi di carattere generale per il cantiere ed i lavoratori italiani.

Lo schema di lavoro adottato in Africa Orientale, la rapida esecuzione delle opere, trova il suo punto di forza nella produzione di elementi modulari; questa logica non sarebbe stata sostenibile senza una adeguata e puntuale pianificazione degli itinerari. Una volta delineate mete e tappe delle nuove vie, la scelta del tracciato migliore ha costituito una fondamentale fase di studio, che ha permesso di superare i 4000mt di dislivello tra Massaua e Gongar, oppure i 2000mt tra Asmara e Addis Abeba senza dover ricorrere ad opere mastodontiche, titaniche od eccessivamente impegnative. Se da un lato in Africa Orientale gli Italiani si trovarono di fronte ad una orografia impegnativa, su di un altro fronte il paesaggio, la natura dei luoghi richiamava od era analoga a quella di alcune zone del Regno; situazione ben diversa trovarono i colonizzatori nelle terre assoggettate sulle sponde del mediterraneo. Nel 1928 gli Italiani inventano la Libia, unione delle colonie di Tripolitania e di Cirenaica conquistate alla Turchia nel 1912. Nel 1934, a capo della nuova entità politica, venne posto Italo Balbo, che fece della riforma viaria uno dei punti di forza del proprio go-vernatorato.

Prima degli Italiani, la mobilità dell'area intorno alla Sirte era affidata alle piste carovaniere arabe tracciate da secoli. Dopo la conquista, presso le capitali, Tripoli e Bengasi, vennero realizzate vie volte a collegare le principali località dell'entroterra con i porti sul Mediterraneo. La nuova unità politica della colonia imponeva trasporti adatti, una viabilità efficiente, un segno forte dello status politico vigente. Fin dal suo insediamento, Balbo promuove la costruzione della litoranea libica, sostenendo le forti esigenze militari di collegamento tra le principali piazzeforti ed i confini della colonia; nell'esporre ed elaborare il progetto grande enfasi venne posto sull'uso turistico e ricreativo che il nuovo tracciato avrebbe avuto, con le benefiche ricadute sull'economia locale. Durante la stesura del progetto, vennero tracciati 1.822km di strada bitumata, dei quali 800Km in zone desertiche e predesertiche, che puntualmente vennero realizzati in poco meno di un anno, dal 1935 al 1936. Sul totale del tracciato, in realtà, solo 799,732Km furono realizzati ex novo, per congiungere i tronchi già esistenti. La tratta più impegnativa si rivelò quella da Misurata a Marsa Braga, lungo il golfo della Sirte, che già Sallustio descriveva come una landa desertica priva di ogni riferimento. Il progetto portò quindi alla realizzazione di una carreggiata da 7mt, di cui 5mt bitumati per la corsia ed 1mt per parte, in terra battuta, quale banchina. Le opere furono pianificate dall'ing. Troilo, capo dell'Ufficio Speciale del Genio Civile, con l'aiuto dell'ing. Pizzuti, che diresse i lavori.

La nuova strada fu realizzata in rilevato, per proteggere la corsia dalle sabbie del deserto, privilegiando lunghi rettifili e lievi pendenze, in genere sot-

to il 3% tranne in alcuni tratti collinari della Cirenaica. Anche in questo caso, per ridurre i tempi di realizzazione, i lavori vennero appaltati a più imprese, nello specifico 16, e si ricorse ad un modo di lavorare normato per ottenere un esito omogeneo, tale da proporre un paesaggio stradale unificante.

L'esecuzione dei lavori fu suddivisa in tre fasi: il tracciamento dell'incasso stradale; la creazione della parte centrale bitumata da 5mt; la profilatura e sistemazione delle banchine. La massicciata stradale prevedeva un primo sottofondo di 20cm in grosso pietrame di calcare rullato, seguito da uno strato di pietrisco, con granulometria di 4÷6cm, anch'esso dello spessore di 20cm, rotto a mano o a frantoio. Dopo il pietrisco si sarebbe eseguita una nuova rullatura, seguita dall'innaffiamento mediante soluzione bituminosa, in ragione di 25kg al metro lineare, portata poi a 50kg in molte tratte. Il manto di usura, infine, era previsto mediante uno strato di pietrischetto da 1cm. Le difficoltà nella conduzione del cantiere in questo caso non erano dovute al reperimento delle materie prime, 2÷3mt sotto la sabbia affiora generalmente il pietrame, quanto al rifornimento di acqua per gli operai. La sete, da subito, fu la principale nemica dei cantieri; la natura desertica di alcune tratte, inoltre, rendeva difficoltoso stendere l'emulsione bituminoso che, legandosi alla sabbia trasportata dal vento, generava una pasta inutile ai fini stradali. Poche le opere d'arte maggiori lungo il tracciato, anche in questo caso, però, le tecniche ed i profili utilizzati sono ricorrenti e di misure già presenti nella manualistica dell'epoca, ritroviamo infatti ponti con arcate da 7mt sull'uadi Aran, sull'uadi Amra e sull'uadi Hneara, con ludi di 12mt sull'uadi Maaten El Bardi, sull'uadi Gauridin; tutti i viadotti in questo caso sono stati eseguiti in calcestruzzo armato.



Fig. 2 – La strada litoranea della Libia:
in grigio scuro le tratte precedenti il 1935; in nero le tratte costruite nel 1935-1936

Le differenti condizioni politiche della colonia rispetto a quelle dell'Impero, in Libia i lavoratori erano anche indigeni, permisero di impostare un sistema di case cantoniere atte a presidiare il tracciato viario, ma anche a costituire il primo polo di un successivo sviluppo agricolo e turistico del nuovo asse. Lungo la litoranea vennero erette 65 case cantoniere doppie, disegnate dall'arch. Florestano di Fausto in stile moresco.

Ogni insediamento presentava l'alloggio per due famiglie, ognuna delle quali aveva in mandato la manutenzione di un tronco; rispetto allo schema edilizio utilizzato in Italia, in Libia il presidio stradale era impostato quale una piccola azienda agricola autarchica. La vocazione turistica del tracciato venne sottolineata dalla realizzazione di Case di Ristoro, delle cantoniere dotate anche di ostello, ristoro, officina, rifornimento carburante, presidio militare e sanitario. Il paesaggio della litoranea libica fu progettato in modo tale da essere non solo funzionale alle esigenze politiche di mobilità, ma anche piacevole e suggestivo per il turista, elaborando una forte immagine per la strada ed i supporti alla mobilità, arricchendo il tracciato di monumenti, segni atti ad orientare i viandanti, basti citare l'arco marmoreo presso il confine egiziano.

Ancora oggi le realizzazioni italiane, tanto in Africa orientale quanto lungo il Mediterraneo, costituiscono la principale rete viaria di queste aree; le opere, costruite durante il regime fascista con chiaro valore retorico, segno forte della colonizzazione e mezzo fondamentale per lo sviluppo delle terre assoggettate, lette oggi, testimoniano la più chiara applicazione dei principi teorici, dei manuali redatti dalla cultura italiana durante il ventennio fascista. L'analisi incrociata dei testi scritti in patria e delle realizzazioni realizzate nei domini d'Africa permette oggi di illustrare il livello tecnologico, la cultura della strada presente in Italia nella prima metà del XX secolo.

[1] H Gautier, *Traire de la construction des chemin,* Parigi, Duchesne 1755.

[2] G. Stabilini, *Strade comuni e ferrovie,* Milano, Vallardi 1920.

[3] E. Miozzi, *Manufatti stradali – 500 tavole esecutive con pospettive, particolari, computi metrici di opere costrite e collaudate,* Milano, Hoepli 1929.

[4] Il successo delle realizzazioni nell'Impero valsero a Giuseppe Cobolli Gigli la nomina a Ministero dei Lavori Pubblici una volta rientrato in Italia.

[5] Lo stesso Miozzi si era già cimentato con la costruzione di strade coloniali durante la propria giovinezza.

Elena Manzo

Opere pubbliche e trasformazioni urbane a Napoli tra le due guerre

A Napoli, il complesso e articolato quadro di riferimento alla formazione della città contemporanea deve riconoscere un importante tributo al ruolo svolto dagli ingegneri tra la fine del Ottocento e i primi trent'anni del Novecento, non tanto per quanto questi realizzarono in un generale programma di trasformazioni, ma piuttosto per le relazioni individuate tra il piano regolatore del 1926 –il cosiddetto "Piano Giovannoni"– e le più interessanti proposte di intervento sul territorio comunale, elaborate da alcuni dei più significativi protagonisti di questa frammentaria vicenda partenopea, per rispondere ai molti problemi insoluti di congestionamento e traffico.

Nel periodo compreso tra l'ultimo decennio del XIX secolo e il 1925, anno di istituzione dell'Alto Commissariato, mentre nel capoluogo campano si delineava un diffuso sentimento sociale verso questioni di carattere urbano, ampiamente testimoniato dal dibattito registrato dai maggiori quotidiani del tempo, Napoli vide lo scontro e l'alternarsi di eventi diversi e spesso contraddittori, che sollecitarono il consolidarsi di una coscienza progettuale nei confronti della città storica[1]. In un arco temporale relativamente breve, infatti, le amministrazioni comunali sostennero l'opera della Commissione municipale per la conservazione dei monumenti –uno dei principali organi istituiti per frenare la distruzione di edifici di valore artistico– e coordinarono l'azione di tutela del patrimonio storico, ma parallelamente continuarono a predisporre demolizioni, sventramenti e ricostruzioni, coordinate dalla Società pel Risanamento dopo l'approvazione della legge speciale del 1885[2].

Così, mentre si estendeva incondizionatamente il concetto di esproprio e di intervento per "pubblica utilità", previsto dal provvedimento legislativo, la città continuava ad essere palcoscenico di "proposte terapeutiche", ma anche un laboratorio in cui sperimentarsi e confrontarsi con nuove soluzioni ai preoccupanti contrasti insediativi.

In realtà, erano già stati i re borbonici Carlo e Ferdinando II a individuarne per primi le principali cause e a indicare alcune fondamentali direttive per regolarne il processo di trasformazione e di espansione, tra cui la creazione di assi tangenziali e di raccordo al tessuto edilizio, il collegamento tra la città "alta" e quella "bassa" –cioè tra la zona collinare e la fascia marina attraverso la realizzazione di una tangenziale urbana di circumvallazione collinare del Corso Maria Teresa (l'attuale Corso Vittorio Emanuele) e del rettilineo di Corso Napoleone–, l'espansione verso Est con

insediamenti industriali e la progettazione di aree residenziali a Ovest, nonché direttrici per il decentramento del territorio della periferia verso Caserta e l'Irpinia[3].

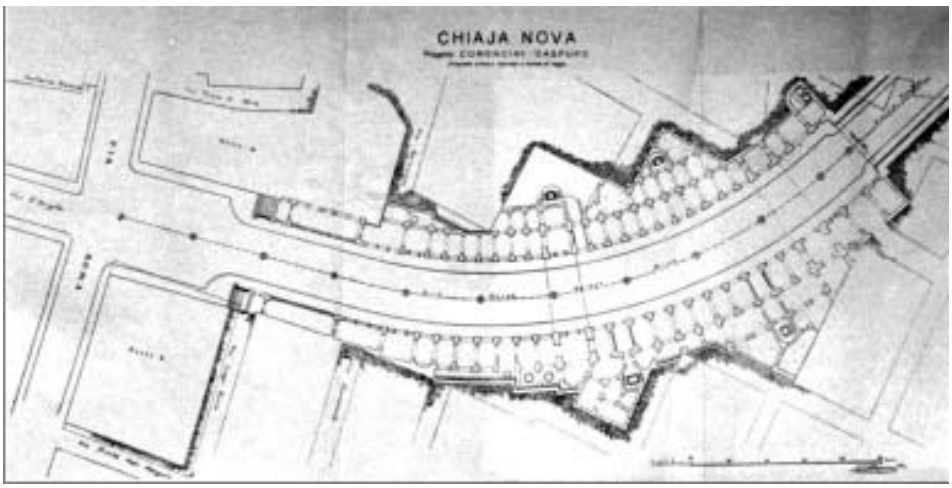
Sebbene provvedimenti e proposte si alternarono durante i decenni successivi al 1885, si dovette attendere il primo dopoguerra perché fossero comprese, con spirito critico, le enormi contraddizioni urbane introdotte nel territorio metropolitano dalla distorta applicazione della legge per il Risanamento. Alle indiscutibili responsabilità delle amministrazioni, soprattutto nei confronti del piano del 1872, noto come "piano Francesconi", di contro, la cultura degli ingegneri contrappose la capacità di approfondire, con approccio analitico, le questioni tecniche, igieniche, economiche e sociali, recuperando in parte quei principi indicati durante il regno borbonico; pertanto, se non si registrano opere eccezionali dal punto di vista espressivo e architettonico, molti progetti formulati in campo urbanistico si distinsero per la correttezza delle impostazioni metodologiche e le felici intuizioni.

Nella prassi, tuttavia, si continuava a intervenire con una assoluta assenza di una matura visione urbana globale e organica e con azioni puntuali, soprattutto rivolte all'ampliamento delle aree residenziali verso occidente –i rioni Amedeo-Piedigrotta, Fuorigrotta e Bagnoli– e al completamento delle due gallerie, quella di Posillipo e quella di Monte Echia. L'analisi costante dei collegamenti stradali, però, tradiva un'esasperata situazione legata a una problematica più ampia: un elevato indice di densità abitativa relazionata a una totale carenza e insufficienza di infrastrutture e servizi pubblici.

Denominatore comune alle soluzioni suggerite prima dell'avvento dell'Alto Commissariato e della redazione del "piano Giovannoni", in accordo con le più progressiste proposte internazionali –da Barcellona a Copenaghen, da Marsiglia a Mosca– restava l'incremento organico della rete viaria e ferroviaria, ma ancora una volta lo scontro con le amministrazioni disattese anche i progetti più validi. L'asse stradale, dunque, per le possibilità di sviluppo che innescava, era ancora ritenuto le strumento a cui ricorrere per risanare la città e, al tempo stesso, per programmare il collegamento con le periferie e le future aree "satelliti", ma era interpretato con un approccio assolutamente lontano da quello innescato dagli igienisti[4].

Dopo il piano prodotto nel 1910 dall'Ufficio Tecnico del Comune, un esempio significativo è quello elaborato dall'ingegnere Francesco De Simone, nelle due stesure del 1914 e del 1921, ampiamente documentate dalla storio-grafia, il cui ridisegno urbano faceva appello alla modernità delle problematiche individuate e alla necessità di risolverle con strumenti legislativi adeguatamente attuali, primo fra tutti quello di una sistemazione dell'intero territorio metropolitano comprensivo dei «sobborghi», grazie a una pianificazione globale, fondata sull'organizzazione di una fitta rete di comunicazioni, imperniata su una imponente arteria stradale di col-





Figg. 1-2 – G. B. COMENCINI e N. DASPURO,
progetto "Chiaja Nova" (1917).
Veduta prospettica da via Roma e planimetria dei piani terreni
con l'indicazione dei suoli edificatori lungo la "Via Curva"

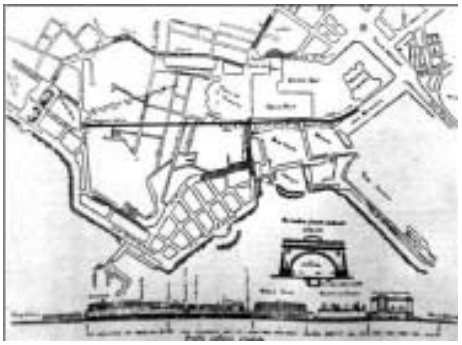


Fig. 3 – Garin e Muratori, Progetto per il collegamento tra l'area orientale e quella occidentale (1925)

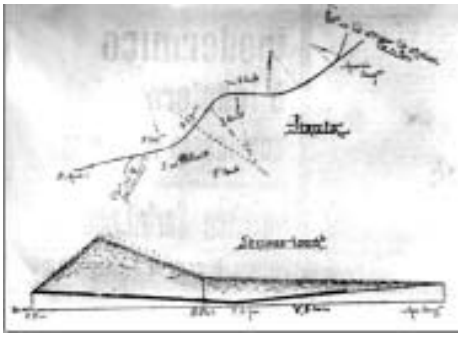


Fig. 4 – Giovagnoni e Filiasi, Progetto per il collegamento tra l'area orientale e quella occidentale (1925)



Fig. 5 – Pantaleo, Progetto per il collegamento tra l'area orientale e quella occidentale (1925)

legamento con Roma[5]. Con un'analoga prospettiva tecnica, l'ingegnere Vittorio Pantaleo nel 1921, a seguito dell'approvazione del Regolamento Edilizio da parte del Comune di Napoli, pubblicò una proposta pienamente aderente sia alle teorie diffuse in Italia da Adolfo Rubbiani, sia al principio del "diradamento urbano", dibattuto in quegli anni da Gustavo Giovannoni e dai più insigni membri dell'Associazione Artistica dei Cultori di Architettura[6].

Il suo *Moderno piano regolatore della città di Napoli*, redatto in nove tavole molto dettagliate, tra le quali si distinguono studi di sezioni stradali, di arredo urbano e dei vagoni dei mezzi di trasporto, inoltre, si attestava anche a un palese aggiornamento delle più accreditate soluzioni in termini di trasporto su rotaie. Con approfonditi studi sul *tramway* elettrico, infatti, Pantaleo sostenne come fosse possibile giungere a palesi soluzioni "economicamente vantaggiose", grazie a rigorose applicazioni tecnico-scientifiche[7]. Quanto fossero giuste le sue idee, lo dimostrano le proposte di ritorno al trasporto pubblico elettrico non inquinante, formulate in questi ultimi tempi dalla cultura urbanistica internazionale. Le sue riflessioni furono periodicamente pubblicate dal *Roma*, il maggiore quotidiano napoletano allora ancora indipendente da *Il Mattino*[8].

Tuttavia, il suo progetto non riscosse popolarità e anche la critica storiografica contemporanea non gli ha mai prestato la giusta attenzione, forse perché, pur avvalendosi degli studi com-

piuti da alcuni dei maggiori protagonisti del dibattito internazionale, come Howard, Brinckmann, Hegemann ed Eberstadt[9], elaborato in un momento in cui il Comune attraversava un gravoso periodo a causa della difficile situazione economica del primo dopoguerra, ebbe principalmente un valore utopico[10].

Decisamente antitetica, sebbene altrettanto ideale, era stata la proposta formulata alcuni anni prima dall'ingegnere udinese Giovan Battista Comencini, protagonista emblematico di questo periodo, giunto a Napoli nel 1884 quando il Comune affidò la trasformazione di piazza Municipio e i lavori di isolamento del Maschio Angioino alla Società Veneta. Presto si era distinto nell'attività edilizia locale, in modo indipendente, con un linguaggio di continuità tra la produzione di fine '800 e le prime opere del Floreale, tendenza di gusto che, in accordo con lo spirito che aveva animato la produzione italiana coeva, aveva mostrato anche a Napoli un sensibile rispetto per i valori ambientali e per le preesistenze[11].

Comencini, sebbene inserito perfettamente nella logica delle concessioni edilizie seguite alla legge del 1885, pur lavorando per le maggiori società appaltatrici impegnate nella trasformazione del tessuto urbano, presto aveva abbandonato il sistema dei rettifili e degli sventramenti per la ricerca di soluzioni progettuali che non alterassero la morfologia dei luoghi.

Se, infatti, l'ingegnere, in accordo con la Società Laziale, nel 1910 redasse un progetto per "[…] un nuovo quar-

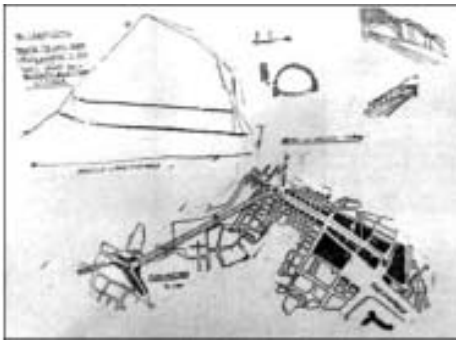


Fig. 6 – Carlesio, Progetto per il collegamento tra l'area orientale e quella occidentale (1925)

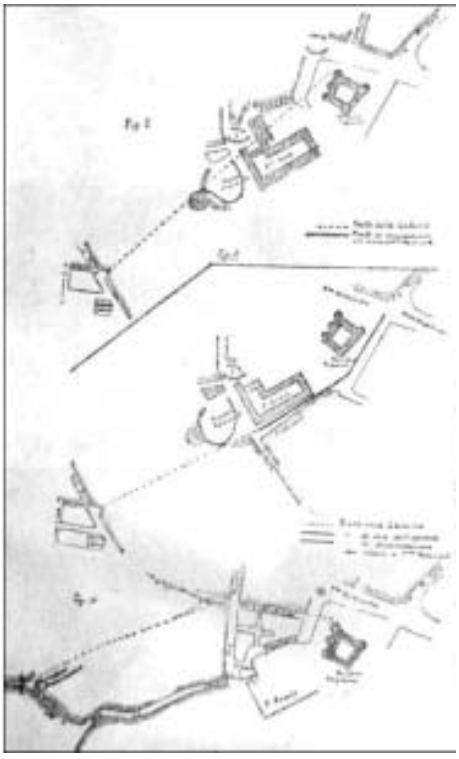


Fig. 7 – Garin e Muratori, Progetto per il collegamento tra l'area orientale e quella occidentale (1925)





Figg. 8-9 – M. Platania, sistemazione di Monte Echia e del Pallonetto a S. Lucia (1928). Schizzo prospettico e planimetria del progetto

tiere ad occidente […]", polarizzato intorno agli stabilimenti industriali di Bagnoli, il quale precludeva qualsiasi sviluppo turistico del litorale flegreo, area di grande valore paesaggistico e ricca di testimonianze storiche, di contro, nel 1917 pubblicò con Nicola Daspuro un'alternativa per un "rapido e comodo" collegamento tra piazza S. Ferdinando e la Riviera di Chiaia, dimostrando una particolare sensibilità alle questioni di inserimento ambientale[12].

La soluzione prospettava l'idea di una nuova arteria, la quale congiungeva via Roma a Piazza dei Martiri, con il tracciato di "un'ampia curva" all'interno dei Quartieri Spagnoli fino a palazzo Cellammare[13]. In tal modo, senza alterare l'assetto urbano, si interveniva sugli isolati fatiscenti e insalubri di vico D'Afflitto, via Conte di Mola, vico S. Mattia, fino alle spalle della chiesa del Rosariello di Palazzo. Se realizzato, il piano avrebbe potuto rappresentare una risposta originale e inedita all'ampliamento di via Chiaia, come soluzione al problema della "[...] comunicazione tra l'Oriente e l'Occidente della città [...]"[14]. La proposta, benché non fosse motivata da una reale preoccupazione per la tutela della memoria storica, resta ancora oggi uno degli esempi più validi di intervento su un tessuto urbano consolidato, poiché, negli anni successivi nessun professionista napoletano seppe risolvere con tale capacità di sintesi l'annoso problema del traffico nella zona compresa tra le piazze Dei Martiri e Plebiscito, senza sventrare il quartiere e demolire edifici.

L'idea nacque senza dubbio dall'analisi dei progetti elaborati nell'ultima metà dell'Ottocento da alcuni membri dell'Associazione Nazionale degli Ingegneri e degli Architetti Italiani e, in particolare, dalla proposta dell'ingegnere Savino di congiungere, con un rettifilo in trincea lungo 525 metri, largo S. Caterina e la nuova piazza Principe di Napoli[15]. Lo studio di Comencini, però, si basa su un metodo opposto all'idea di sventramento lì dove suggerisce di "allargare semplicemente i vin-





Figg. 10-11 – G. Cimmino, M. Franco, G. Russo, A. Sasso, piano di S. Lucia (1928). Vista prospettica e planimetria del complesso turistico

coli esistenti" per aumentare la transita-bilità, limitando al minimo demolizioni incondizionate, grazie all'originale progetto di una strada dall'andamento sinuoso, la "via Curva"[16].

Con l'avvento dell'Alto Commissariato e durante il ventennio fascista, per la "rinascita della Grande Napoli", pur essendo confermati gli obiettivi individuati dai precedenti programmi di sviluppo, si tese a identificare il carattere dell'immagine della città in una diversa dimensione spaziale, conquistata attraverso la ricerca formale, il cui momento fondamentale fu definito dall'appello alla monumentalità. Il problema della congestione urbana e, in particolare, del collegamento tra l'area orientale e quella occidentale della città, tuttavia, costituiva ancora una questione irrisolta e sollevava accesi dibattiti e significativi confronti progettuali.

Nel 1925 il Comune di Napoli promosse un concorso pubblico per trovare una soluzione definitiva alle difficoltà di comunicazione stradale tra la zona vesuviana e i Villaggi di Bagnoli e Fuori-grotta, difficoltà aggravate dai continui dissesti delle gallerie di Monte Echia e della Laziale, sempre più frequentemente chiuse al traffico; si richiese, inoltre, una soluzione che decongestionasse anche il traffico concentrato nell'area compresa tra le vie Chiatamone, Cesario Console, S. Carlo e Piazza S. Ferdinando[17]. Il bando, così, fu imperniato sulla definizione di una strada nella quale far confluire l'intenso flusso di autoveicoli, che rendevano impraticabile ai pedoni piazza Municipio e il nuovo rione di Santa Lucia[18].

Alla gara furono presentate quaranta proposte, la maggior parte delle quali, pur in una evidente eterogeneità di soluzione, testimoniano il definitivo passaggio della cultura degli ingegneri da una prospettiva igienico-sanitaria, ancora legata all'operare di *fin du siècle*, alla moderna interpretazione, in termini di integrazione tra l'antico e il moderno, del tessuto edilizio della città storicamente consolidato[19].

Tale aspetto, in rapporto alla prassi operativa perpetuata dai funzionari de-

gli Uffici pubblici, è da considerarsi la principale qualità da rintracciare nei progetti selezionati, tra cui emersero quelli di Dante Bucci, Federico Cortese, Alessandro del Giudice, Gustavo d'Orso, Cesare Giovagnoni, Andrea Gallo, Antonio Grasso, Marcello Mastrilli, Vittorio Pantaleo, Achille Stella, Lamont Joung, Vespucci e Marsala e, inoltre, due redatte da Camillo e Giuseppe Guerra con l'ingegnere Francesco Silvestri[20]. L'importanza della gara fu sottolineata, già in quegli anni, dagli organi di stampa i quali, attenti cronisti di tutte le fasi, sollecitarono l'interesse della popolazione e il dibattito diede impulso a ulteriori proposte di riqualificazione del quartiere di S. Lucia, animandosi soprattutto dopo l'inaugurazione del tunnel della Vittoria e il nuovo programma di ricostruzione previsto dall'Alto Commissario Michele Castelli.

Nel proliferare di suggerimenti e realizzazioni si segnala la proposta redatta nel 1928 dall'ingegnere Giovanni Galli per la sistemazione urbana del Borgo Marinaro con la costruzione di un complesso turistico[21]. Altrettanto interessanti sono i progetti di Michele Platania e del gruppo composto dai progettisti Giovanni Cimmino, Manfredi Franco, Gennaro Russo e Alfredo Sasso[22].

Al tema delle comunicazioni su rotaie, si collega, invece, lo studio elaborato tre anni prima dall'ingegnere Giuseppe Mannajuolo, nel tentativo di fornire un adeguato correttivo, scientificamente fondato, a quelli da lui ritenuti: "[…] i due problemi più assillanti per Napoli e cioè il riordinamento razionale del patrimonio stradale con i suoi servizi pubblici -radicale trasformazione con potentissimi mezzi moderni, del



Fig. 12 – G. Mannajuolo, Spaccato prospettico della sistemazione stradale e delle gallerie previste per piazza S. Ferdinando (1927)

servizio di Nettezza Urbana"[23]. A tal fine pensò di costruire sedi stradali con sostegni indeformabili del manto di pavimentazione, poggianti su piedritti in muratura posti al di sotto del "[…] corpo stradale e sopra una o più file di pilastri in cemento armato"[24]. Si sarebbero, così, formate gallerie alte circa 3 metri a due o tre corsie, alle quali si poteva accedere attraverso "botole" dove disporre le differenti canalizzazioni dei servizi pubblici.

Quelle di via Roma, via Foria, il Rettifilo, Santa Lucia, via dei Mille e piazza Amedeo erano previste "abbinate" alla Metropolitana. Ciascun tipo, se transitabile, doveva accogliere le varie condutture dei servizi pubblici: acqua, gas, posta pneumatica, elettricità. In relazione alla topografia cittadina e alle sezioni altimetriche delle strade, le gallerie e i cunicoli avrebbero potuto essere "semplici", "multipli", affiancati o sovrapposti mentre i circuiti non avrebbero dovuto superare la lunghezza di 20 Km. Mannajuolo, sebbene circoscrisse la sua proposta all'importante nodo stradale delle vie Roma e Foria, del Corso Garibaldi e del Rettifilo, si avvalse di attente analisi di altre realtà straniere, da lui direttamente visitate. Il progetto, appena pubblicato, riscosse subito il parere favorevole di insigni studiosi italiani di igiene urbana, tra i quali il professore veneziano Vincenzo De Giaxa e di De Blasi, direttore dell'Istituto di Igiene dell'Università di Napoli[25]

Presentato il progetto all'Alto Commissariato, il 6 novembre 1926 ottenne l'incarico di elaborane uno esecutivo che illustrasse in modo dettagliato tutte le innovazioni tecnologiche introdotte, soprattutto in relazione allo smaltimento dei rifiuti[26].

Nonostante le indiscutibili qualità tecniche e innovative, anche il piano di Mannajuolo, aveva un carattere utopico, poiché, per realizzare i cunicoli, le gallerie e l'intero sistema elettrico di smaltimento dei rifiuti, si richiedeva un impegno economico troppo oneroso per il Comune, già impegnato, tra l'altro, in vaste opere di ricostruzione e, così, fu ritenuto una soluzione irrealizzabile.

I progetti, qui sinteticamente analizzati, rappresentano un esempio emblematico delle numerosissime e diversificate proposte che gli ingegneri partenopei riuscirono a elaborare nell'arco di un trentennio. Gli inediti disegni analizzati, come si è detto, costituirono il principale riferimento assunto da Gustavo Giovannoni e dalla Commissione da lui presieduta per la stesura del piano regolatore del 1926, così come è esplicitamente dichiarato in una nota alla relazione allegata[27].

Il piano, dunque, fu il risultato di un complesso processo di sintesi critica del sotteso dibattito urbanistico napoletano e, pertanto, il suo carattere organico si può forse ritenere la sua maggiore qualità. Tuttavia, composta da tavole di piano particolareggiati, contrariamente alle reali intenzioni, legittimò la parcellizzazione del territorio e favorì l'avallo di progetti tra loro non omogenei.

[1] Il tema del rapporto dicotomico tra trasformazione e conservazione all'interno del dibattito urbanistico negli anni del Regime a Napoli è stato trattato nella mia tesi di dottorato, in un bilancio critico-filologico che ha recuperato figure finora trascurate dalla storiografia, per ricucire un frammentato discorso e individuare i diversi aspetti che contribuirono a formare il medesimo modo di disegnare la città durante i primi decenni del secolo. Pertanto, mi permetto di rimandare a: E. Manzo, *Napoli e il regime. La città storica tra trasformazione e conservazione*, VII ciclo, tutor V. Comoli, disc. 1995.

[2] Per approfondimenti sul Piano per il Risanamento di Napoli cfr. G. Russo, *Il Risanamento e l'ampliamento della città di Napoli*, Napoli, Società pel Risanamento, 1961; R. De Fusco, *Architettura e urbanistica a Napoli dalla seconda metà dell'Ottocento a oggi*, in «Storia di Napoli», Napoli, ESI, 1972, vol. X, pp. 275-332; M. MARMO, *Il piano di «risanamento e ampliamento» del 1885 a Napoli*, in «Storia urbana», n. 2, 1977; G. C. Alisio, *Napoli e il Risanamento. Recupero di una struttura urbana*, Napoli, Banco di Napoli, 1980.

[3] A. Gambardella, *Il disegno della città*, in G. Galasso (a cura di), *Napoli*, Bari, Laterza, 1987, pp. 5-37; Id., *Architettura e città del mediterraneo: Napoli, Barcellona, Marsiglia,* in *Un archivio di architettura tra Ottocento e Novecento. I disegni di Antonio Zanca (1861-1958)*, a cura di Paola Barbera e Maria Giuffrè, Reggio Calabria, biblioteca del cenide, 2005, pp. 88-97.

[4] Cfr. G. Zucconi, *La città contesa. Dagli ingegneri sanitari agli urbanisti (1885-1942)*, Milano, Jaca Book, 1989.

[5] F. DE SIMONE, *Piano Regolatore della Città di Napoil con annesse relazioni delle commissioni incaricate dello studio del piano regolatore*, Milano, Società Editrice Dante Alighieri, 1922, p. 12. Sulla proposta di piano regolatore redatta da Francesco De Simone, ma mai approvata, nell'ampio quadro di riferimento storiografico, si cfr. P. Belfiore, B. Gravagnuolo, *Napoli. Architettura e urbanistica del Novecento*, Roma-Bari, Laterza, 1994, pp. 16-18, 316-318, a cui si rimanda anche per l'esustivo apparato bibliografico e per l'analisi dell'intera vicenda napoletana del Novecento. Imprescindibili riferimenti, tuttavia, sono C. Cocchia, *L'edilizia a Napoli dal 1918 al 1958*, Napoli, Società pel Risanamento di Napoli, 1961; A. Venditti, *Breve storia dei Piani Regolatori*, in *Napoli dopo un secolo*, Napoli, ESI, 1961; G. Russo, *Il Risanamento*, cit.*;* C. De Seta, *Napoli*, Roma-Bari, Laterza, 1981.

[6] Vittorio Pantaleo, libero docente in Architettura Tecnica, fu convinto sostenitore dell'ideologia politica del Regime per il quale militò come squadrista fascista. Per il Regolamento Edilizio del Comune di Napoli si veda Archivio Storico del Comune di Napoli (da ora ASCN), *Regolamento edilizio pel Comune di Napoli, approvato con R. Decreto del 14 aprile 1892*, cat.20, class.4, cass.5, fasc.54. Gli articoli furono suddivisi, dall'art.1 all'art.23, in "Norme generali"; dall'art. 24 all'art. 59, in "Nuovi edifizii"; dall'art. 60 all'art. 79, in "Camposanti"; dall'art. 80 all'art. 97, in "Licenze"; dall'art. 98 all'art. 99, in "Contravvenzioni".

[7] Cfr. anche L. Guerriero, *Il Piano Pantaleo(1921) e la salvaguardia del centro storico di Napoli*, in *Scritti di Storia dell'Arte per il 70° dell'Associazione Napoletana per i Monumenti e il Paesaggio*, a cura dell'Associazione Napoletana per i Monumenti e il Paesaggio, Napoli, 1991, pp.117-126.

[8] In particolare, si cfr. *La crisi delle abitazioni in relazione con i Piani Regolatori e i Regolamenti Edilizi*, in «Roma», 3 genn. 1920, n. 3, a. LIX, p. 4; *Pel nuovo Piano Regolatore di Napoli*, in «Roma», 17 dic. 1921, n. 299, a. LX, p. 5; *Per un moderno piano regolatore della città di Napoli*, in «Roma», 7 febbr. 1922, n. 33, a. LXI, p. 4; *Sul concorso del Palazzo di Belle Arti in Napoli*, in «Roma», 4 genn. 1923, n. 4, a. LXII, p. 6; *Sindacati e crisi edilizia*, in «Roma», 15 febbr. 1923, n. 40, a. LXII, p. 5.

[9] Nella relazione allegata, tra i riferimenti bibliografici è citato il saggio *Letchwort Garden City* di E. Howard e, inoltre, A.E. Brinckmann, D*eutsche Städtbaukunst in der Vergangenheit*, Frankfurt 1911; W. Hegemann, *Der Städtebau nach den Ergebnissen der Allgemeinen Stdätebau-Ausstellung in Berlin-Internationale Städtebau-Austellung in Düsseldorf*, Berlin 1911;

R. Eberstadt, *Neue Studien über Städdtebau und wohnungswesen*, Yena 1912; G. Giovannoni, *Varianti al Piano regolatore di Roma Rione piazza d'Armi per avere la visuale attraverso la strada della cupola di S. Pietro*, Roma 1920.

[10] Alcuni riferimenti sono in A.L. Rossi, *L'Utopia realizzabile: sette tesi per Napoli*, in «La Provincia di Napoli», 1987, nn. 1-2, pp. 15-32; P. Miano, *Il Centro Storico nei Piani Regolatori della città*, in *Rigenerazione dei centri storici. Il caso Napoli*, Milano, Sole 24 ore, 1988, vol. I, p. 135, nota 15. Un giudizio negativo fu, invece, espresso da I. Ferraro (a cura di), *La costruzione della città,* Napoli, Clean, 1984.

[11] Comencini inizialmente fu impegnato nella ristrutturazione e nella sistemazione interna di edifici in stile umbertino e tra questi sono particolarmente significativi i risultati raggiunti negli alberghi *de Londre* e *Santa Lucia*, dei quali, se il secondo risulta più maturo, l'altro si può indubbiamente considerare «… il primo edificio napoletano ad avere qualche elemento ispirato alla nuova tendenza …». R. De Fusco, *Il Floreale a Napoli*, Napoli, ESI, 1959, p. 77. Per l'opera di Comencini a Napoli si cfr. anche P. Belfiore, B. Gravagnuolo, *Napoli*, cit., pp. 19-22.

[12] La relazione, pubblicata a cura del Municipio di Napoli nel 1923, contiene la definitiva stipula dell'atto di trattativa privata, redatto il 15 dicembre 1913 dal Notaio Cav. Enrico Talamo, tra il marchese Ferdinando del Carretto di Novello, Sindaco di Napoli e Senatore del Regno, La Società Edilizia Laziale e i signori Nicola Daspuro e Giovanni Battista Comencini. Il 25 luglio 1910, questi ultimi avevano presentato «[...] per ottenere la concessione di eseguire direttamente, od a mezzo di una Società da costituire, un progetto, accompagnato da un memoriale a stampa intitolato "Rione Occidentale - Progetto per una galleria fra Mergellina e la Stazione della Direttissima Napoli-Roma, ed ampliamento della Città sui Campi Flegrei", cui era allegata una piantina d'insieme al 10 mila». Il piano consisteva nell'apertura di una galleria attraverso la collina di Posillipo, tra Piazza Mergellina e Fuorigrotta, con allacciamento dei due sbocchi alle esistenti strade. In questo modo, si prospettava una comunicazione diretta tra il Viale Elena e la nuova stazione della direttissima Roma-Napoli. La richiesta, tuttavia, era finalizzata soprattutto a ottenere l'approvazione per costruire due nuovi quartieri residenziali, uno nell'area di fronte alla stazione, e un altro più piccolo a monte di via Campegna. L'Ufficio Tecnico Municipale rilevò la necessità formale di uniformarlo a quello regolatore di ampliamento del Quartiere Occidentale conforme alla legge 1885. Si impegnava, però, ad accettare la concessione nelle linee generali. ASCN, Cat. 20, class. 4, *Contratto di concessione alla Società Edilizia Laziale di Roma per la costruzione di un nuovo quartiere ad occidente della città di Napoli. 12 dicembre 1913*.

[13] G.B. Comencini, N. Daspuro, *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 Chiaia (cancello del palazzo Cellammare) con prolungamento sino alla piazza dei Martiri,* Napoli 1917. Nicola Daspuro era stato giornalista del *Secolo*, della *Gazzetta del Popolo* e del *Figaro* di Parigi. Inoltre, fu presidente del Sindacato Giornalisti da cui si dimise per lavorare per la Società Edilizia Laziale e seguire i lavori per il Rione Occidentale. Alcuni anni dopo ottenne la concessione per il progetto di *Chiaja Nova*, poi fu revocata da Labriola.

[14] *Ibidem*.

[15] Cfr. F. Savino, *Progetto di nuove vie di comunicazione fra la parte orientale ed occidentale della città di Napoli*, Napoli 1887.

[16] Sull'idea di valore sociale e culturale del restauro urbano cfr. P. Geddes, *Città in evoluzione*, Milano, 1970.

[17] ASCN, *Delibere di Giunta*, n. 9, del 21/1/1924; n. 44, del 24/3/1924; n. 35, del 16/6/1924; n. 17, del 28/6/1924. Per le approvazioni dei piani di massima e dei progetti dei nuovi quartieri si cfr. ASCN, *Delibere di Giunta*, n. 13, del 21/1/1924; n. 92, del 12/2/1924; n. 47, del 29/2/1924; n. 64, del 4/7/1924; n. 22, del 8/8/1924.

[18] ASCN, *Delibere di Giunta*, n. 5, del 5/11/1924, *Gara pubblica fra gli ingegneri e gli architetti italiani per la compilazione di un progetto per una via di comunicazione tra l'Oriente e l'Occidente*.

[19] L'elenco dei 40 progetti fu pubblicato in: *I*

progetti presentati al Comune, in «Il Mattino», 13-14 genn. 1925, n. 15, a. XXXIV, Cronaca di Napoli.

[20] Per i progetti si rimanda agli articoli pubblicati da «Il Mattino», nella "Cronaca di Napoli", pertanto cfr.: *Per una via di comunicazione tra l'oriente e l'occidente della città. Il progetto del Giudice*, 15-16 genn. 1925, n. 16, a. XXXIV; *Il progetto Vespucci-Maresca per le comunicazioni tra oriente e occidente*, 24-25 genn. 1925, n .23, a. XXXIV; *Le Comunicazioni fra l'oriente e l'occidente. Il progetto dell'ing. Mastrilli*, 22-23 genn. 1925, n. 22, a. XXXIV; *Il progetto dell'ing. D'Orso per congiungere l'oriente con l'occidente*, 23-24 genn. 1925, n. 21, a. XXXIV; G. Corrado, *Contributo allo studio del problema delle comunicazioni tra la parte orientale e quella occidentale di Napoli*, Napoli 1925; *Il progetto dell'ingegnere Carlesio per la costruzione di una via tra l'est e l'ovest*, 29-30 genn. 1925, n. 25, a. XXXIV; e, inoltre M. Mastrilli, *Progetto di una diretta e breve comunicazione fra l'Oriente e l'Occidente della città di Napoli fra Via Pace e Via Marina*, Napoli 1917; A. Stella, *Grande arteria di congiungimento tra l'Oriente e l'Occidente della città di Napoli coordinata allo sviluppo edilizio della zona flegrea*, Napoli 1925; F. Ruffolo, N. Spagnuolo, *Progetto per l'ampliamento edilizio della città, mediante la costruzione di una nuova arteria stradale Vomero-via Nuova di Capodimonte-Foria*, Napoli 1925.

[21] Per approfondimenti critici e documentari cfr. E. Manzo, *Napoli*, cit., pp. 184-194.

[22] *Ibidem*. Uno dei disegni elaborati del gruppo Cimmino, Franco, Russo e Sasso fu poi esposto alla mostra *L'architettura a Napoli tra le due guerre,* pubblicata in *L'architettura a Napoli tra le due guerre*, a cura di C. de Seta, catalogo della mostra, (Napoli, Palazzo Reale, 26 marzo – 26 giug. 1999), Napoli, Electa, 1999, p. 206. La tavola, tuttavia, individuata nell'archivioprivato di Manfredi Franco, gli fu attribuita;ma, cfr. G. Cimmino, M. Franco, G. Russo, A. Sasso, Piano regolatore e di Risanamento di S. Lucia e Monte Echia, Napoli, 1928.

[23] G. Mannaiuolo, *Per le Strade e la Nettezza Urbana di Napoli*, Napoli 1926.

[24] *Ibidem.*

[25] Cfr. *Ivi*, V. De Giaxa, *Parere sul progetto Mannajuolo, dello illustre Igienista comm. prof. Vincenzo De Giaxa*, p. 41; F. D. DE BLASI, *Parere sul progetto Mannajuolo del Direttore dell'Istituto d'Igiene della R. Università di Napoli*, pp. 37-38.

[26] Cfr. G. Mannaiuolo, *Progetto per la indeformabilità e definitiva sistemazione delle strade e sottostanti servizi pubblici; per la rapida nettezza della città a mezzo di veicoli elettrici sotterranei; per la valorizzazione dei detriti e spazzature*, Napoli 1927.

[27] *Relazione della Commissione per lo studio del piano regolatore della Città*, Napoli, Giannini, 1927.

Riccardo Serraglio

L'attività di colonizzazione dell'Opera Nazionale Combattenti in Campania tra primo e secondo dopoguerra

Una generale attenzione per l'architettura rurale della Campania rientra a pieno titolo in un contesto orientato all'allargamento della cultura materiale, alla rivalutazione della civiltà contadina, all'approfondimento delle componenti tecnologiche della produzione artistica. Già dagli anni trenta del Novecento la cultura architettonica italiana avverte l'esigenza di riappropriarsi di questo importante patrimonio attraverso le prime voci di Giuseppe Pagano e di Roberto Pane, autori di significativi contributi, oggi divenuti indispensabili strumenti di conoscenza sia perché molti edifici da loro documentati sono purtroppo scomparsi sia perché è completamente mutato l'ambiente circostante[1].

Un altro momento d'interesse per l'architettura rurale si verifica negli anni cinquanta dello scorso secolo[2]. Il riconoscimento culturale della realtà contadina portò, per esempio, ad approfondite analisi di alcuni brani di architettura tradizionale considerati paradigmatici, come il quartiere La Martella di Matera o "le casedde" di Grassano, studiate anche per la razionalità delle soluzioni compositive e per l'efficacia degli adattamenti bioclimatici in essi adottate[3].

Di particolare significato sono le considerazione di Ettore Sottsass a proposito dell'architettura popolare in Sardegna. Partendo dall'analisi di una realtà locale l'architetto approdò a considerazioni di carattere generale, sottolineando l'importanza di un processo di produzione, articolato nello spazio e nel tempo, che aveva condotto a un uso pressocchè perfetto attraverso progressivi affinamenti. Una volta conseguita una efficace corrispondenza tra qualità formali, esigenze funzionali e soluzioni distributive il prodotto si era moltiplicato per diversi esemplari nei quali si ritrovavano, in varianti pressocchè illimitate, i medesimi principi di base. Secondo Sottsass questi processi erano paragonabili a una metodologia di produzione seriale che, al principio degli anni cinquanta, trasmise in Italia una esperienza preziosa alla nascente industria delle componenti tecnologiche[4].

Illuminanti riflessioni sull'architettura rurale campana sono nella *Controstoria e storia dell'architettura* di Bruno Zevi[5]. Riconosciuto a Giuseppe Pagano il ruolo di promotore degli studi dedicati all'architettura rurale in Italia[6], l'autorevole studioso ricorda tra i primi contributi prodotti in ambito locale e nazionale quelli dedicati all'edilizia minore caprese, ischitana, procidana, della costiera amalfitana e dei dintorni di Napoli[7]. Di considerevole interesse sono le considerazioni di Zevi sulle posizioni culturali assunte da Roberto

Pane. Questi, infatti riconosceva nella «nostra architettura rustica» le radici di parte della moderna architettura straniera, invitando la cultura architettonica italiana a riappropriarsi delle proprie radici «direttamente e non attraverso le elaborazioni d'oltralpe»[8].

Dopo Roberto Pane, Cesare de Seta e Benedetto Gravagnuolo si sono occupati dell'architettura rurale e del paesaggio agrario della Campania, fornendo una significativa lettura del sistema dei casali dell'area napoletana e approfondendo la caratterizzazione delle fabbriche agricole in relazione a criteri di congruenza funzionale e attraverso l'analisi di complessi fenomeni storici –dialetto, tecniche agricole, rituali comunitari etc.– attivi in ciascun luogo[9]. Più di recente, studiosi della Facoltà di Achitettura della Seconda Università degli Studi di Napoli hanno elaborato approfondite ricerche relative al territorio e all'edilizia rurale dell'area casertana e di altre zone della Campania. Danila Jacazzi ha condotto studi sull'assetto territoriale dell'*Ager Campanus*, attraverso analisi di fonti bibliografiche e documentarie e sulla scorta di un'accurata lettura della cartografia storica[10]. Ulteriori contributi sono stati forniti da Ornella Zerlenga, autrice di saggi corredati da attenti rilievi di casali e masserie, importanti strumenti per una interpretazione dell'evoluzione di queste tipologie edilizie in relazione all'attività colturale condotta nei territori della pianura campana[11].

Ornella Cirillo, poi, ha dedicato un documentato saggio all'edilizia rurale nei territori alle pendici settentrionali del Vesuvio[12].

Questi studi, in definitiva, forniscono alla comunità scientifica una significativa testimonianza del patrimonio architettonico rurale di alcune aree della Campania, in gran parte compromesso dalla perdita delle originarie funzioni e, di conseguenza, dallo stato di abbandono, dalle precarie condizioni statiche, dalle profonde trasformazioni che hanno trasfigurato i caratteri d'identità dell'ambiente circostante. Le architetture rurali disseminate nel territorio, organizzate secondo episodi tipologicamente differenziati, costituiscono un insieme spaziale di notevole complessità, sicuramente meritevole di ulteriori approfondimenti.

Tuttavia, con l'eccezione di uno studio di Stefania del Vecchio sul territorio dei Mazzoni[13], situato tra Capua e Aversa, gli studiosi si sono soffermati soprattutto sulla lettura di edifici storici, per lo più fondati dal Quattrocento ai primi decenni dell'Ottocento, mentre risultano abbastanza trascurate le fasi tardo-ottocentesche e della prima metà del Novecento.

Per questi periodi, però, sono già state condotte significative operazioni di rivalutazione e tutela dell'architettura civile e religiosa, soprattutto nel settore dell'edilizia residenziale. Ulteriori ricerche andrebbero rivolte allo studio dell'edilizia minore, in particolare dell'architettura rurale, per avere un panorama per quanto possibile completo della produzione architettonica dello scorso secolo.



Fig. 1 – Aree appoderate dall'O.N.C. nel comprensorio del Basso Volturno

Nel periodo dagli anni venti agli anni cinquanta, infatti, furono eseguiti interventi di bonifica e di appoderamento di numerosi territori campani. In essi si costruirono nuove unità produttive, progettate applicando principi della funzionalità e dell'economia. In particolare, tra il primo e il secondo conflitto mondiale si stabilì di assegnare ai reduci di guerra territori sottoposti a programmi di bonifica per ricompensarli dei servizi resi alla nazione e, nel contempo, per rilanciare la produzione agricola, fondamento dell'economia italiana preindustriale. Nel 1917 venne costituita l'Opera Nazionale Combattenti (O.N.C.), un ente assistenziale che, insieme ad altre importanti mansioni di tipo sociale, ebbe in gestione aree paludose e malsane da risanare, urbanizzare e, quindi, da destinare agli ex combattenti. In un panorama denso di profondi cambiamenti, le attività dell'O.N.C. furono, dunque, orientate al reinserimento sociale e all'assistenza finanziaria dei reduci attraverso la costituzione e l'amministrazione di un consistente patrimonio fondiario, rivalutato mediante importanti operazioni di bonifica[14].

In Campania vennero assegnati all'O.N.C. aree del napoletano, del casertano e del salernitano, bonificate

mediante l'attivazione di impianti idrovori, costruiti da consorzi ai quali vennero affidate specifiche competenze territoriali, suddivise in poderi e successivamente dotate di strade, di servizi comunitari e di unità residenziali e produttive[15]. Nei primi mesi dell'anno 1939 l'O.N.C., sulla scorta di un progetto appositamente studiato, avviò un programma di colonizzazione di circa diciottomila ettari compresi in vaste plaghe di territorio completamente pianeggianti, in destra e in sinistra dell'ultimo tratto del corso del Volturno. All'epoca, in quelle aree il disordine idraulico, l'assenza di viabilità, condizioni igienico-sanitarie insostenibili impedivano lo sviluppo di un'agricoltura razionale e progredita. Era evidente, tuttavia, l'opportunità di recuperare alcune migliaia di ettari di quei terreni programmando lavori impegnativi e costosi ma ritenuti renumerativi nel medio e nel lungo termine[16].

Dopo le bonifiche preunitarie, condotte soprattutto in età borbonica e precedute da significativi interventi nei periodi aragonese e vicereale[17], nei primi anni del secolo scorso si abbandonò il desueto sistema della colmata per passare a quello più celere ed efficace del prosciugamento a mezzo del sollevamento meccanico delle acque esuberanti. In particolare, nei primi decenni del Novecento venne ricostruita l'opera di foce dei Regi Lagni, migliorata l'arginatura a sinistra del Volturno, garantita la fruibilità dei terreni più bassi anche in occasione d'eventi critici mediante l'installazione di idrovore. Dal 1917 al 1927 vennero istituiti nuovi consorzi di bonifica, che si accinsero alla realizzazione di un programma di assestamento idraulico, indispensabile premessa del miglioramento agrario di tutto il territorio. Nello stesso tempo, parallelamente agli interventi di prosciugamento, si intraprese la costruzione di un'efficiente rete stradale a supporto della prevista trasformazione fondiaria e agraria, cosicché per ovvie ragioni utilitarie l'appoderamento seguì la rigorosa geometria delle strade di bonifica, conferendo al paesaggio un aspetto ordinato e funzionale. Nel quinquennio dal 1930 al 1935, in attuazione di un nuovo Testo Unico sulle bonifiche[18], i consorzi della zona vicana e dei territori in sinistra del Volturno stabilirono le direttive fondamentali delle trasformazioni agrarie, avviando, in concomitanza con lavori finalizzati alla sistemazione idrogeologica, opere di miglioramento fondiario. Tutto rimase limitato, però, a qualche modesto esperimento con la immissione di unità colturali per le quali non vennero quasi mai realizzate opere d'irrigazione, peraltro indicate quali eventuali fattori per un'ulteriore intensificazione produttiva. Casi del tutto sporadici, dunque, che non uscirono dalla fase del tentativo iniziale e che poco apportarono al definitivo miglioramento dei terreni nei quali furono sperimentati. Queste interessanti premesse non ebbero seguito poiché nuovi eventi bellici, di poco posteriori all'intervento dell'O.N.C., ne arrestarono l'attività, in molti luoghi addirittura distruggendo in gran parte quanto si era fatto.

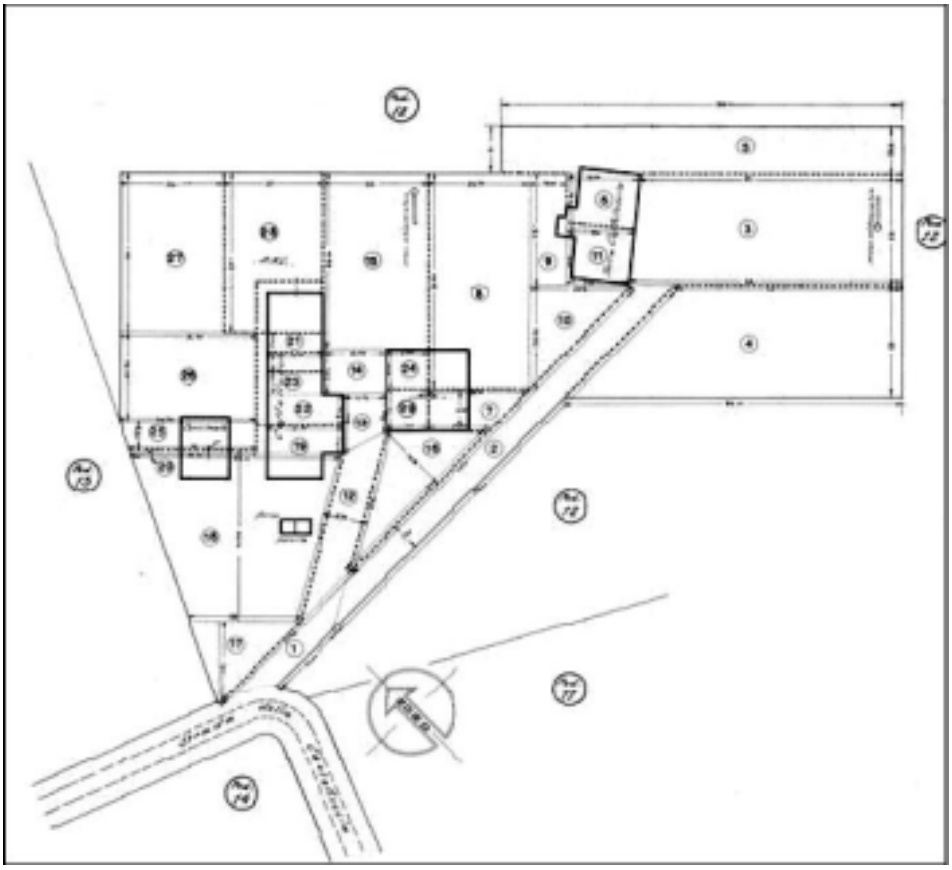


Fig. 2 – Planimetria della tenuta della Castelluccia nell'Azienda Agraria Sinistra Volturno

Nel secondo dopoguerra ripresero le operazioni di appoderamento, tuttavia apparve subito chiaro che, a differenza di altri territori, nei comprensori campani non potevano concepirsi piani di colonizzazione non coordinati a un rapido completamento delle opere di bonifica. Già nelle prime fasi d'intervento gli afflussi ai collettori consorziali delle acque provenienti dai terreni appoderati apparvero, infatti, insostenibili per impianti concepiti secondo i bisogni di un'agricoltura di carattere estensivo. Si stabilì, pertanto, che in contemporanea all'assegnazione di terreni coltivabili, i consorzi avrebbero dovuto non soltanto realizzare nuovi impianti tecnici ma anche adeguare quelli costruiti in precedenza alle nuove esigenze, ampliando gli alvei, accrescendo la capacità delle macchine idrovore mediante un consistente potenziamento della rete elettrica, migliorando il deflusso delle foci a mare.

In particolare, alla fine degli anni trenta l'O.N.C. aveva prodotto nell'area

casertana un impianto idrovoro in località San Sossio; la parziale sistemazione del tronco inferiore dei Regi Lagni e della Regia Agnena; la canalizzazione tra Volturno e Agnena, in un'area a monte di Cancello e Arnone; numerosi interventi di colmata di aree depresse. Ciò aveva permesso, fin dal 1939, di introdurre nella zona una stabile popolazione agricola, insediata in case coloniche costruite sui rispettivi poderi, e, di conseguenza, ordinamenti colturali intensivi e un razionale allevamento di animali da stalla e da cortile. L'efficienza di questa complessa organizzazione poderale era garantita da centri aziendali, nei quali erano raccolti i principali servizi civili (scuole, chiese, caserme, delegazioni comunali, uffici postali, ambulatori medici etc.), aggregati nel borgo Appio in destra del Volturno, ancora efficiente, e in quello Domizio in località Ponte a Mare, la cui costruzione fu interrotta a causa degli eventi bellici[19].

Nel predisporre i piani di appoderamento, l'O.N.C. avviò la costruzione di case coloniche sulla scorta di progetti-tipo, adeguati all'ampiezza poderale, alle diverse esigenze produttive e alla natura dei terreni.

Le residenze, uniformate da criteri progettuali di razionalizzazione delle funzioni e di dimensionamento ottimale degli spazi abitativi e di servizio, dotate di cucina, magazzino e locali accessori al piano terra, di stanze di abitazione al piano superiore, possono essere comparate, per le semplificazioni distributive e costruttive in esse sperimentate, alle contemporanee ricerche condotte nei settori dell'edilizia residenziale economica e popolare[20].

Il programma iniziale, avviato nell'aprile 1939 ed eseguito in conformità alle previsioni fino al successivo settembre, venne, tuttavia, interrotto nel periodo bellico. I danni causati dalla guerra furono rilevanti. Particolarmente pregiudizievole fu la distruzione delle idrovore e il conseguente allagamento delle aree basse. Ma la più grave ripercussione dovuta al conflitto deve considerarsi la forzata interruzione delle attività di bonifica, che avrebbero dovuto interessare un'area compresa tra il bacino dell'Agnena e le pendici meridionali del Monte Massico.

Nei primi anni del dopoguerra, infatti, l'O.N.C. dovette provvedere, avvalendosi di modesti contributi statali, a riparare i danni subiti ma non poté riprendere l'interrotto piano di trasformazione territoriale. In merito alla qualità delle opere realizzate, molte di esse, sottoposte ad opportuni adeguamenti tecnologici, ancora oggi regolano l'assetto idrogeologico dell'area del Basso Volturno, tuttavia è necessaria un'assidua manutenzione per assicurare il funzionamento degli impianti meccanici e il regolare deflusso dei fiumi Volturno e Agnena e dei canali dei Regi Lagni.

All'attualità, il cospicuo patrimonio edilizio dell'O.N.C., alienato a privati, versa in stato di degrado e di abbandono. Il casino di caccia borbonico del lago Patria, meno noto ma con analoghe funzioni di quello del lago Fusaro, è stato utilizzato come sede della Direzione dell'Azienda Agraria di Licola e Varca-

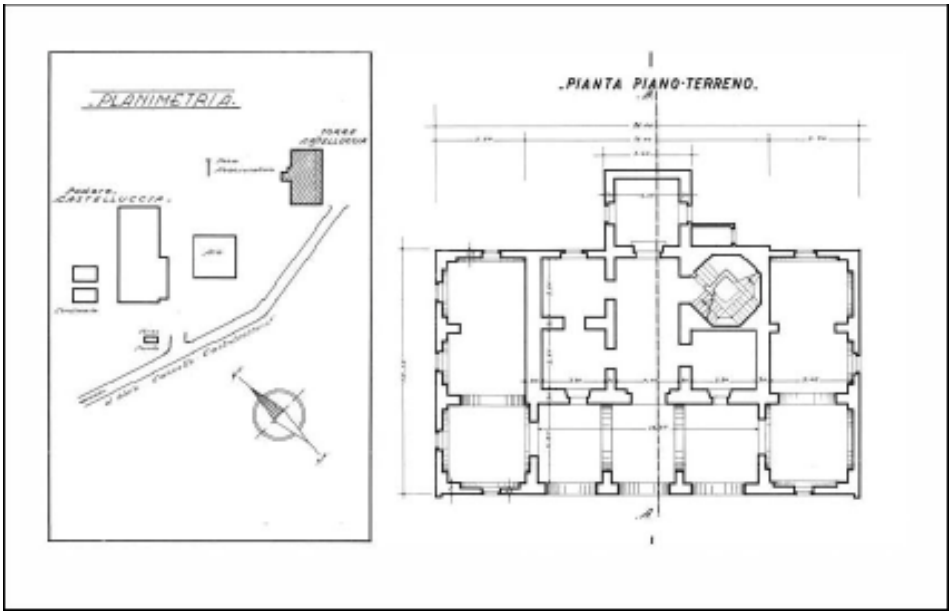


Fig. 3 – Planimetria della tenuta e pianta del piano terreno della Torre della Casteuccia

turo[21]. Anche le tenute di Carditello e di Calvi, istituite alla fine del Settecento, furono trasferite al patrimonio dell'O.N.C. nel 1919[22]. Oltre al noto casino di Carditello, le tenute borboniche comprendevano altri interessanti edifici per la produzione, come i mulini di Sant'Antonio sui Regi Lagni, il casino reale di Calvi e altre masserie costruite negli ultimi decenni del Settecento, ancora esistenti ma, purtroppo, pesantemente rimaneggiati.

Altri fabbricati presenti nell'area casertana sembrano meritevoli di attenzione e di tutela perché costituiscono significative testimonianze della cultura architettonica e tecnica del primo Novecento.

In particolare, è stato possibile recuperare progetti originali, oggi di proprietà privata, di alcuni di questi. Tra i più interessanti, l'impianto idrovoro in località San Sossio, racchiuso in un corpo di fabbrica a pianta rettangolare in cui erano alloggiati l'officina, i quadri generali di controllo e pompe idrauliche per il prosciugamento.

L'edificio, tuttavia, completamente trasformato, ha perso i caratteri di dignità architettonica che lo caratterizzavano. Anche il fabbricato idrovoro presso il lago Patria, costruito dal Consorzio di Bonifica della II zona Vicana, pur avendo funzioni prettamente tecniche, presentava un rigore formale e una ricercatezza degli elementi decorativi che ne elevavano la qualità.

Come si è detto, le aziende agricole dell'O.N.C. erano uniformate da criteri di carattere generale. Le zone classificate di media fertilità erano suddivise in poderi di tre estensioni, da quattro a

otto ettari, a seconda delle unità lavorative delle famiglie residenti. Anche le abitazioni erano di tre tipi, dimensionate in relazione al numero dei componenti della famiglia. La loro realizzazione, regolata da progetti guida molto schematici, prevedeva un insediamento iniziale minimo, lasciando all'iniziativa dell'assegnatario la possibilità di successivi ampliamenti e adeguamenti delle parti residenziali e accessorie anche in funzione dell'identificazione dell'ordinamento agrario.

Tra numerosi edifici residenziali, si segnala la masseria Visocchi, denominata anche podere O.N.C. numero 911, all'attualità ridotta allo stato di rudere. Già proprietà di Achille Visocchi, promotore dei provvedimenti legislativi per la concessione delle terre ai contadini reduci della prima guerra mondiale, fu uno dei primi edifici a essere espropriato per essere accorpato al patrimonio dell'O.N.C. e in seguito ristrutturato.

Operazione di questo tipo erano, tuttavia, meno frequenti della costruzione di nuove abitazioni conformi ai progetto-tipo, redatti a cura dell'ente. I grafici a essa relativi, fortunosamente salvati dal macero, documentano interessanti caratteri architettonici sia nell'impianto pla-nimetrico di ispirazione neorinasci-mentale sia nel registro decorativo di gusto eclettico, secondo una tendenza molto diffusa tra la fine dell'Ottocento e gli inizi del Novecento nell'area casertana. A differenza della masseria Visocchi, quella denominata Torre della Castelluccia, anch'essa espropriata e ristrutturata, presenta un discreto stato di conservazione. Situata nel comune di Cancello e Arnone e catalogata come podere n. 13 dell'O.N.C., si distingue per le geometriche riquadrature dei prospetti, realizzate probabilmente nei primi del Novecento e uniformate alla tradizione dell'architettura rurale del Settecento, dipendente dalle soluzioni adottate nei fabbricati adibiti alla produzione nelle tenute di Carditello e di Calvi.

In definitiva, la consultazione di inediti incartamenti consente ampie riflessioni Questo contributo, dunque, vuole essere una sull'attività edilizia e sulle trasformazioni prima riflessione in vista di una più organica territoriali in alcune aree della Campania. In ricerca, dedicata alle trasformazioni di particolare, si riscontra la circolazione di un territori della fascia costiera della provincia linguaggio uniformato alla produzione di Caserta, attraverso la catalogazione dei architettonica del primo Novecento nelle citati documenti di proprietà privata e il città e nei centri minori della regione anche confronto di questi con i fondi archivistici nei fabbricati realizzati dall'O.N.C., costruiti reperibili presso gli enti pubblici.

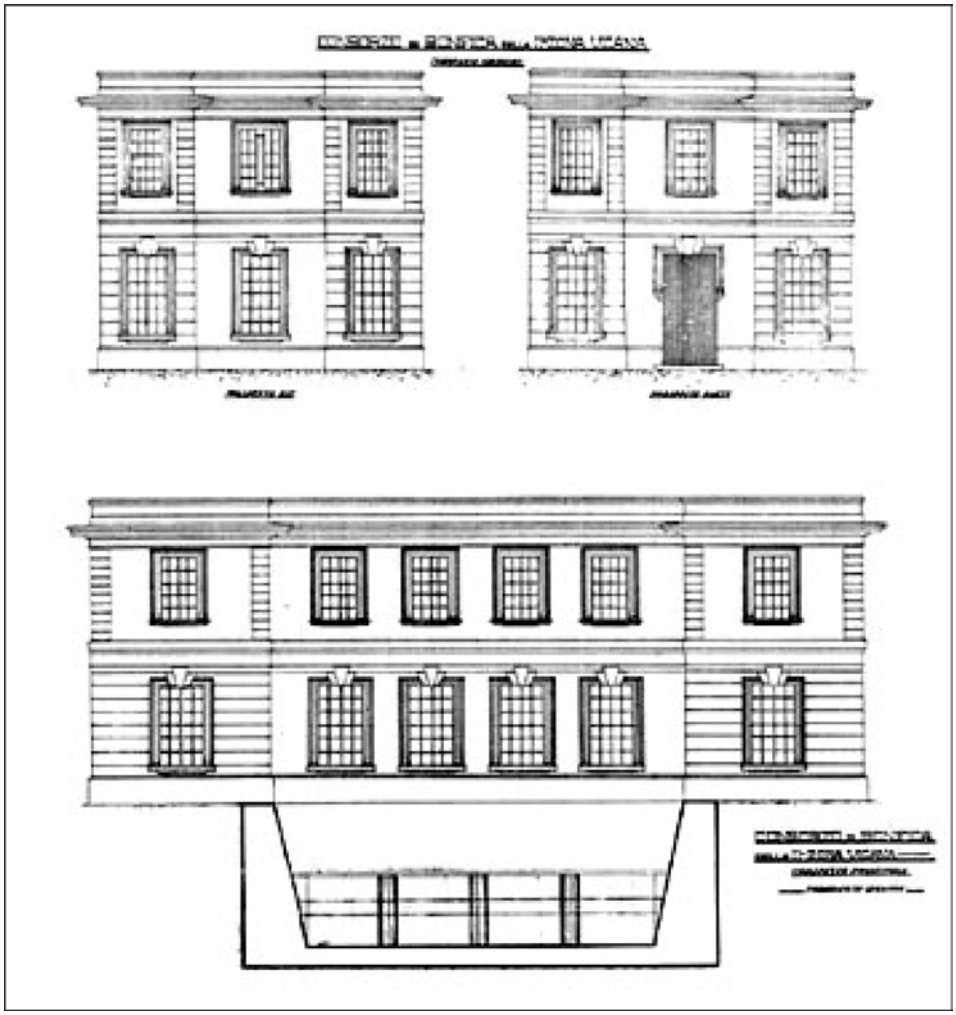


Fig. 4 – Prospetti del fabbricato idrovoro del Consorzio di Bonifica della II Zona Vicana

[1] Cfr. G. Pagano, *Architettura rurale in Italia*, in «Casabella», 95 (1935), pp. 18-25; R. Pane, *Architettura rurale campana*, Firenze, Rinascimento del Libro 1936; Id., *Campania la casa e l'albero*, Napoli, Montanino Editore, 1961.

[2] Una interessante rilettura delle considerazioni di architetti italiani degli anni cinquanta del Novecento relativamente ai temi dell'architettura tradizionale è in F. Muzzillo, *Aperture e spazi di luce. Immagini degli anni '50 e '60 verso una progettazione ambientale della casa*, Napoli, Edizioni Graffiti, 2004, pp. 28-30.

[3] Cfr. R. Musatti, *Matera, città contadina*, in «Comunità», 33 (1955), pp. 28-35, e F. *Buzzi Ceriani*, *ivi*, 29 (1955), pp. 40-44.

[4] Cfr. E. Sottsass, *Architettura rurale in Sardegna*, in «Comunità», 11 (1951), pp. 34-37.

[5] Cfr. B. Zevi, *Controstoria e storia dell'architettura. III Dialetti architettonici Architettura della modernità*, Roma, Newton & Compton

editori, 1998, pp. 7-80.
[6] *Ivi*, p. 13.
[7] Per un'utile selezione bibliografica si rimanda a B. Zevi, *op.cit.*, pp. 295-296.
[8] Le posizioni di Pane, riportate da Zevi, erano decisamente critiche nei confronti di uno dei massimi esponente del Movimento Moderno: «Paragonate alle case di Procida, le pretese novità di Le Corbusier diventano una timida esercitazione di volumi, specialmente se si pensa alle messianiche parole da cui sono accompagnate».Cfr. B. Zevi, *op.cit.*, pp. 30-32.
[9] Cfr. C. de Seta, *I Casali di Napoli*, Roma-Bari, Laterza, 1989, e B. Gravagnuolo, *Architettura rurale e casali in Campania*, Napoli, Clean, 1994.
[10] Cfr. D. Jacazzi, in *Lo sviluppo storico dell'*Ager Campanus, in *Ager Campanus ricerche di architettura*, a cura di A. Gambardella, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 2002, pp. 19-48.
11 Cfr. O. Zerlenga, *Il patrimonio rurale dell'*Ager Campanus, ivi, pp. 317-332; Ead., *Architetture dimenticate in Campania Felix*, in *Campania Felix segni strutture e permanenze ambientali*, a cura di R. Penta, Caserta, Frammenti s.r.l., 2002, pp. 167-235.
[12] O. Cirillo, *"A nord del Vesuvio": i casali di Somma nelle piante di Luigi Marchese insediamenti rurali e monastici*, in *Napoli-Spagna architettura e città nel XVIII secolo*, a cura di A. Gambardella, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 2003, pp. 293-315.
[13] Cfr. S. Del Vecchio, *La regione dei "mazzoni"*, in *Ager Campanus* … cit., pp. 349-369.
[14] Cfr. *36 anni dell'Opera Nazionale per i Combattenti 1919-1955*, Tivoli, Arti Grafiche Aldo Chicca, 1955. L'Opera Nazionale per i Combattenti curò la stampa di pubblicazioni relative soprattutto alla produzione agricola e zootecnica ma anche inerenti questioni estimative, legislative e tecniche (*ivi.*, pp. 228-230).
[15] In particolare il comprensorio del Basso Volturno è stato oggetto di approfondimento da parte di chi scrive come tutor delle tesi di laurea in Scienze dell'Architettura *L'attività di bonifica e di urbanizzazione dell'Opera Nazionale per i Combattenti nel Comprensorio del Basso Volturno*, Facoltà di Architettura della Seconda Università degli Studi di Napoli, a.a. 2004-05, del dott. Roberto Ominto, e *Schedatura dell'edilizia rurale realizzata dall'Opera Nazionale Combattenti nel comprensorio del Basso Volturno*, Facoltà di Architettura della Seconda Università degli Studi di Napoli, a.a. 2004-05, del dott. Luigi Moschetti.
[16] Cfr. *36 anni dell'Opera* … cit., pp. 163-170.
[17] Cfr. G. Fiengo, *I Regi Lagni e la bonifica della Campania Felix durante il viceregno spagnolo*, Firenze, Leo S. Olschki Editore, 1988, e D. Jacazzi, *Territorio e città: la bonifica delle paludi napoletane in età aragonese nelle fonti diplomatiche*, in *Tra il Mediterraneo e l'Europa. Radici e prospettive della cultura architettonica*, a cura di A. Gambardella, Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane, 2000, pp. 79-96.
[18] Cfr. *36 anni dell'Opera* … cit., pp. 25-33.
[19] *Ivi*, pp. 163-170.
[20] Cfr. *Le costruzioni rurali*, a cura della Sezione Speciale per la Riforma Fondiaria in Campania dell'Opera Nazionale per Combattenti, Napoli, Edizioni Molinari,1958.
[21] Cfr. *36 anni dell'Opera* … cit., p. 135.
[22] *Ivi*, pp. 101-104.

Mario Casirati

L'ingegnere Lauletta e le prove sperimentali in campo dinamico

Nel 1953 l'ISMES non disponeva ancora degli impianti e delle attrezzature per l'effettuazione di prove dinamiche. Dal registro "Libro dei verbali" del Comitato Tecnico dell'ISMES, si ricava infatti che in data 19 novembre 1954 sono pronti i disegni costruttivi di una tavola vibrante, di due vibratori elettromagnetici e di un generatore meccanico di vibrazioni (vibrodina*),* mentre dal verbale della seduta del 23 ottobre 1956 risulta completato l'impianto per prove sismiche con vibratori elettromagnetici.

Nel maggio 1957 viene emesso il primo rapporto su prove dinamiche[1]. L'inizio di queste prove deve essere pertanto collocato nel corso del 1956 se non precedentemente, ed è quindi presumibile che l'ISMES si sia dotata delle apparecchiature per prove dinamiche nel corso del periodo 1954-55, e che successivamente si sia proceduto alla messa a punto ed al collaudo degli impianti. È altrettanto presumibile che le attività di progettazione, acquisizione ed installazione di questi impianti siano state affidate all'ing. Lauletta, che aveva iniziato la sua collaborazione con l'Istituto nel 1952, e che all'epoca era il solo ingegnere a far parte dello staff dell'ISMES, oltre –ovviamente– ai professori Danusso ed Oberti.

Quel che è certo è che nel 1956 l'ISMES disponeva di una serie di attrezzature per l'effettuazione di prove dinamiche:

· per fissare il modello (o la struttura) in prova: una rigida piattaforma in profilato metallico avente dimensioni 4,5 x 3 m, sospesa con 4 molle ad un robusto telaio di sostegno in acciaio[2]. Le molle consentono alla piattaforma spostamenti in direzione verticale e nelle due direzioni orizzontali.

· per applicare il moto alla piattaforma: un sistema "pendolo - molla"[3] che mette in moto la piattaforma a seguito di un urto "controllato" prodotto da un pendolo, che impatta la piattaforma urtando contro un disco a forma di respingente ferroviario, collegato alla piattaforma stessa tramite una struttura ad elasticità variabile, posto in corrispondenza della posizione del baricentro del sistema piattaforma–modello. Alla stessa quota erano applicate, dall'altro lato, le molle di accoppiamento al suolo. La variazione delle ampiezza del movimento si otteneva attraverso la variazione dell'altezza di caduta del pendolo, e la variazione di frequenza attraverso la variazione del numero delle molle;

un sistema di vibratori elettromagnetici comandati da una centralina e dotati di speciali molle di richiamo, in grado di generare un treno di scosse aventi frequenza, ampiezza e durata, variabili a piacere -in prove successive- entro dati limiti;

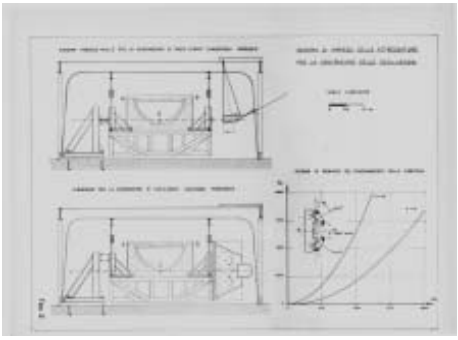


Fig. 1 – Le prime attrezzature per la effettuazione di prove dinamiche

un generatore meccanico di vibrazioni ("vibrodina"), di progettazione interna, costituito da due dischi rotanti in senso opposto attorno a due assi paralleli; su ciascuno dei dischi sono fissate due masse eccentriche. La composizione delle due forze centrifughe generate nella rotazione origina una forza sinusoidale diretta nel piano di rotazione delle masse e normale alla congiungente gli assi di rotazione. La forza generata cresce con il quadrato della velocità di rotazione: per regolarne l'intensità ed evitarne un eccessivo incremento, l'angolo tra le due masse di ciascun disco può essere fatto variare: più questo angolo è ampio, minore sarà, a parità di velocità di rotazione, la forza erogata dalla vibrodina.

Con le apparecchiature sopra elencate era possibile simulare gli effetti di un terremoto, come viene spiegato nelle "giustificazioni" teoriche esposte da Oberti e Lauletta[4], che si possono brevemente riassumere come segue:
un terremoto generico imprime al piede della struttura un'oscillazione che si propaga nella struttura stessa dando luogo a forze d'inerzia (e conseguenti sollecitazioni) dipendenti sia dall'eccitazione applicata al piede, sia dalla rigidità della struttura, nel senso che:
il terremoto agisce non tanto con i valori massimi della sua accelerazione, quanto con una sorta di effetto cumulativo che dipende dal suo andamento nel tempo;
la struttura ha una "memoria", ossia una capacità di accumulo dipendente dalle sue frequenze proprie (cioè dalla sua rigidezza e dalla sua massa), che può condurla ad esaltazioni anche rilevanti delle accelerazioni (risonanza, amplificazione dinamica);
pertanto, la definizione "cinematica" di un terremoto consta dei seguenti parametri: ampiezza e frequenze dominanti (e conseguenti accelerazioni), associate al parametro tempo (durata delle frequenza dominanti) per definirne l'effetto cumulativo.

Questi parametri confluiscono nello "spettro sismico", cioè nella funzione amplificazione dinamica dell'accelerazione a cui è sottoposta durante il sisma una struttura ad un grado di libertà. Un generico terremoto è quindi riprodotto nei suoi effetti allorché è riprodotto il suo spettro, qualunque sia l'andamento nel tempo dell'oscillazione impiegata per riprodurlo.

Con le prime due macchine sopra descritte (pendolo e vibratore elettromagnetico) si era in grado di applicare alla piattaforma oscillazioni sinusoidali smorzate di caratteristiche sufficientemente controllate. La ripetizione di queste azioni sulla piattaforma a diverse

frequenze consentiva di coprire il campo degli "spettri" sismici ritenuti probabili; tuttavia, nella pratica attuazione, la presenza di smorzamenti variabili nel corso delle prove e di modificazioni della risposta strutturale conseguenti a fenomeni di degrado indotti dalle sollecitazioni applicate, rendeva piuttosto difficoltosa sia una corretta scelta delle caratteristiche dell'eccitazione, sia la definizione delle caratteristiche dinamiche della struttura, e quindi una corretta interpretazione dei risultati.

In generale, le prove venivano condotte applicando successivamente l'eccitazione dinamica in tre diverse direzioni: longitudinale monte – valle, longitudinale parallelo alla corda (terremoti "ondulatori"), verticale (terremoto "sussultorio").

L'impiego della vibrodina fa compiere alle tecniche sperimentali in campo dinamico un notevole progresso: si possono applicare al modello in prova oscillazioni perfettamente sinusoidali di ampiezza costante e di durata sufficiente a far ritenere stazionario il moto ad una data frequenza, e – facendo variare lentamente la frequenza delle oscillazioni stesse – è possibile esplorare in una sola prova tutto il campo di frequenza d'interesse, e ottenere quindi una vera e propria "curva di risposta" della struttura dalla quale è facile ricavare tutti i parametri (frequenze proprie, forme dei modi vibrare e smorzamenti relativi) che ne caratterizzano completamente il comportamento dinamico. Una volta noti questi parametri, si possono poi ricavare – per via di calcolo – le risposte strutturali a una qualsiasi azione dinamica nota. Anche la prova a rottura ne guadagna in facilità di esecuzione ed in significatività: l'eccitazione variabile in frequenza mette direttamente in evidenza le variazioni delle caratteristiche della struttura sotto l'effetto dei carichi e le risposte strutturali sono più facilmente interpretabili.

Al giorno d'oggi, con la disponibilità di attuatori elettroidraulici servocomandati in grado di riprodurre oscillazioni di carattere aleatorio con caratteristiche prefissate, e quindi di riprodurre con estrema precisione anche gli oscillogrammi registrati di un terremoto reale, o di sintetizzare un oscillogramma avente un determinato spettro prefissato - l'applicazione di questi metodi appare piuttosto rudimentale: peraltro, non risulta dalla letteratura disponibile che –almeno sino alla fine degli anni '50 e anche oltre– esistessero laboratori attrezzati con apparecchiature più sofisticate.

A questo proposito, vale la pena di ricordare che la già citata memoria di Oberti e Lauletta "Dynamic tests on Models of Structures" è tra le prime in ordine di tempo ad illustrare le metodologie sperimentali prima descritte nel campo della dinamica strutturale, e la prima a riferire su prove su modello portate sino a rottura. Infatti, anche nei Proceedings del Simposio Giapponese di Ingegneria Sismica del 1962 si presentano lavori in cui l'eccitazione dinamica viene ancora applicata mediante pendoli [5], vengono però anche illustrate prove eseguite su strutture al vero mediante vibrodina, e con eccitazione

transitoria ottenuta mediante il taglio di un cavo con cui la struttura era stata inflessa [6] previamente.

Per quanto riguarda la sperimentazione sui modelli, dopo la fase di determinazione dei parametri dinamici della struttura, ricavabili dal suo comportamento in campo elastico, lo studio poteva venire esteso al comportamento oltre il campo elastico e fino alla rottura del modello. Determinata la frequenza di risonanza principale, il modello veniva sottoposto ad eccitazione stazionaria a tale frequenza, incrementata via via, quanto ad intensità, fino ad ottenere estesi fenomeni di fessurazione, o fino ad incipiente collasso. Evidentemente, se si volevano studiare fino a rottura gli effetti di terremoti agenti in direzione monte-valle rispetto al corpo della giga, o in direzione della corda, o –ancora– terremoti "sussultori", venivano costruiti più modelli dalle stesse caratteristiche.

Poiché al di là del limite elastico non vale più il principio di sovrapposizione degli effetti, questi modelli "ad oltranza" non solo devono essere realizzati con materiali speciali, in grado di riprodurre nel corretto rapporto di similitudine, tutte le caratteristiche del materiale reale che ne influenzano il comportamento fino a rottura, ma occorre anche riprodurre simultaneamente le principali azioni agenti sulla struttura, cioè il peso proprio, il carico idrostatico, le forze d'inerzia dovute al moto sismico.

In funzione quindi delle caratteristiche della struttura in prova e della scala geometrica in cui il suo modello viene realizzato, è necessario di volta in volta studiare idonei materiali che rispettino il più correttamente possibile i valori dei rapporti di similitudine. In particolare, per i modelli delle dighe si sono studiati impasti di gesso con litargirio, barite ed altri opportuni additivi in grado di incrementare la densità del materiale modello. Per riprodurre l'acqua di invaso, si utilizzano soluzioni saline sature, per avere densità superiori anche di oltre il 40% a quella dell'acqua.

Mediante l'utilizzo della vibrodina vengono studiate dall'Ismes, attraverso prove su modelli, numerose dighe: Ambiesta (Friuli), nel 1955, Kurobe (Giappone) nel 1958, Soledad e Santa Rosa (Messico) e Dez (Iran) nel 1959, Granèarevo (Jugoslavia) nel 1960, El Novillo (Messico) nel 1961.

A conferma della posizione d'avanguardia tenuta dall'ISMES in questo campo, si sottolineano – ad esempio - i casi della diga giapponese di Kurobe, studiata in Italia e non in Giappone, paese sismico per eccellenza, e della diga iraniana del Dez, i cui modelli vennero studiati per incarico della Resources and Development Co. di New York. Anche altre strutture, oltre alle dighe, vennero provate su modello all'ISMES in quegli anni sulla tavola vibrante: tra queste si citano la Cattedrale di S. Mary a San Francisco[7], gli arditi viadotti sul fiume Lao[8] e sul torrente Stupino [9] dell'autostrada Salerno – Reggio Calabria, il ponte sospeso sul Bosforo.

La vibrodina venne usata intensivamente, in quegli anni ma anche ai



Fig. 2 – Immagine del modello della diga di Ambiesta

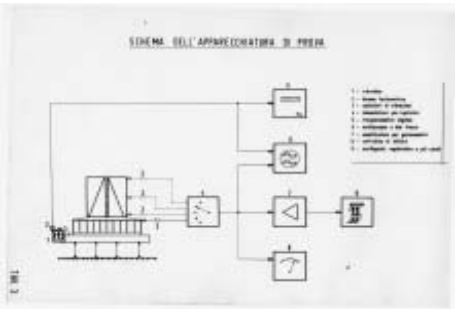


Fig. 3 – Schema di apparecchiatura per prova con vibrodina

nostri giorni, per l'effettuazione di numerosissime prove di caratterizzazione dinamica sulle più svariate tipologie di strutture al vero, dai prefabbricati civili ed industriali, ai ponti ferroviari e autostradali, agli edifici monumentali, alle strutture di contenimento dei reattori nucleari.

Altre prove dinamiche eseguite in quegli anni –alle quali l'ing. Lauletta prese parte attiva nella conduzione e nell'interpretazione dei risultati– riguardano costruzioni massicce, e quindi di non agevole calcolazione, quali le fondazioni per turboalternatori[10]. In questo caso non vengono effettuate prove a rottura (queste strutture non possono essere sottoposte a sforzi così intensi da farne temere il collasso), ma per determinarne il comportamento dinamico in campo elastico. Allo scopo si utilizzano eccitatori di oscillazioni sinu-soidali a frequenza variabile, appesi a telai esterni, il cui equipaggio mobile viene fissato –successivamente– a vari punti della struttura in prova. Si determinano così le frequenze fondamentali (e i modi di vibrare corrispondenti) della struttura stessa. Ovviamente, queste frequenze devono essere lontane da quelle operative degli alternatori posti sulla fondazione, per evitare fenomeni di risonanza che ne potrebbero danneggiare il funzionamento.

In questo periodo è compito dell'ing. Lauletta progettare e coordinare tutte le attività necessarie allo svolgimento delle prove nel loro insieme, sia statiche, sia dinamiche: dalla scelta delle scale del modello, all'allestimento del "test rig", alla definizione dei materiali e degli strumenti di misura, all'effettuazione delle prove e alla valutazione dei risultati, con la stesura della relazione di prova.

A questo proposito, si deve sottolineare che spesso anche gli strumenti di misura dovevano essere progettati e costruiti ad hoc, come avviene –ad esempio– per gli strumenti per la misura delle deformazioni globali (frecce di inflessione) nei vari punti del modello, costituiti da sottili lamine d'acciaio temperato incastrate ad un'estremità ad un telaio esterno fisso, con l'altra estremità inflessa dagli spostamenti del model-

lo: in prossimità dell'incastro un estensimetro a resistenza elettrica legge le deformazioni unitarie della lamina, da cui si risale alle deformazioni globali del punto in cui la lamina stessa è fissata al modello.

Nello stesso periodo l'ing. Lauletta mette a punto anche altri strumenti di misura per applicazioni speciali, come misure di deformazioni unitarie all'interno di modelli massicci, e misure di deformazione in regime elasto-plasto-viscoso[11].

Nel frattempo, lo sviluppo dell'elettronica procede a grandi passi: apparecchiature sempre più sofisticate consentono un miglior controllo del moto, e la generazione di onde con andamento "random", cioè aleatorio, sia per quanto riguarda le ampiezza, sia per quanto riguarda le frequenze: si può allora generare una vibrazione che riproduce con grande precisione quella di un'onda sismica, ad esempio registrata durante un reale terremoto. Poter disporre di una piattaforma vibrante in grado di muoversi con gli stessi movimenti generati da un sisma costituirebbe pertanto un formidabile strumento per la verifica diretta del comportamento sismico di una struttura.

È a questo che pensa l'ing. Lauletta già nei primi anni '60, e, con la collaborazione dell'ing. Aldo Castoldi mette a punto in quegli anni la piccola tavola vibrante illustrata nella memoria "Un tavolo vibrante per prove random" pubblicata su Tecnica Italiana, anno XXXII, n. 6 del giugno 1967, raccolta poi nella pubblicazione ISMES n. 34[12], alla quale si rimanda per tutti i dettagli tecnici.

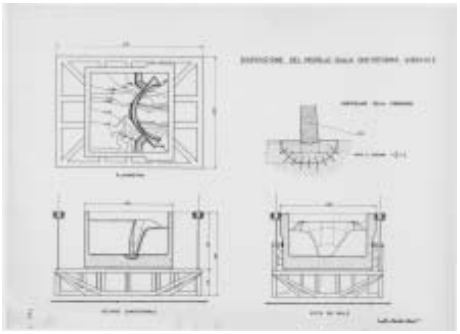


Fig. 4 – Disposizione di modello sulla piattaforma vibrante

Qui vale la pena di richiamare per sommi capi le principali caratteristiche dell'impianto, che ne fanno una realizzazione all'avanguardia per i tempi.

L'azione dinamica, che può essere sinusoidale o random di caratteristiche prefissate, è generata da due eccitatori elettrodinamici agenti in "push-pull", collegati ad una piastra in magnesio che scivola su un velo d'olio pompato in corrispondenza della sua faccia inferiore, sopra una superficie liscia di granito. Con questo dispositivo si ottiene un grande irrigidimento della piastra (che non viene così deformata né dal moto del modello in prova né da frequenze proprie della piastra stessa, il che altererebbe le caratteristiche sia del moto impresso, sia della risposta), mentre il suo peso rimane molto contenuto.

Un sistema di equalizzazione corregge gli eventuali scostamenti del moto effettivo della piastra, provocati dalle reazioni trasmesse dal modello in prova (reazioni che variano nel tempo in funzione della risposta del modello stesso), rispetto a quello imposto, così da mantenerne le caratteristiche prescelte.

Questa tavola vibrante, limitatamente ad una sola direzione per volta, consente una corretta applicazione alle strutture modello in prova della azioni orizzontali provocate da un terremoto reale, e quindi permette una precisa determinazione del comportamento sismico della struttura .

Il perfetto funzionamento di questa piccola tavola "pilota" (dimensioni 50 x 50 cm) ha consentito la progettazione e l'allestimento di una tavola vibrante di grandi dimensioni (200 x 250 cm) mossa da due eccitatori elettrodinamici da 50 kN di forza complessiva[13], costruita sugli stessi principi. Questa tavola, entrata in funzione nel 1968, verrà utilizzata sin verso la fine degli anni '90.

Su questa tavola sono state effettuate, oltre a svariate altre prove su modello, quali la diga di Ta-Chien [14], il ponte sospeso sul Bosforo [15], il contenitore del reattore nucleare PEC[16] numerosissime prove di qualifica e di funzionalità su prototipi delle più disparate apparecchiature, quali interruttori, sezionatori, trasformatori per impianti elettrici tradizionali e nucleari, sistemi d'arma, parti di velivoli e di autovetture, e così via[17].

Solo vari anni dopo l'entrata in funzione di questa tavola, cioè verso la metà degli anni '80, il continuo progresso dell'elettronica e lo sviluppo di sistemi di controllo sempre più sofisticati consentirà la progettazione e la realizzazione di tavole vibranti elettroidrauliche, mosse cioè da una serie di attuatori idraulici (pistoni) servocomandati, in grado di impartire alla piattaforma movimenti a sei gradi di libertà. Con questi impianti si possono quindi riprodurre simultaneamente le tre componenti traslazionali e le tre componenti rotazionali del moto di un corpo rigido, con ciò descrivendone completamente tutte le possibili caratteristiche, il che consente di modellare con la massima precisione tutte le componenti del moto generato da un sisma reale.

Di una tale piattaforma, delle dimensioni di 4 x 4 m, capace di carichi fino a 500 kN, l'ISMES si sarebbe dotata nel 1986, anche in questa occasione tra i primi laboratori in campo internazionale, a disporre di attrezzature così sofisticate.

[1] *Esperienze dinamiche su modelli della diga di Ambiesta*, rapporto ISMES n. 172, maggio 1957 (ACS 72).

[2] ISMES: 1° Decennale (1951-1961).

[3] G. Oberti, E. Lauletta, *Dynamic tests on Models of Structures*, Proceedings of the 2nd W.C.E.E. (World Conference on Earthquake Engineering), vol. II, Tokyo – Kyoto, 1960.

[4] Si vedano ad esempio i rapporti ISMES n. 172 (già citato): *Esperienze dinamiche su modelli della diga di Ambiesta*, maggio 1957 (ACS 72), e n. 222: *Diga del Dez – Esperienze dinamiche su modelli*, febbraio 1959 (ACS 124).

[5] M. Hatanaka, *Experimental Studies on the Earthquake Resistant Properties of the Prestresses Concrete Shell Type Breakwater*. Proceedings of Japan National Symposium on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 1962.

[6] S. HAYASHI, N. MIYAJIMA, *Dynamic lateral load tests on steel H-piles*. Proceedings of Japan National
Symposium on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 1962.
[7] *Cattedrale di S. Francisco – Esperienze dinamiche su modello elastico*, pratica ISMES n. 502, ottobre 1965 (ACS 409).
[8] *Esperienze dinamiche su modelli del viadotto sul fiume Lao*, pratica ISMES n. 575, marzo 1967 (ACS 482).
[9] *Esperienze dinamiche sul viadotto sul torrente Stupino*, pratica ISMES n. 518, marzo 1966 (ACS 425).
[10] Si veda ad esempio la pratica ISMES n. 437: *Esperienze dinamiche su modello per lo studio delle caratteristiche vibratorie della fondazione di un turboalternatore*, agosto 1964 (ACS 344).
[11] E. LAULETTA, *Communication sur deux appareils de mesure pour modèles statiques de barrages*. Commission Internationale des Grands Barrages, 5me Congrès des Grands Barrages, Paris, 1955. Pubblicazione ISMES n. 4: "Contributi al 5° Congresso "Des Grands Barrages", Parigi, 1955.
[12] E. LAULETTA, A. CASTOLDI, *Un tavolo vibrante per prove sismiche*. Pubblicazione ISMES n. 34, settembre 1967.
[13] E. LAULETTA, A. CASTOLDI, *Earthquake Simulation by a Shake Table*. 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago (Chile), 1969. Pubblicazione ISMES n. 48, Dicembre 1970
[14] Pratica ISMES n. 673: *Relazione sulle prove dinamiche su modelli della diga di Ta-Chien*, gennaio 1969 (ACS 585).
[15] *Static and dynamic tests on the model of the Bosphorus bridge (for the Ministry of Public Works, Ankara, Turkey)*, pratica ISMES n. 773, luglio 1970 (ACS 686).
[16] Pratica ISMES n. 728: *Prove dinamiche sul contenitore del reattore PEC*, ottobre 1969 (ACS 641).
[17] Si vedano, ad esempio, le pubblicazioni ISMES: n. 84 – L. BACCARINI, M. CAPRETTO, M. CASIRATI, A. CASTOLDI, *Seismic qualification tests of electric equipment for Caorso nuclear plant: comments on adopted test procedure and results"*, Settembre 1976, e n. 74 – A. CASTOLDI, M. CASIRATI, *Experimental techniques for the dynamic analysis of complex structures"*, febbr. 1976.

Carla M. Kovsca Colani

Enzo Lauletta: la modellazione fisica e l'approccio dello studio di grandi strutture presso l'ISMES, Istituto Sperimentale Modelli e Strutture



Fig. 1 - Enzo Lauletta 1953



Fig. 2 - Arturo Danusso ed Enzo Lauletta Sopralluogo sui modello di una diga 1954

La breve presentazione della vita e delle opere di Enzo Lauletta è strettamente connessa con la nascita e l'evoluzione dell'ISMES. La sua carriera professionale nasce infatti insieme alle prime grandi opera di modellazione fisica e allo sviluppo delle moderne tecnologie di ingegneria strutturale e di scienze dei materiali. La sua passione per la sperimentazione scientifica e tecnica era manifesta fin dagli anni trascorsi al Politecnico di Milano. Nella compilazione della *Scheda del Laureato* dichiarò di preferire come attività: "*studi teorici e teorico-sperimentali su qualsiasi problema elettrotecnico da svolgersi in Italia e all'Estero*". Dopo la laurea in Ingegneria Industriale sezione di Elettrotecnica, conseguita con ottimo risultato il 23 maggio 1952, fu assunto all'Ismes di Bergamo dove affiancò il presidente dell'Istituto Arturo Danusso e il direttore tecnico Guido Oberti, realizzando il suo desiderio iniziale. Il rapido inserimento in questa promettente realtà di ricerca sperimentale, venne favorita, secondo la testimonianza di Emanuele Fumagalli, che faceva già

parte nel 1951 del primo nucleo di dirigenti dell'Ismes, dal prof. Bottani, del Politecnico di Milano. In quegli anni di ricostruzione post bellica Bottani svolgeva il ruolo di Commissario per l'assegnazione dell'Energia Elettrica.

In un primo tempo il suo originale contributo nell'ISMES si esplicò nel perfezionare ed inventare nuove l'applicazione di sistemi elettronici adatti ad analizzare il comportamento dinamico di una struttura sia essa semplice o complessa. Durante i primi anni di lavoro all'Ismes si occupò della sperimentazione e costruzione di nuove apparecchiature elettroniche da applicarsi alle prove sui modelli fisici, quali: a) un tipo di estensimetro per misurazioni all'interno dei modelli; b) un'apparecchiatura di registrazione in funzione del tempo di 6 fenomeni simultanei (applicazione particolare degli estensimetri a filo resistente).

La relazione apparve nel N. 4 delle pubblicazioni ISMES -1956- con il titolo: *Communication sur deux appareils de mésure pour modèles statiques de barrages* (Due apparecchi di misura per modelli statici di dighe) *Commission International des grands barrages de la Conférence Mondiale de l'Energie* (Cinquième Congres des grands Barrages, Paris, 1955). Ben presto vennero svolte prove dinamiche su modello di numerose dighe italiane e straniere e si poterono affrontare sperimentalmente le situazioni di prove ad oltranza per garantire il massimo coefficiente di sicurezza a strutture complesse quali grattacieli, gallerie, ponti, viadotti, autostrade, ecc.



Fig. 3 - Colombo e Lauletta 1959

Le prime prove dinamiche su diga furono applicate al modello della diga di Ambiesta (1957), ed anche il grattacielo Pirelli venne "pizzicato"[1] nei laboratori di Bergamo, con la supervisione di Arturo Danusso e Pier Luigi Nervi. Nello stesso periodo 1954-55, Lauletta divenne assistente volontario di Guido Oberti presso il Politecnico di Torino nel Dipartimento di Scienza delle Costruzioni. Gli venne rinnovato l'incarico fino all'anno accademico 1966-67. Il suo impegno si configurò sempre come prestazione gratuita, e ricevette il riconoscimento dovuto solo post mortem.

La complicata vicenda è stata oggetto di approfondita ricerca, che ha rilevato come i ripetuti tentativi di conseguire la libera docenza in Scienza delle Costruzioni non abbiano avuto esito favorevole. Il direttore del MIUR, Antonello Masia[2], interpellato per poter svolgere indagini presso gli archivi romani, ha fornito una dichiarazione scritta di non sussistenza di atti provanti il conferimento di tale riconoscimento. Tuttavia le affermazioni contenute nei Verbali del Consiglio di Amministrazio-

ne dell'Ismes del 30 marzo 1971, dove si ricorda il compianto direttore dell'Istituto "prof. Enzo Lauletta", e altre testimonianze attendibili: ing. Mario Casirati e arch. Giuseppe Gambirasio indicano come assodata la sua meritata promozione accademica.

Dal progredire delle indagini teoriche svolte con Guido Oberti e dalle speri-mentazioni dinamiche su modello applicate ad oltre cinquanta grandi strutture, sono scaturite diverse relazioni scientifiche presentate a convegni internazionali tra i quali ricordiamo in particolare:

- G. Oberti, E. Lauletta, *Dynamic tests on models of structures*. Paper presentato alla seconda Conferenza Internazionale di Ingegneria Sismica a Tokyo, Luglio 1960, in ISMES 19, Luglio 1962.

- G. Oberti, E. Lauletta, *Evaluation criteria for factors of safety*. Model test results. Paper presentato al Simposio sui " Concrete Dam Models", Lisbona, Ottobre 1963, in ISMES 25, Ottobre 1964.

All'epoca erano i primi scritti che spiegavano le nuove metodologie scientifiche e tecniche condotte nei laboratori dell'SMES. Oggi possono ancora ritenersi dei classici dell'ingegneria strutturale applicata.

Enzo Lauletta svolse il ruolo di capo cordata, in sintonia con le sue doti di alpinista, nel percorso teorico sperimentale nella sismologia e nello sviluppo dell'ingegneria strutturale dinamica, come si può leggere nel saggio presentato a questo convegno da Mario Casirati: "*L'ing. Lauletta e le prove sperimentali in campo dinamico*"[3]; fu, inoltre, il coordinatore del primo Corso di Ingegneria Sismica, svoltosi dal 1967 al 1969 al Politecnico di Milano e all'ISMES di Bergamo, come Master post laurea patrocinato dall'UNESCO e dal Consiglio Nazionale della Ricerca.

Altri scritti composti con Aldo Castoldi completano il profilo d'avanguardia di questo giovane ingegnere che sostenne insieme all'ing. Emanuele Fumagalli[4] il ruolo di direttore dell'Ismes dal 1964 al 1971.

- E.Lauletta, A. Castoldi, U*n tavolo vibrante per prove "random"*, in ISMES 34, Bergamo, Settembre 1967.

- E. Lauletta, A. Castoldi, *Dynamic tests on models of PEC nuclear reactor containment building*, Roma Comitato Nazionale per l'energia nucleare, Divisione Affari Internazionali e Studi economici, Ufficio edizioni scientifiche, 1969.

- E. Lauletta, A. Castoldi, *Earthquake simulation by a shake table*, in ISMES 48, Bergamo, December 1970.

- E. Lauletta, A. Castoldi, *Il comportamento dinamico dei ponti sospesi studiato a mezzo di modelli*, in ISMES 52, Bergamo, Ottobre 1972.

Shell Structures: strutture a volte sottili o a guscio

Il contributo più originale del nostro autore, si realizzò tuttavia in un ambito privilegiato, quello dello studio sperimentale delle strutture a volta sottile o a guscio, tecnicamente *Shell Structures*. La collaborazione più importante è sta-



Fig. 4 - Nervi, Lauletta e Colombo in Ismes 1964

ta senza dubbio quella con Pier Luigi Nervi; si protrasse dal 1955 al 1970.

Le opere più interessanti, realizzate grazie all'ausilio dei modelli e delle prove dinamiche strutturali svolte nei laboratori ISMES, sono un esempio di ingegneria ad alto risultato artistico. Ricordiamo qui solo le più famose:

- Il grattacielo Pirelli a Milano,
- la cattedrale di S. Mary a S. Francisco, California,
- la copertura a volta sottile dell'Aeroporto di Newark in New Carolina,
- i grattacieli di Montreal,
- la coperture a volta sottile del Centro Culturale di Norfolk,
- la nuova sala delle udienze del Papa, detta Sala Nervi in Vaticano.

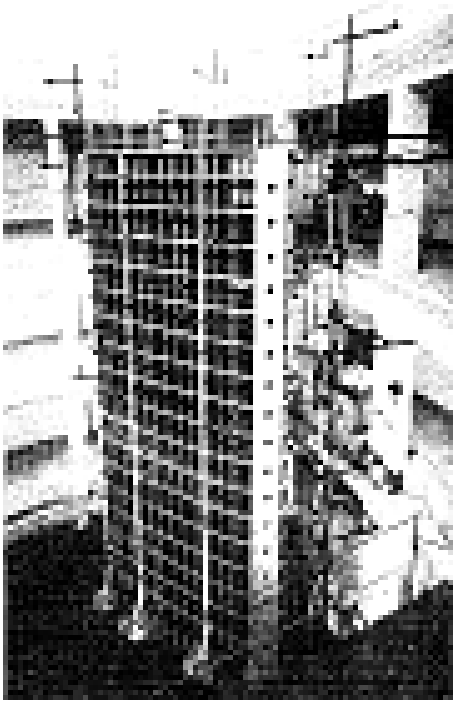


Fig. 5 - Modello del grattacielo Pirelli nella torre Isme

Va rilevato che nell'ambito dell'architettura italiana e della progettazione strutturale, l'utilizzo delle *Shells Structures* rimase molto più limitato rispetto alle esperienze spagnole, portoghesi e tedesche delle stesse periodo[5], ma era appunto la possibilità di disporre d'ingegneri strutturisti che potessero svolgere calcoli complessi perfettamente, allora, la caratteristica fondamentale che distingueva i professionisti esperti. Enzo Lauletta perciò, rappresenta un grado d'eccellenza italiana in questo senso.

I suoi contributi teorici più importanti sono stati:

- E. LAULETTA, *Statics of Hyperbolic Paraboloidical Shells studied by means of models Amsterdam*, North-Holland Publishing Company, 1961 in: "Shell Research. Proceeding of the Symposium on shells research, Delft, 30 Agosto- 2 Settembre 1961.

- E. LAULETTA, *Osservazioni sulla statica delle volte sottili e paraboloide iperbolico,* Congresso ANDIL, Venezia, 1965.

- E. LAULETTA, *Osservazioni sulla statica delle volte sottili a paraboloide*

iperbolico, in ISMES 35, Bergamo, Novembre 1967.

Altre collaborazioni come consulente strutturista si sono realizzate con gli architetti Giuseppe Gambirasio e Vito Sonzogni. Ricordiamo in particolare il progetto della Villa di Adro (BS), un esempio di architettura integrata degli anni Sessanta, dello studio associato Gambirasio-Zenoni, con l'uso di paraboloide iperbolico per un edificio che si regge su due pilastri che fungono anche da veicolo dei cavi degli impianti tecnologici.

Ancora con Giuseppe Gambirasio realizzò il deposito tessile della Perolari, e un capannone industriale per la società belga Bekaert, con un'area a piena luce per manovre di grossi camion al coperto, sempre usando volte sottili, rette in questo caso da un solo pilastro.

La sua particolare capacità di risolvere rapidamente e con geniale intuizione problemi di carattere strutturale si confermò nel corso della realizzazione della Chiesa parrocchiale di Castro (BG) progettata da Vito Sonzogni, in continuità con altre due realizzazioni di chiese con volte a paraboloide iperbolico in calcestruzzo, a Zogno e a Monterosso (BG), ad essa consanguinee.

Durante la fase di calcolo dei cementi armati, il sottosuolo che doveva ospitare le fondazioni della chiesa, nel centro storico del paese, si rivelò di portanza zero, condizione che allarmò sia il parroco promotore dell'opera, sia il progettista Così ricorda lo stesso Vito Sonzogni: "*Con la calma che era propria di Lauletta, con la sua irriducibile fiducia nella possibilità di trovare sempre soluzioni alternative a quelle preventivate e con un vero colpo di genio, in una sola seduta risolse il problema che appariva insolubile e con gravi conseguenze burocratiche, economiche e di immagine. Considerato che il progetto prevedeva in pianta, per un gioco di ellissi ruotati, una figura mediamente circolare, immaginò di posare l'intero edificio da costruire sopra una sorta di grande zattera, vasta come l'intera pianta dell'edificio, formata da una corona circolare periferica larga tre metri e alta quattro, ispezionabile, chiusa in sommità da un solettone sul quale radicare l'edificio nella sua interezza. Per stabilizzare il tutto previde una cupola ipogea scavata nel cuore dello zatterone in modo che il terreno quasi liquido, venisse imprigionato e compresso acquisendo portanza. Una sorta di grande scodella capovolta affondata nel terreno molle. E infine concluse a voce: -Se proprio questa chiesa vorrà muoversi, si muoverà pure ma tutta insieme, navigando sul terreno quasi liquido senza arrecare danni, fessurazione o cedimenti alle parti dell'intero sistema- chiesa. Per capire meglio come dominasse con maestria il comportamento degli sforzi dentro le strutture, devo aggiungere che sullo zatterone appoggiò anche il campanile controbilanciandolo con il peso dell'abside che si elevava sopra il paraboloide di copertura*".

La vita e l'opera di Lauletta si conclusero prematuramente a Roma il 2 marzo 1971, al ritorno da un viaggio in Africa. Questo episodio ricordato da un

amico e compagno di università: Mario Ghezzi, chiude a mo' di elogio questo breve tracciato biografico[6].

"*Mi è stato riferito che, poco prima della morte, si era sentito male su un volo aereo di ritorno da un viaggio di lavoro in Africa. Mi vien quasi da immaginare che il suo ultimo progetto sia stato quello del calcolo delle strutture di un bel ponte di transito tra la terra e il cielo, un progetto che sarebbe piaciuto a Theillard de Chardin, il gran gesuita francese che sviluppò la filosofia moderna della speranza cristiana*."

[1] "*Lauletta ha "pizzicato" il grattacielo per vedere il periodo di oscillazione della struttura*." Espressione utilizzata da Renato Colombo, collaboratore di fiducia di Guido Oberti, che iniziò a lavorare nel Laboratorio Prove e Modelli del Politecnico di Milano nel 1944, e divenne il primo dipendente assunto in Ismes nel settembre 1951. La testimonianza di Colombo come quelle di diversi amici e dipendenti dell'Ismes, è stata fondamentale per ricostruire la biografia di Enzo Lauletta. Se non avessi potuto consultare l'Archivio Storico tecnico della Società ISMES, dove sono conservate tutte le relazioni riconducibili allo specifico ruolo dell'ing. Lauletta, solo le conversazioni orali avrebbero costituito la base per la stesura del suo profilo biografico-scientifico.

[2] Negli anni sessanta era possibile conseguire la libera docenza nelle diverse discipline accademiche presentando domanda ad un'apposita Commissione Ministeriale a Roma alla quale venivano sottoposti i contributi scientifici e successivamente gli aspiranti venivano convocati per tenere una dissertazione pubblica, simulando una lezione accademica di circa un'ora e mezza.
Resta probabile che anche l'iter svolto da Enzo Lauletta, sia ancora reperibile presso il Politecnico di Torino, dove svolse tutta la sua carriera accademica, tuttavia dovendo basarci solo su quanto accertato con sicurezza restano ancora molte domande senza risposta.

[3] Questo saggio è fondamentale per completare il quadro storico scientifico delle attività d'avanguardia che si svolgevano all'Ismes negli anni Cinquanta-Sessanta e il ruolo di protagonista dell'ing. Lauletta nella loro evoluzione.

[4] Nel Verbale del Consiglio di Amministrazione dell'Ismes del 23 ottobre 1964 si ratifica il cambiamento alla direzione dell'Istituto: Pier Luigi Nervi resta Presidente della società, Guido Oberti lascia il ruolo di Direttore e diventa Consulente Tecnico per problemi speciali e Direttore del Comitato Scientifico; Emanuele Fumagalli e Enzo Lauletta diventano Condirettori con eguali poteri, ma diversa applicazione nei compiti specifici: Fumagalli si occuperà maggiormente della direzione del settore prove materiali e di prove su modelli statici, Lauletta dirigerà il settore prove dinamiche.

[5] Lauletta fornì in ambito italiano i più importanti contributi teorico sperimentali sull'utilizzo del paraboloide iperbolico in architettura, avviò la partecipazione dell'Ismes alla collaborazione internazione con la IASS, *International Association of Shell Structures*, fondata da Eduardo Torroja nel 1959, nella quale Guido Oberti e il Comitato Scientifico dell'Ismes mantennero un ruolo di preminenza fino alla fino del XX° secolo.
Ricordiamo in particolare il recente Convegno Internazionale IASS, svoltosi nel 1995 a Milano: *Spatial Structures: Heritage, Present, and Future,* edito da Gian Carlo Giuliani, dove l'ISMES ha contribuito come ente organizzatore.

[6] La sintesi biografica di Enzo Lauletta è scaturita dal testo: *Profilo biografico-scientifico dell'ing. Vincenzo Lauletta (1927-1971)*, vincitore del 1° Premio "Luigi e Sandro Angelini" indetto dall'Ateneo di Scienze Lettere ed Arti di Bergamo nel 2004, in corso di pubblicazione.

Tullia Iori

L'Autostrada del Sole

Il giorno dell'inaugurazione dell'Autostrada del Sole, il 4 ottobre 1964, l'ingegneria italiana raccoglie il plauso dell'intera comunità internazionale. L'eco dell'impresa costruttiva, condotta in poco più di otto anni, raggiunge ogni angolo del mondo e segna il culmine di una sequenza di successi: gli impianti per le Olimpiadi romane del 1960 di Pier Luigi Nervi sono stati pubblicati sulle più autorevoli riviste tecniche, così come le megastrutture per l'esposizione del Centenario dell'unità nazionale, Torino '61; Riccardo Morandi ha progettato il ponte più lungo del mondo, sulla laguna di Maracaibo, e la notizia è arrivata fin sulle prime pagine dei quotidiani; nell'estate del 1964, al Museum of Modern Art di New York, si è svolta la mostra "Twentieth Century Engineering" che, oltre alle opere di Nervi e Morandi, ha esposto, in una selezione internazionale di capolavori di ingegneria strutturale del Novecento, opere di Silvano Zorzi, di Franco Levi, di Carlo Cestelli Guidi, di Arrigo Carè e Giorgio Giannelli, oltre ad alcuni dei più bei viadotti, appunto, dell'AutoSole.

L'Italia, con il territorio distrutto dalla guerra mondiale, tecnologicamente arretrata, con l'apparato industriale messo a dura prova dalle utopie autarchiche, priva di risorse e materie prime, a distanza di appena vent'anni dalla liberazione è riconosciuta come una autorità nel settore dell'ingegneria strutturale. Non sarebbe corretto definirlo un miracolo, analogo a quello economico: è piuttosto il frutto di una Scuola antica, arricchita da maestri di insolito livello, addestrati dai rigori del fascismo, temprati dall'esilio durante l'occupazione nazista, capaci di combinare la disciplina dei matematici con l'operatività degli sperimentatori e con il coraggio dei costruttori[1].

È il meritato successo, tra l'altro, di Gustavo Colonnetti: è lui, infatti, con il ruolo di presidente del CNR dal 1944 al 1956, che promuove una politica di sviluppo della ricerca nella direzione delle grandi strutture. Dopo aver tentato già prima della guerra di trasferire anche in Italia le sperimentazioni sul cemento armato precompresso avviate oltralpe, durante la ricostruzione stimola, con il "Centro di studio sugli stati di coazione elastica" appositamente istituito a Torino, le ricerche verso questa nuova potente combinazione di cemento e acciaio. Intorno a Levi, suo allievo e direttore effettivo di quel Centro, si ritrovano molti degli ingegneri più intraprendenti del panorama italiano: alcuni, come Zorzi, hanno appreso i principi base della precompressione direttamente da Colonnetti in Svizzera, nei lunghi mesi di esilio durante i quali il professore torinese ha organizzato dei

veri e proprio corsi universitari.

È proprio un ingegnere del Politecnico di Torino, il ministro dei Lavori Pubblici Giuseppe Romita[2] , a firmare il più ambizioso programma pubblico di costruzione del dopoguerra, il piano che avvia la creazione di una rete autostradale capace di collegare l'intera penisola. Approvato con la legge 463 del 21 maggio 1955[3], il programma, illustrato da una ben poco dettagliata cartina, prevede la realizzazione delle due dorsali "Sole" e "Adriatica", oltre al tratto di collegamento detto "dei due mari" da Napoli a Bari, alla Salerno- Reggio Calabria e alla Palermo-Catania. Inoltre, stabilisce il raddoppio delle pionieri-stiche tratte autostradali preesistenti la guerra: la Milano-Laghi, prima strada esclusiva per le automobili al mondo, 85 km progettati dall'ingegnere Piero Puricelli (anche lui in esilio in Svizzera durante l'occupazione nazista), inaugurati nel 1924; poi altri brevi segmenti[4], già in origine destinati a potenziare i collegamenti commerciali tra Milano, Torino e Genova ma anche a favorire gli spostamenti nelle gite domenicali.

Di durata decennale (1955-65), il piano Romita si sviluppa praticamente in parallelo con i due settenni del piano Fanfani (1949-63): così come quest'ultimo distribuisce sul territorio centinaia di quartieri INA Casa, occupando manodopera non specializzata e consentendo a tutti gli architetti di lavorare sul tema dell'abitazione, il Romita coinvolge una intera generazione di ingegneri chiamati a collaborare con le più grandi imprese infrastrutturali italiane.

L'obiettivo principe del piano è appunto l'Autostrada del Sole, che collegherà Milano a Bologna, Firenze, Roma, Napoli. Il progetto è già stato elaborato, tra il 1953 e il 1955, da Francesco Aimone Jelmoni, professore del Politecnico di Milano, per conto della SISI (Sviluppo Iniziative Stradali Italiane spa), una "società di studio" cui partecipano ENI, Fiat, Italcementi e Pirelli: si tratta ancora di un tracciato di larga massima, disegnato a scala 1:25000 sulla carta e non verificato sul terreno. Romita si batte affinché la realizzazione sia affidata allo Stato e così la SISI regala il progetto all'IRI: dopo l'approvazione della legge 463, l'IRI costituisce la Società Concessioni Costruzioni Autostrade, che a sua volta incarica l'Italstrade, azienda dello stesso gruppo, di elaborare il progetto definitivo, di nuovo sotto il coordinamento di Jelmoni.

Il 19 maggio 1956, con un "atto di fede" come ricorda Fedele Cova, che di Autostrade sarà l'Amministratore delegato e il Direttore tecnico, si posa il primo cippo chilometrico, a San Donato Milanese[5]. Da lì si snoderanno più di 755 km di strada, in larga parte sostenuti da 400 ponti e viadotti, indispensabili per "livellare" il percorso e per garantire gli ampi raggi di curvatura necessari. Il potenziamento della rete di collegamento stradale, a scapito di quella ferroviaria, scatena fin dalle prime verifiche aspre critiche in molti settori: chiari interessi nell'operazione di alcune potenti famiglie di imprenditori, li-

mitato coinvolgimento degli urbanisti e poca attenzione ai piani territoriali nella redazione del progetto[6], che rimane a lungo misterioso per ridurre i rischi di speculazioni sul territorio, presunta "megalomania" che spinge a realizzare ben due corsie per senso di marcia, considerate dai più del tutto sovradimensionate, oltraggio "al volto panoramico dell'Appennino". Polemiche oggi superate: la maggior parte degli studi storici di carattere economico e sociale affida all'Autostrada del Sole il ruolo di aver "spezzato per sempre un confine non solo fisico … ma anche culturale, creando un'osmosi tra l'Italia delle cento città"[7]. Pur nella consapevolezza dei limiti della politica edilizia e infrastrutturale nel periodo della ricostruzione, non si può non riconoscere alla dorsale Milano-Napoli un ruolo fondamentale anche nello sviluppo dell'ingegneria strutturale italiana.

Dopo l'avvio simbolico dei lavori, la società Autostrade si organizza. I progetti redatti da Italstrade servono di base, già prima della fine del 1956, per le gare di appalto a licitazione privata. Le imprese, che non possono vincere più di un lotto –di norma comprendente da 2 a 5 km di tracciato– per singolo tronco autostradale appaltato, sono tenute alla progettazione esecutiva, che dovrà essere approvata dagli uffici tecnici prima di procedere alla realizzazione. Questo sistema di affidamento degli appalti consente la distribuzione capillare del lavoro: nel solo tratto Firenze-Bologna, circa 85 km di sviluppo, sono coinvolti 27 progettisti di opere d'arte (45 fra ponti e viadotti) e 19 imprese di costruzione, oltre alla società concessionaria che si riserva di eseguire i lavori nella zona di valico.

La progettazione esecutiva delle opere d'arte deve risolvere problemi molto diversi nei tre tronchi principali.

Tra Milano e Bologna, dove il terreno pianeggiante velocizza i lavori (già l'8 dicembre 1958 si aprono i primi due tronchi, Milano-Piacenza Nord da 50km e Piacenza sud - Parma da 52km) i nodi più complessi sono costituiti dall'attraversamento dei grandi fiumi: il Lambro, il Taro, l'Enza, il Panaro e soprattutto il Po. La soluzione preferita è quella isostatica: travi semplicemente appoggiate o schemi Gerber riducono le conseguenze dei cedimenti differenziali così probabili in terreni di fondazione poco consistenti. La tecnica costruttiva, in questo primo tratto, appare obbligata: non essendo il cemento armato ordinario sufficiente per le luci in gioco, il cemento armato precompresso prevale per ragioni economiche e produttive sulle travi metalliche ad anima piena (le uniche per le quali i costi di manutenzione delle strutture metalliche, normalmente elevatissimi, sarebbero mitigati). La scelta del sistema di precompressione è invece legata all'esperienza dell'impresa: per la luce di 58 m della campata centrale del ponte sul Lambro la Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo, che nel 1956 si era aggiudicata i lavori del 2° lotto, sceglie i martinetti e i coni di ancoraggio Freyssinet[8]. Per il ponte sul Taro[9] è, invece, il sistema svizzero

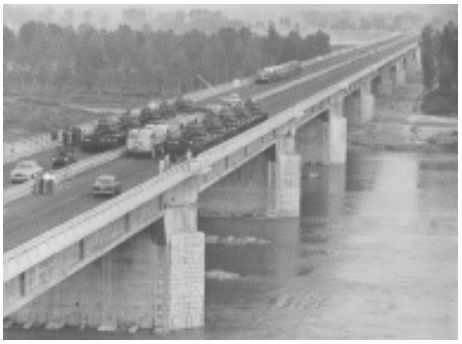


Fig. 1 – Ponte sul Po presso Piacenza (S. Zorzi, 1957-1958)



Fig. 2 – Viadotto sul torrente Gambellato nel tratto transappenninico (G. Krall, 1960)

BBRV ad essere preferito, proprio come per il ponte sul Po.

La realizzazione di quest'ultimo diviene un vero e proprio evento mediatico: iniziato il 3 giugno 1957 dall'Impresa Rizzani[10] , è una struttura a 16 campate di 75 m di luce ciascuna, che Zorzi è costretto, dalle rigide indicazioni del bando, a progettare con travi semplicemente appoggiate accantonando una versione staticamente più complessa -trave continua su tutta la lunghezza (1176 m)- presentata ad una prima gara poi superata. Più volte durante la costruzione del ponte, le telecamere della Rai e dell'istituto Luce sono chiamate a documentare i lavori[11] e il completamento dell'ultima campata è notizia per il telegiornale della sera del 12 marzo 1959[12]: alla fine l'intera vicenda costruttiva diventa soggetto per un cortometraggio[13].

"Una splendida incastellatura di tralicci tubolari in acciaio disposti a ventaglio" è la poetica definizione per la centina: assemblata con tubi da ponteggio tipo Innocenti, fa parte di quel catalogo di marchingegni costruttivi che contribuiscono a riconoscere il carattere artigianale, tipicamente italiano, del cantiere dell'Autosole. Tra questi spiccano, per temerarietà, i Blondin tipo Cruciani a falconi oscillanti, che oltre a servire l'area di lavoro per la distribuzione dei getti sono spesso indispensabili per il varo delle travi e per il disarmo.

Operazione coreografica è infine il collaudo: per il ponte sul Po, il 4 e il 5 giugno 1959, si fanno transitare, in diverso schieramento, 10 carri armari tipo Patton da 44 tonnellate e 20 autocarri. È Levi a dirigere le operazioni: per tutte le opere in cemento armato precompresso l'apposito Ufficio collaudi, istituito nel maggio 1958 per affiancare i direttori dei lavori, si avvale della collaborazione del direttore del "Centro studi sulla Coazione Elastica" (almeno fino al 1961 quando il Centro stesso perde potere presso il Ministero dei Lavori Pubblici).

Mentre il 15 luglio 1959 viene inaugurato solennemente il tratto Milano-Bologna[14], i lavori della Transappenninica sono già a buon punto, pur se le avverse condizioni climatiche fanno

segnare punte record di piovosità. La soluzione per le opere d'arte privilegia ancora il cemento armato, ma questa volta anche ordinario. Sono "gli increduli ed i restii alle novità del precompresso" (unitamente alla grande altezza della livelletta stradale dai fondo valle e alla sufficiente resistenza del terreno) a favorire uno sviluppo sorprendente dei ponti ad arco, ben oltre la luce di 100 m che limita ancora le travate presollecitate.

Guido Oberti progetta gli archi incastrati di 164 m di luce del viadotto sul torrente Aglio[15] , la cui costruzione è facilitata dalla traslazione della centina –ancora una incastellatura tubolare montata dalla "Ponteggi tubolari Dalmine Innocenti"– da un arco al suo gemello (operazione così spettacolare da giustificare il montaggio di un altro cortometraggio) e dall'impiego di due blondins Cruciani di 470 e 400 m di luce; anche Morandi sfrutta le potenzialità di duplice impiego della centina nella realizzazione del grande arco del viadotto sul Sambro così come Giulio Krall che, con questa "primadonna", realizza i ponti sul Gambellato (124 m di luce) e sul Merizzano[16], a due arcate di 87 m l'una, costruiti dalla Ferrobeton e collaudati nel settembre 1960; Carè e Giannelli, invece, adottano la centina brevetto "Cruciani", tutta in legno[17] ma altrettanto spostabile, per i viadotti Poggettone e Pecora Vecchia, centina utilizzata anche da Antonio Martinelli per i tre viadotti Cassiana, Formicaio e Podere Vicchio[18] , ad arco molto ribassato, di spessore sottilissimo, poco armati.



Fig. 3 – Viadotto sul torrente Aglio nel tratto transappenninico (G. Oberti, B. Gentilini, A. Romagnoli, 1957-1959)

La particolare orografia della zona intorno al valico del Citerna è anche l'occasione, unica in tutta l'Autostrada, per l'acciaio che viene impiegato nel viadotto Coretta, a tre luci di circa 63 m ognuna risolte con travi a parete piena alte 4 m, prodotte dalla ILVA e progettate da due suoi tecnici, Fabrizio De Miranda e Carmelo Romani, e nel viadotto Macinaie, a sedi distanziate, a più luci, nel progetto del quale si affiancano De Miranda e Zorzi (che si occupa delle travate di accesso in cemento armato precompresso).

Zorzi progetta inoltre una serie di sei viadotti, tutti uguali, dal Mulinaccia al Goccioloni II, nei quali le travi precompresse sono prefabbricate fuori opera anticipando quella ottimizzazione del cantiere che costituirà la sua principale ricerca negli anni successivi. Progettati da Giacinto Turazza con il suo brevetto, messo in opera dalla Ferrocemento, che prevede l'adozione di acciaio Neptun, i quattro viadotti di Ripoli costituiscono la prima applicazione in Europa di travi precompresse a fili ade-

renti di grande luce (32 m). Il brevetto di precompressione di Morandi è pure presente, ma in progetti di altri, come nei viadotti Torraccia e Ragnaia, per i quali ci si avvale della consulenza del Ce.S.A.P., fondato a questo scopo da Morandi nel 1954. Levi stesso progetta, insieme a Cesare Castiglia, il viadotto Settefonti, con il sistema BBRV, sfruttando il cantiere per sperimentare la messa a punto di una sofisticata tempistica di tesatura dei cavi, combinata con appoggi resi provvisoriamente scorrevoli. È impossibile qui ricor-



Fig. 4 – Viadotti Poggettone e Pecora Vecchia nel tratto transappenninico (A. Carè, G. Giannelli, 1960)

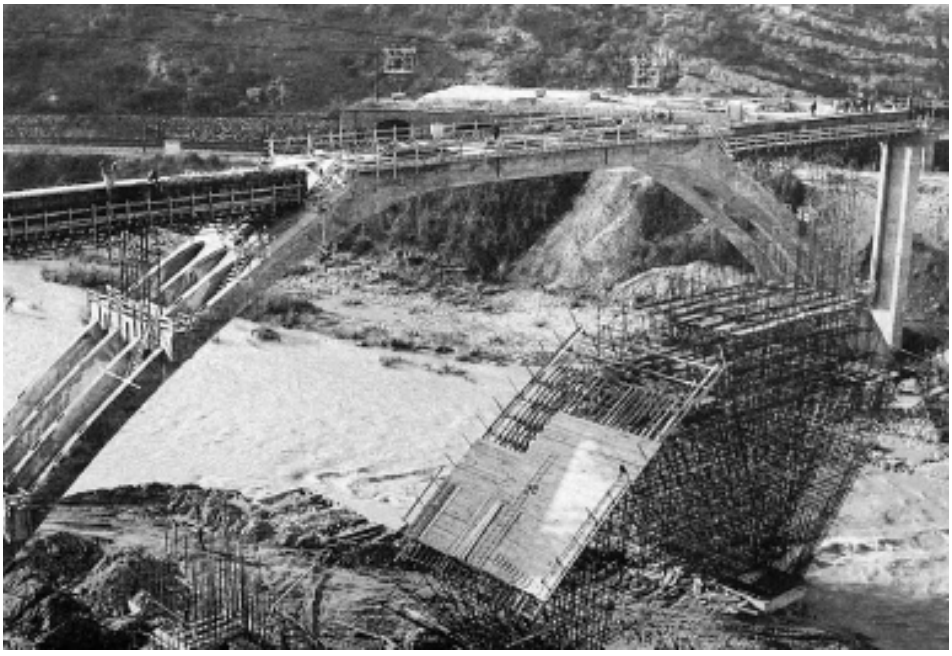


Fig. 5 – Ponte sul fiume Arno presso Incisa (S. Zorzi, G. Macchi, 1963)

dare l'intero gruppo di progettisti, imprese, inventori che collaborano all'operazione: sono loro, comunque, che il 3 dicembre 1960 consentono a Fanfani, Presidente del Consiglio, e a Zaccagnini, Ministro dei Lavori Pubblici, di tagliare il nastro di quella che viene ormai definita la "strada dell'unità nazionale"[19].

C'è però ancora molto da lavorare: l'abile strategia di Cova ha consentito di inaugurare il 16 febbraio 1959 il tratto Napoli-Capua[20], i cui cantieri sono stati avviati già nel 1956 per evitare che l'ambizioso progetto di raggiungere il Sole si fermi a Roma per esaurimento dei fondi. La Roma-Napoli viene inaugurata il 22 settembre 1962; poi si procede da Firenze e da Roma contemporaneamente fino ad incontrarsi tra Chiusi e Orvieto, ultimo tronco aperto.

I protagonisti di questa tratta finale sono ancora gli ingegneri e i ponti: tra i tanti[21], Cestelli Guidi con il viadotto di San Giuliano, un arco portale incernierato alle imposte di 100 m di luce; Morandi con il ponte sul Tevere ad



Fig. 6 – Ponte sul Borro Caprenne (A. Carè, G. Giannelli, 1963)

Attigliano, composto da travi precompresse, con il suo brevetto, di luce pari a 36 m, semplicemente appoggiate su mensole a sbalzo dai piloni; Carè e Giannelli con il ponte sul fosso della Valle, due grandi arcate di 60 m di luce, e con il ponte sul Borro Caprenne, arcata incastrata alle estremità ma dal comportamento simile ad un arco a tre cerniere tipo Maillart , entrambi realizzati con centine Cruciani; e infine Zorzi[22], con due ponti sull'Arno: il primo, vicino ad Incisa, formato da due archi



Fig. 7 – Ponte sul fiume Arno presso Levane, intitolato a G. Romita (S. Zorzi, G. Macchi, 1963)



Fig. 8 – Ponte sul fiume Tevere presso Attigliano (R. Morandi, 1964)

portali affiancati gemelli, di 104 m di luce, precompressi con il brevetto BBRV; l'altro, a Levane, un sontuoso arco portale poligonale (improntato secondo la funicolare dei carichi) in cemento armato ordinario di 134 m di luce, incastrato alle imposte e con travate appoggiate precompresse, che ha l'onore di essere dedicato al padre dell'Autosole, Romita.

Proprio dall'area di sosta sotto il ponte Romita, il giorno dell'inaugurazione[23] in coincidenza con la festività del Patrono d'Italia, cominciano le cerimonie ufficiali, poi spostate nel piazzale antistante la chiesa di San Giovanni Battista, costruita in prossimità della nuova sede della Società Autostrade su progetto di Michelucci con una struttura portante assai più sofisticata delle opere d'arte dell'intero tracciato viario.

Il Presidente del Consiglio Moro tiene nell'occasione un discorso in diretta televisiva: Moro, dirà polemicamente Pasolini, "strumentalizza l'inaugurazione della autostrada per fare un appello politico agli italiani, raccomandando loro un fatto politicamente assai delicato: quello di cooperare al superamento della congiuntura"[24].

Proprio la congiuntura, che ha iniziato a manifestarsi nell'estate dell'anno 1963[25], segna la fine del miracolo economico ma anche l'inizio del riflusso del "periodo aureo" dell'ingegneria strutturale. Anche se ancora molti eventi importanti marcheranno il panorama delle costruzioni di strutture, l'ingegneria italiana si avvia proprio a partire da questo storico avvenimento verso un inarrestabile declino.

[1] Questo saggio si ricollega ad una serie di ricerche condotte e in corso sulla storia dell'ingegneria strutturale italiana del Novecento. Per il quadro di riferimento si rimanda a: S. Poretti, *La costruzione*, in *Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, a cura di F. Dal Co, Milano, Electa, 1997, pp. 268-293; T. Iori, *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Roma, Edilstampa, 2001; T. Iori, *L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia*, in *Teoria e Pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli*, a cura di G. Mochi, vol. 2, Ravenna, 2005, pp. 763-772; S. Poretti, *Un tempo felice dell'ingegneria italiana. Le grandi opere strutturali dalla ricostruzione al miracolo economico*, «Casabella», 739-740, 2005 - 2006, pp. 6-11.

[2] Giuseppe Romita (Tortona 1887 - Roma 1958) studia ingegneria al Politecnico di Torino, dove si laurea nel 1913. Nel dopoguerra è ministro dei Lavori Pubblici dal giugno al dicembre del 1945 e dal febbraio 1954 al maggio 1957.

[3] Pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'8 giugno 1955.

[4] Dopo la Milano-Laghi vengono realizzate, tra il 1927 e il 1935, la Milano-Bergamo, la Napoli-Pompei, la Via del mare tra Roma e Ostia (poi declassata a strada statale), la Bergamo-Brescia, la Torino-Milano, la Padova-Mestre-Venezia, la Firenze-Mare e infine la Genova-Serravalle Scrivia. Il primato italiano sulla costruzione di strade esclusive per automobili viene poi oscurato dalla rete autostradale tedesca, che nel 1934 lancia un programma di *autobahn* di 6900 chilometri.

[5] Per immagini del giorno della posa del cippo cfr. «La settimana Incom», n. 01405, 23 maggio 1956.

[6] Cfr. *La pianificazione intercomunale*, Atti del VI congresso Nazionale di Urbanistica, Torino 18-21 ottobre 1956, Roma, Tip. Castoldi, 1957.

[7] E. Menduni, *L'autostrada del Sole*, Bologna, Il Mulino, 1999.

[8] M. Luccio, *Il ponte sul Lambro ed il cavalcavia Sant'Angelo-Melegnano*, «Autostrade. Rivista di tecnica e di informazioni autostradali», 4, aprile 1959, pp. 19-25.

[9] G. Gelfi, *Il ponte sul Taro*, «Autostrade», 6, giugno 1959, pp. 25-31. Realizzato in proprio da Autostrade, il ponte ha inizio il 1° luglio 1957 e viene completato il 10 settembre 1958. Il collaudo avviene sotto la direzione di Franco Levi, il 16 ottobre 1958.

[10] *Autostrada del Sole. Ponte sul Po*, Milano, Tip. Scotti, 1959; S. Zorzi, G. Girardelli, *Il ponte sul Po a Piacenza*, «Autostrade», 1, gennaio 1958, pp. 19-26.

[11] Cfr. soprattutto «Settimanale CIAC», n. 520, 4 dicembre 1958.

[12] Cfr. anche «Settimanale CIAC», n. 535, 20 marzo 1959.

[13] "Ponte sul Po", 35', colori, regista Carlo Nebiolo, in concorso alla Prima rassegna nazionale del film industriale (Roma 9-10 giugno 1960) e al Festival Internazionale del film industriale di Rouen (ottobre 1960).

[14] Cfr. «Caleidoscopio CIAC», n. 1171, 15 luglio 1959.

[15] L'appalto concorso per il tratto di circa 2 km che comprende il viadotto sull'Aglio e quello sul fosso Fiumicello era stato indetto con termine di presentazione dell'offerta a forfait il 15 gennaio 1957. La consegna dei lavori avviene il 12 giugno 1957; nel settembre 1959 il viadotto sull'Aglio è completo. G. Oberti, B. Gentilini, A. Romagnoli, *Il viadotto sul torrente Aglio*, «Autostrade», 11, novembre 1959, pp. 9-13. Il film "Viadotto sull'Aglio" (regista Carlo Nebiolo) vince il quarto premio della Prima rassegna nazionale del film industriale e viene scelto per rappresentare l'Italia al Festival di Locarno (1960), con il film "Il bell'Antonio" che vincerà la Vela d'oro.

[16] La consegna dei lavori per il lotto interessato (tra le progressive 240,30 – 242,15, comprendente i viadotti Merizzano, Gabellato e del rio Torto) era stata effettuata il 14 giugno 1957: il collaudo, eseguito dal prof. Piero Locatelli, avviene nei giorni dal 12 al 16 settembre 1960. Cfr. G. Krall, *Le grandi opere d'arte sul lotto XIII del tronco Bologna-Firenze*, «Autostrade», 4, aprile 1961, pp. 19-26.

[17] Si tratta di una centina "tutta italiana" costituita da elementi di legno di lunghezze singole molto variabili tali da realizzare la continuità secondo la portata a mezzo della costrizione di staffe in ferro. Cfr. Q. Zechini, *Tendenze attuali nella costruzione delle opere d'arte sulle autostrade italiane*, «Autostrade», 2, febbraio 1963, pp. 27-37.

[18] A. Grassi, *L'autostrada tra Barberino di Mugello e Calenzano*, «Autostrade», 6, giugno 1959, pp. 19-24.

[19] Cfr. «Caleidoscopio CIAC», n. 1270, 9 dicembre 1960.

[20] Le opere d'arte più impegnative sono risolte con ponti ad unica luce di cemento armato precompresso: di rilievo solo il viadotto sul Volturno, a 4 luci di 32 metri, progettato da Giuseppe Sambito.

[21] Per un quadro più dettagliato, cfr. B. D'Antona,
M. De Sanctis, *Ponti e viadotti dell'Autostrada del Sole nel tronco Roma-Firenze*, «L'Industria italiana del cemento», 1, 1965, pp. 3-56.

[22] Con Zorzi collabora in entrambi Giorgio Macchi, un altro allievo di Levi al Centro studi. Zorzi realizza, per il tratto Firenze - Roma, anche il

ponte sul fiume Nera, a travata Gerber in cemento armato precompresso.

[23] Cfr.« La settimana INCOM», n. 02514, 9 ottobre 1964; «Cronache dal Mondo», n. 444, 9 ottobre 1964.

[24] Pasolini sfrutta un passo del discorso di Moro per "annunciare" la nascita dell'italiano come lingua nazionale. Cfr. P.P. Pasolini, *Nuove questioni linguistiche* (1964), ora in *Empirismo eretico*, Milano, Garzanti, 1972.

[25] G. Crainz, *Il Paese mancato. Dal miracolo economico agli anni ottanta*, Roma, Donzelli, 2005.

Rinaldo Capomolla

Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci. Il progetto della forma strutturale prima dell'avvento del calcolo automatico

Il ponte sul Basento (1967-1976)[1] , accolto a suo tempo con giudizi contrastanti, ora con entusiasmo, ora con perplessità, segna una discontinuità nello sviluppo dell'ingegneria italiana della seconda metà del Novecento. Mentre sembra preludere a nuove estetiche strutturali, a forme complesse di simbiosi forma-struttura, si pone invece come esemplare punto di arrivo di quella linea di ricerca italiana sui gusci di calcestruzzo che aveva già prodotto alcuni isolati ma significativi risultati.

Sul piano del calcolo chiude l'epoca dell'approccio empirico-sperimentale e analitico su modello continuo mentre annuncia l'avvio di quell'approccio per modelli discreti che, con il supporto insosti-tuibile del calcolatore elettronico, segnerà il definitivo superamento del 'regolo calcolatore'. Il ponte possiede una radice genetica a ffatto singolare: non nasce per affinamento di forme sperimentate e codificate - né si adegua, quindi, alla realtà operativa del cantiere strutturale quale in Italia si era configurato e quale si andava modificando - , ma è l'esito del tentativo di Musmeci di rovesciare il problema strutturale per come è stato impostato storicamente dalla Scienza delle Costruzioni. "Questa è stata essen-zialmente concepita come l'insieme di tutte le teorie e metodi di calcolo che consentono la verifica di strutture già progettate. Resta fuori, direi per definizione, la fase creativa della forma strutturale. [...] Resta invece per la Scienza delle Costruzioni un altro compito: quello di mettere in condizioni chi progetta di [...] decidere sul-



Fig. 1 – Vista di tre arcate del ponte

l'utilizzazione strutturale della materia. [...] Per assolverlo è necessario sviluppare una vera e propria teoria delle forme, interamente basata sulle enormi potenzialità di trattamento delle informazioni offerte dai calcolatori elettronici"[2].

Quando Musmeci scrive queste parole -siamo nel 1972- il progetto definitivo del ponte è già stato redatto da più di due anni, il ponte è in costruzione e l'uso dell'elaboratore elettronico nel calcolo strutturale, a parte poche, pionieristiche applicazioni estere, si prospetta solo come una possibilità di là da venire. Il ponte, unico nel suo genere tra quelli costruiti, è composto da una successione di quattro arcate continue di cemento armato che sostengono un impalcato discontinuo a cassone, sempre di cemento armato. Le arcate, di luce netta abbastanza modesta (di soli 58,82 metri), sono concepite come volte a doppia curvatura anticlastica di spessore non sottilissimo (raggiungono un minimo di 29 centimetri lungo l'asse longitudinale), ma comunque tale da poterle considerare strutture a comportamento prevalentemente membranale.

Musmeci, nel progettarle, intraprende un percorso irto di difficoltà e segnato da molte incertezze, servendosi di mezzi che oggi riterremmo inadeguati. E segue approcci di natura diversa: quello empirico -quando studia il comportamento di modelli fisici -; quello analitico su modelli matematici al continuo; quello geometrico basato sulla statica grafica; quello numerico agli elementi finiti. Egli usa questi metodi in modo interlocutorio, non sequenziale, anche se poi tende a presentare le prove sperimentali come convalida dei calcoli, e, perciò, metodologicamente e cronologicamente successive a questi.

La progettazione obbedisce ad una precisa concezione strutturale che Musmeci persegue con particolare convinzione e tenacia, e cioè che la forma della struttura non sia un *a priori*, una forma data di cui occorra solo verificare i margini di sicurezza, ma che debba essere "dedotta da un processo di ottimizzazione del suo regime statico"[3].

Ora, data la superficie di un guscio sottile, attraverso le equazioni differenziali di equilibrio è possibile, in linea teorica, trovare gli sforzi interni. Musmeci, invece, ribalta i termini della questione, osservando che le stesse equazioni consentirebbero, fissato un certo regime di sforzi, di trovare la forma della superficie. Impone allora che gli sforzi siano di compressione uniforme e isotropa, visto che con tale regime sono sfruttate al meglio le proprietà meccaniche del calcestruzzo.

Una superficie a compressione uniforme - che è caratterizzata, tra l'altro, da curvature principali di uguale valore assoluto e di segno opposto - non solo è più facilmente trattabile per via analitica, ma presenta uno sviluppo superficiale minimo per un contorno prefissato: è una 'superficie minimale'[4]. Questa caratteristica fa sì che con superfici di tal genere si ottenga la massima economia di materia[5]. Il loro uso renderebbe, dunque, non solo 'razionale' la soluzione del problema strutturale - così come

è posto da Musmeci - ma svincolerebbe il progettista da ogni responsabilità nella scelta della forma (a parte, ovviamente, la determinazione delle 'condizioni al contorno', che influiscono decisamente sul risultato finale). La forma obbedirebbe così solo alle leggi che generano le figure strutturali degli elementi naturali, uniformandosi ad un principio razionale di economia, che diviene perciò stesso criterio di 'bellezza'. In definitiva per Musmeci la forma strutturale ottima non è da individuare pragmaticamente all'interno delle condizioni contingenti e operative del singolo progetto, ma è da inscrivere in una concezione 'totalitaria' della struttura come rispondente al principio del 'minimo strutturale'.

Tuttavia –e torniamo al caso del ponte– la ricerca rigorosa della superficie minimale non è praticamente perseguibile per via matematica, pur essendo il suo regime internamente isostatico; è invece possibile determinarne la forma per via sperimentale: era noto sin dall'Ottocento che, per un contorno dato, un film liquido dotato di tensione superficiale, per esempio una pellicola di acqua e sapone, si dispone secondo una superficie minimale. Musmeci, per

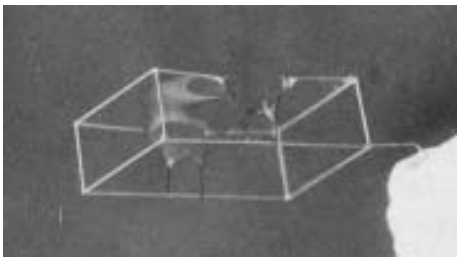


Fig. 2 – Modello in pellicola di acqua e sapone

riuscire a visualizzare la conformazione del ponte, realizza perciò un semplice modellino con un film di soluzione acquosa di sapone e glicerina teso tra un contorno a tratti rigidi (in filo di ferro) e a tratti flessibili (in filo di cotone)[6]. Prima di presentare il progetto di massima, che sarà disegnato tra giugno e ottobre del 1967, Musmeci allestisce un altro modello sperimentale in scala 1:100 da cui trae indicazioni meno vaghe sulla forma del ponte: è un modello in "gomma para" dello stesso genere di quello che aveva già usato in occasione di un progetto del 1959 per un ponte sul Tevere a Roma presso Tor di Quinto.

Il modello è ottenuto da un foglio di gomma, già opportunamente sagomato, spesso 0,8 millimetri, i cui bordi vengono rinforzati mediante strisce larghe 7 millimetri, sempre di gomma, per meglio simulare i necessari irrigidimenti perimetrali. Il modello, che riproduce una pila del ponte e le due semiarcate adiacenti, una volta messo in trazione, si trova in uno stato tensionale molto simile a quello della pellicola di acqua e sapone. Il dispositivo di prova è però congegnato in modo da poter modificare la forma del foglio variando la tensione trasversale (che viene regolata intorno ad 1/10 di quella longitudinale). Il rilievo della membrana viene eseguito con un "equipaggio mobile comprendente un'asta graduata e un ago abbassabile fino alla superficie"[7], in riferimento ad un reticolo a maglia quadrata di 2 centimetri di lato disegnato sul foglio prima della sua sollecitazione. Dato il basso grado di affidabilità

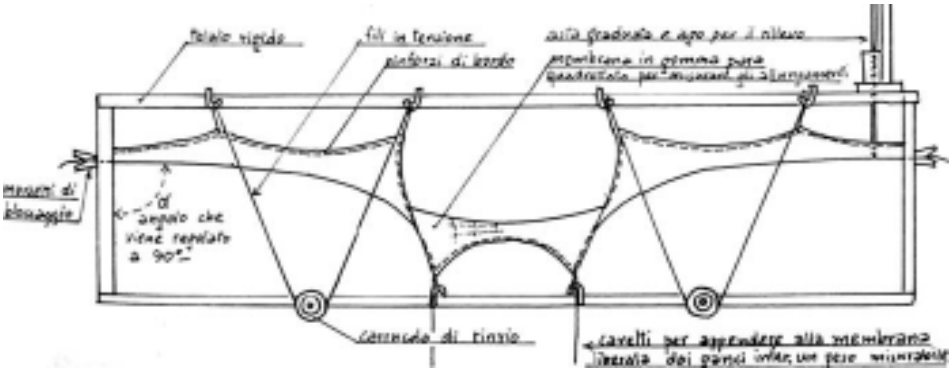


Fig. 3 – Schema del dispositivo di prova del modello in gomma (dai Calcoli statici)

della prova, è possibile considerare sufficientemente significativo solo il rilievo dei nodi posti entro una striscia centrale longitudinale larga 8 centimetri.

Musmeci, dopo aver determinato sperimentalmente, con apposite prove, i moduli di Young e di Poisson della gomma, riesce anche a trarre indicazioni sommarie sullo stato tensionale della membrana attraverso la misura degli allungamenti dei lati del reticolo. Le tensioni, sia quelle longitudinali che quelle trasversali, risultano abbastanza costanti, con uno scarto massimo del 10% intorno al rispettivo valore medio. La tensione massima di compressione longitudinale si genera in chiave ed è valutata pari a 78 kg/cmq, in riferimento alla volta reale considerata spessa 28 centimetri.

I calcoli che Musmeci affianca in un primo momento ai dati sperimentali sono solo quelli che impostano analiticamente il problema della forma di una membrana generica, riferita ad un generico reticolo di coordinate curvilinee ortogonali. Le equazioni differenziali di equilibrio vengono quindi sviluppate nell'ipotesi di volta a compressione isotropa, facendo notare, in particolare, che se la volta fosse soggetta a peso proprio, la pressione sarebbe variata con legge idrostatica. Sulla scorta degli esperimenti sul modello di para, viene infine imposta la riduzione dello sviluppo trasversale del ponte (rispetto a quello della membrana a compressione isotropa) di un coefficiente di omotetia $\ddot{e} = 3,5$. Musmeci rinuncia così in modo esplicito alla condizione di isotropia[8], tipica delle superfici minimali, "per tenere conto delle proporzioni allungate di ogni singola campata" e per evitare sia "un appiattimento della forma della volta", sia "un'eccessiva tensione trasversale nell'impalcato e un aumento degli sforzi nei rinforzi di bordo della volta stessa"[9]: così facendo le tensioni trasversali si riducono di $\ddot{e}^2 = 12,25$ volte rispetto alle tensioni longitudinali, raggiungendo valori molto simili a quelli riscontrati sul modello di para. Musmeci sa perfettamente che il ponte che sta configurando non sarà neanche a compressione uniforme: questo perché avrebbe dovuto sopportare il peso pro-

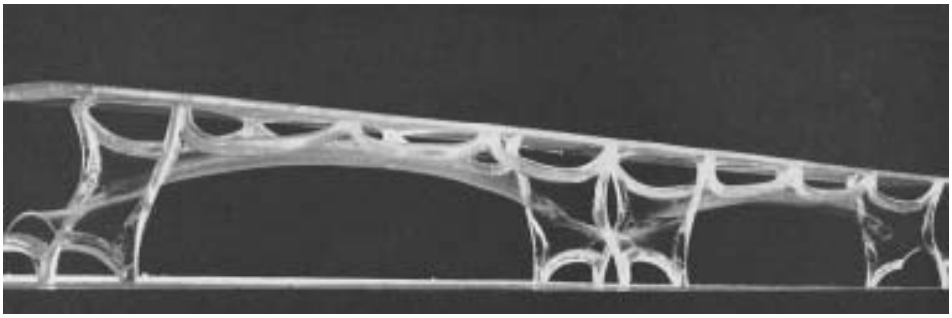


Fig. 4 – Il modello di perspex

prio[10] e l'azione di carichi mobili e asimmetrici (concentrati nei punti di contatto con l'impalcato e con la fondazione), e perché i bordi, di rigidezza non nulla e di grande sviluppo lineare, avrebbero provocato inevitabilmente disturbi flessionali non trascurabili.

Prima di affrontare il progetto definitivo del ponte, la cui fattibilità "nelle sue linee generali è [...] garantita dalle verifiche già effettuate"[11], Musmeci decide di condurre altri esperimenti questa volta su un modello di perspex per valutare grosso modo l'entità delle perturbazioni al regime di membrana, prevedere le conseguenze degli stati di coazione - quali quelli causati dalle variazioni di temperatura e dai cedimenti delle fondazioni -, controllare infine il comportamento dell'impalcato.
Programma perciò due serie di prove: la prima, l'unica effettuata, su un modello in scala 1:100 di due campate complete costruito presso il Laboratorio di Ricerche su Modelli della facoltà di Ingegneria di Roma; la seconda su un modello in scala 1:50 che si sarebbe dovuto realizzare presso l'Istituto di Tecnica delle Costruzioni della facoltà di Architettura di Roma.

Il primo modello, lungo 1,40 metri, completo di impalcato e con i bordi rinforzati, viene costruito servendosi di una forma di legno massello e di una controforma di alluminio fuso: il perspex viene piegato a caldo tra le due forme e poi tagliato secondo i disegni. Viene poi sottoposto a diverse condizioni di carico ripartito, misurando le conseguenti deformazioni mediante quattordici estensimetri elettrici. I risultati, pur conformi alle previsioni, non verranno considerati molto attendibili per la scarsa sensibilità della prova. Essa tuttavia rivela una notevole capacità di adattamento della struttura e significative riserve di resistenza.

Come già detto, la seconda serie di prove non verrà eseguita, anche perché nel frattempo Musmeci riesce a determinare con maggiore precisione la forma della superficie media della volta servendosi di un calcolo approssimato della geometria delle pellicole di acqua e sapone pubblicato da Rudolf Trostel già nel 1962[12]. Il procedimento di calcolo, che prevede uno sviluppo in serie

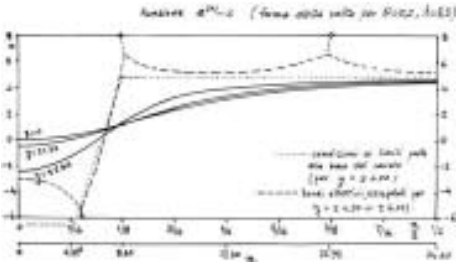


Fig. 5 – Geometria della volta determinata col calcolo approssimato (dai Calcoli statici)

di coseni, viene condotto da Musmeci sotto le condizioni semplificative che la membrana sia priva di peso, a giacitura sub orizzontale, tesa tra bordi rettilinei rigidi, invece che tra bordi liberi[13], e col solito coefficiente di omotetia trasversale ë = 3,5. Queste condizioni, anche a causa dei termini dello sviluppo in serie che sono stati trascurati, permettono di ottenere dati geometrici rappresentativi solo lungo la linea d'asse longitudinale e sempre meno accettabili man mano che ci si sposta verso i bordi. Comunque, almeno lungo l'asse, le differenze geometriche tra la forma così determinata e quella definita a suo tempo col modello di para risultano modeste, con un massimo di 10 centimetri e con un errore medio di circa 5 centimetri.

Fissata la geometria della superficie, Musmeci passa ad esaminare il comportamento statico del ponte nel suo insieme. E qui lo studio viene svolto "riportandosi agli schemi tradizionali dei sistemi monodimensionali piani ad asse rettilineo e curvilineo"[14]. La struttura viene scomposta in un insieme di aste dotato di cerniere virtuali collocate nei punti di rigidezza ridotta (vincoli al suolo e all'impalcato, sezioni in cui la curvatura trasversale cambia segno). Le cerniere consentono di ridurre a 7 il grado di iperstaticità della campata; grado che diminuisce ulteriormente (fino a 2) a seconda della simmetria o asimmetria dei carichi. Imposti gli enti geometrici della semicampata relativi a nove sezioni trasversali distanziate di 4,325 metri, Musmeci trova per ciascuna di esse le tensioni massime generate dalle quattro condizioni di carico principali[15] e fissa infine l'armatura longitudinale, che sarà di modesta entità e pari allo 0,7% (0,9% in chiave)[16].

Questo passo consente di precisare meglio la geometria della superficie: rispetto alla forma ottenuta col rilievo del modello di para e col calcolo approssimato a membrana, vengono abbassate leggermente, fino ad un massimo di 15 centimetri, le ordinate della volta lungo la linea d'asse longitudinale, in considerazione che "limitati scostamenti dalla forma teorica limite comportano solo un certo allontanamento dalla condizione ideale di compressione uniforme. Questo allontanamento è del resto inevitabile in condizioni di carico dissimmetriche"[17].

Dopo questa verifica 'classica' non verranno fatti altri calcoli, anche se non era ancora nota la risposta della volta lungo le zone di margine e non era stata valutata appieno l'interferenza tra l'impalcato e le arcate.

Prima di passare alla costruzione, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, considerata l'eccezionalità della struttura e le incertezze sul suo reale

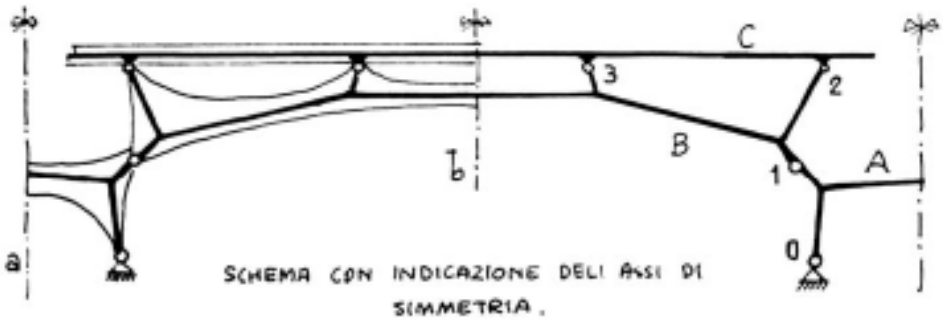


Fig. 6 – Schematizzazione ad elementi monodimensionali (dai Calcoli statici)

comportamento, impone di effettuare verifiche di resistenza su un modello di microcemento, in modo da confermare la validità dei risultati ottenuti con lo schema monodimensionale, il solo che abbia consentito di valutare il reale cimento statico delle volte.

Il modello viene realizzato presso l'Istituto Sperimentale Modelli e Strutture di Bergamo, a spese del committente, il Consorzio per l'area di sviluppo industriale della provincia di Potenza, che aveva già sostenuto le spese del precedente modello di perspex. Il modello, in scala 1:10 e lungo quasi 14 metri, è questa volta la perfetta riproduzione, anche nelle armature, del ponte da costruire[18]. Esso consente, tra l'altro, di materializzare con esattezza la forma della volta, di correggere, quindi, errori di disegno della superficie e di determinare la precisa geometria dei bordi[19].

Le prime prove in campo elastico rivelano subito un comportamento imprevisto nelle zone di chiave: la nascita di compressioni parassite nell'impalcato e di trazioni nella volta di entità tale da modificare in modo assolutamente non trascurabile il regime degli sforzi. Musmeci trova la soluzione ispessendo notevolmente i bordi della volta nella zona di chiave e frazionando ulterior-

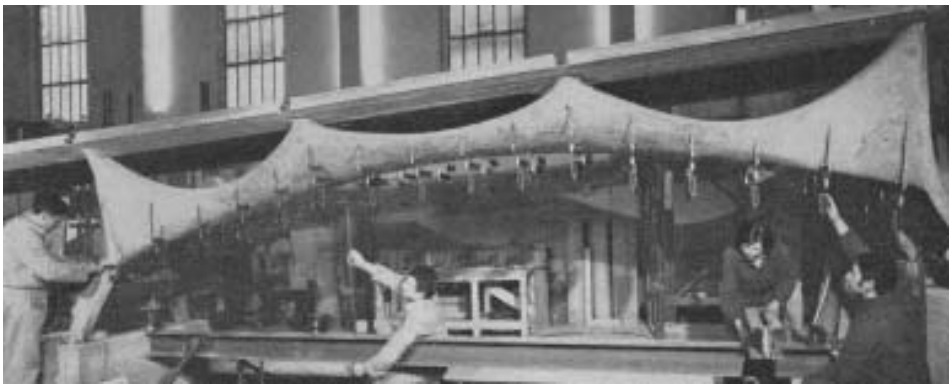


Fig. 7 – Il modello in microcemento allestito presso i laboratori dell'ISMES di Bergamo

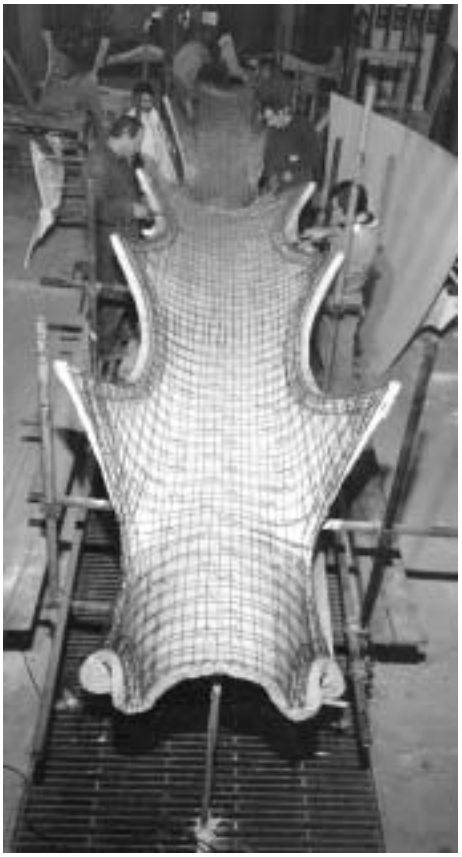


Fig. 8 – Cassaforma di gesso utilizzata per realizzare il modello di microcemento

mente l'impalcato in corrispondenza della mezzeria della campata[20].

Le accurate prove elastiche che seguono, effettuate sotto varie combinazioni di carico, mostrano che i valori medi delle tensioni longitudinali misurate su cinque sezioni della volta (pari a 70 kg/cmq sotto i carichi permanenti e a 100 kg/cmq a pieno carico) presentano differenze minime, del 5% circa, rispetto ai valori di calcolo; mentre il confronto sezione per sezione mostra scarti decisamente maggiori: di circa il 25% in più nella sezione di imposta e di circa il 25% in meno nella sezione di sommità. In ultimo il modello viene portato a rottura nel corso di una prova eseguita alla fine di marzo del 1971: il modello mostra un comportamento elastico fino ad un moltiplicatore di carico prossimo a 2, ma non si può procedere oltre poiché al moltiplicatore 2,18 si rompe accidentalmente uno dei blocchi di fondazione di estremità, che non erano stati armati. L'andamento della prova fa comunque stimare un moltiplicatore di collasso almeno pari a 3.

La costruzione, avviata nella seconda metà del 1971, per la parte strutturale si conclude ufficialmente con la prova di carico effettuata il 22 maggio 1975 sotto la direzione di Arrigo Carè; questi, nella sua relazione di collaudo, non fa cenno a verifiche strutturali diverse da quelle appena descritte[21]. Musmeci continuerà tuttavia a fare altre analisi teoriche che non incideranno sull'assetto ormai definito del ponte.

Si tratta di una verifica effettuata con i metodi della statica grafica; di un calcolo 'manuale', necessariamente molto semplificato, alle differenze finite condotto su un reticolo di circa 250 nodi a partire dalla configurazione già progettata; di un calcolo numerico, più preciso, eseguito a ponte già costruito con l'aiuto di un elaboratore elettronico - anche se sotto le condizioni restrittive di compressioni uniformi e di bordi dati, e limitatamente ad un'ampia zona circostante il punto di flesso della linea mediana longitudinale.

Questi due ultimi tentativi sono il

segnale che un nuovo processo si stava avviando nel campo del calcolo strutturale: un processo inarrestabile che avrebbe visto il definitivo, sostanziale superamento dell'approccio analitico-sperimentale a favore del calcolo automatico e della contestuale restituzione grafica.

Di esso Musmeci, dando per scontato l'uso "quantitativo" del calcolatore come strumento per le verifiche statiche, aveva intravisto le straordinarie possibilità come strumento "per la costruzione di una vera e propria teoria delle strutture, capace di contribuire alla scoperta ma anche all'invenzione di nuove forme strutturali"[22]. Tuttavia l'ingegnere romano, tra i maggiori della sua generazione per acume scientifico e per capacità inventive, scomparso prematuramente nel 1981, potrà solo immaginare quanto sarebbe stato "utile seguire con immediatezza i cambiamenti [di forma della superficie di un guscio] su un terminale video di un calcolatore opportunamente programmato; [...] disegnare con una penna a luce su uno schermo «sketchpad» [...] la forma dei bordi e osservare subito la forma che ne consegue per il guscio; ridisegnare i bordi e osservare la forma che si modifica, sotto i nostri occhi"[23].

[1] Tra i contributi più recenti sul progetto e sulla costruzione del ponte segnalo innanzitutto la tesi di Alessandro Tursi, "La tensostruttura rovesciata. Il guscio membranale di Sergio Musmeci dal *formfinding* alla costruzione del ponte sul Basento", dottorato di ricerca "Ingegneria edile: architettura e costruzione", XV ciclo, Università di Roma 'Tor Vergata'. Segnalo poi il libro curato da Margherita Guccione, *Il ponte e la città. Sergio Musmeci a Potenza*, Gangemi Editore, Roma 2004[2], e il mio *articolo Il ponte sul Basento, ovvero l'invenzione di una forma "ancora senza nome"*, «Casabella», 739-740, 2005-2006, pp. 12-19. Ringrazio la Direzione generale per l'architettura e l'arte contemporanee del Ministero per i Beni e le Attività Culturali per avermi consentito di consultare il Fondo archivistico Sergio Musmeci; ringrazio in particolare Margherita Guccione ed Erilde Terenzoni.

[2] S. MUSMECI, *Il calcolo elettronico e la creazione di nuove forme strutturali*, in *Architettura & Computer*, a cura di M. Zevi, Roma, Bulzoni Editore, 1972, pp. 147-166.

[3] S. MUSMECI, *Ponte sul Basento*, «L'Industria Italiana del Cemento», 2, 1977, pp. 77-98.

[4] "Le superfici minimali sono, per certi riguardi, le equivalenti bidimensionali delle linee rette, che presentano lunghezza minima tra due punti assegnati, ed anche equivalenti nello spazio alle linee geodetiche sulle superfici". A. LIVADIOTTI,
S. MUSMECI, "Viadotto sul fiume Basento - I stralcio. Ponte in c.a. - Calcoli statici", s. d., pp. 34 e 35. L'ingegnere Aldo Livadiotti, incaricato inizialmente del progetto, si occuperà in poi solo della progettazione generale e del coordinamento tecnico, lasciando a Musmeci la responsabilità del
progetto strutturale.

[5] In sostanza Musmeci generalizza quanto già ampiamente noto nel caso dei sistemi monodimensionali, ove il problema di determinare una forma semplicemente compressa è risolvibile facendo coincidere, tramite l'analogia di Hooke, la linea d'asse col poligono funicolare delle forze assegnate.

[6] In questa fase preliminare di studio la volta era ancora immaginata come vincolata rigidamente per lunghi tratti rettilinei all'impalcato; in ciò riprendendo una soluzione già studiata per il progetto del ponte sul fiume Lao del 1964.
[7] A. LIVADIOTTI, S. MUSMECI, "Viadotto... Calcoli statici", cit., p. 52.
[8] Nella relazione di calcolo Musmeci sostiene senza riserve che "non è necessariamente questa la condizione migliore della volta". A. LIVADIOTTI, S. MUSMECI, "Viadotto... Calcoli statici", cit., p. 4.
[9] *Ibidem*, p. 29.
[10] Sul momento Musmeci considera trascurabile il peso proprio della volta; questo è stimato pari al 25% dei carichi totali, il resto dei quali verrebbe trasmesso dall'impalcato e dagli appoggi di fondazione alla volta tramite i bordi liberi, così come accade per la pellicola saponata.
[11] A. LIVADIOTTI, S. MUSMECI, "Viadotto sul fiume Basento - Elaborati generali (variante) Relazione tecnica illustrativa, quadro economico generale", s. d., p. 12.
[12] Musmeci individua questo procedimento nell'edizione in inglese, del 1967, del noto libro di Frei Otto sulle tensostrutture (vol. I). R. TROSTEL, *Calculation of membranes* (vedi il cap. 12 -*Soap films*, pp. 290-297), in F. OTTO, *Tensile structures*, 2 vol., Cambridge - London, MIT Press, 1967, vol. I, pp. 170-297.
[13] I bordi erano posti su piani verticali longitudinali distanti 8 metri. La larghezza massima della volta in proiezione orizzontale era, al momento di questi calcoli, di 14 metri, poi ridotta nella versione definitiva a 12,5 metri.
[14] A. LIVADIOTTI, S. MUSMECI, "Viadotto... Calcoli statici", cit., p. 59. Si tratta di uno schema di calcolo collaudato che Musmeci aveva già impiegato, ad esempio, nel calcolo del ponte sull'Astico del 1956.
[15] In ciascuna delle nove sezioni le tensioni massime assolute variano tra 89 e 105 kg/cmq, con una media di 97 kg/cmq che si riduce a 95 tenendo conto dell'assestamento plastico.
[16] Si fa notare che nell'opera realizzata, a causa dell'aumento della sezione resistente in chiave, la percentuale di armatura longitudinale risulterà, qui, ulteriormente ridotta allo 0,45%, valore inferiore a quello consentito dalle norme.
[17] A. LIVADIOTTI, S. MUSMECI, "Viadotto... Calcoli statici", cit., p. 47.
[18] La forma del ponte era stata nel frattempo leggermente modificata, sia per ragioni funzionali che per migliorarne visivamente la sagoma.
[19] I bordi, per poter risultare solo compressi, devono essere tracciati secondo linee sghembe di curvatura normale nulla: linee di difficile individuazione servendosi di disegni in proiezione ortogonale.
[20] Giunti a seggiola interrompevamo già la continuità dell'impalcato in corrispondenza delle pile per assecondare le deformazioni di origine termica.
[21] A. CARÈ, "Viadotto sul Basento. Collaudo statico - Relazione di collaudo", 25 settembre 1981, p. 3.
[22] S. MUSMECI, *Il calcolo*..., cit., p. 159.
[23] *Ibidem*, p. 161.

Marco Ceccarelli, Teun Koetsier

Lorenzo Allievi e la cinematica dei meccanismi in Italia nel XIX secolo

Sommario

In questo lavoro sono esaminati gli aspetti formativi e scientifici del lavoro di Allievi in relazione agli sviluppi sulla cinematica dei meccanismi in Italia. Inoltre è tracciato brevemente il processo evolutivo delle attività italiane nel diciannovesimo secolo nell'ambito della cinematica dei meccanismi e sono indicate e le opere di maggiore interesse, anche per l'odierna ricerca a fini accademici e applicativi. La personalità e l'opera di Allievi sulla cinematica dei meccanismi è tuttora riconosciuta, anche in ambito internazionale, come un contributo teorico ed applicativo di notevole importanza ma non essendo nota in dettaglio il suo riesame con dettagli in questo lavoro vuole enfatizzare gli aspetti ancora di attuale interesse, sia storiografico che tecnico-scientifico.

Abstract

In this paper the work by Allievi is examined in its teaching and scientific aspects as related to the development of Kinematics of mechanisms in Italy. In addition the evolution of the Italian activity in 19-th century is outlined as in the frame of Kinematics of mechanisms and main works are indicated when still of current interest for academic and engineering purposes. The personality and work of Allievi on Kinematics of mechanisms are still today recognized even at international level as an important contribution both from theoretical and application viewpoints. However, since details of his works are not known, in this paper a reconsideration is aimed to stress those aspects that are still of current interest for technical-scientific purposes and historical studies.

Introduzione

La progettazione cinematica dei meccanismi ha avuto un ruolo importante nello sviluppo dell'ingegneria meccanica e della evoluzione industriale, sopratutto durante la Rivoluzione Industriale nel XIX secolo.

In tutta Europa vi è stata una intensa attività accademica e professionale che ha portato a notevoli risultati nella conoscenza delle caratteristiche teoriche dei meccanismi ed alle sue applicazioni in nuove progettazioni e/o miglioramenti di macchine ed automazioni per lo sviluppo di una produzione industriale di sempre più elevata qualità e quantità.

In Italia tale fermento ha seguito una attenzione analoga ma la sua visibilità si è limata all'interno della nascente struttura nazionale, soprattutto in termini accademici[1] . Infatti le personalità che hanno contribuito allo sviluppo della Cinematica dei meccanismi, anche con notevoli contributi di originalità, come per esempio Francesco Masi a Bologna, Domenico Tessari a Milano e Ernesto Cavalli a Torino, non sono riconosciute

nell'ambito della storiografia tecnica internazionale. Ma anche nelle Facoltà italiane di Ingegneria spesso non si ha una adeguata memoria e considerazione della tradizione e dell'evoluzione della Cinematica dei meccanismi ad opera di ricercatori italiani.

Una figura emblematica, anche per gli atteggiamenti dell'epoca, può essere considerato Lorenzo Allievi (1856-1941), che ha iniziato la sua carriera con l'importante opera 'Cinematica della biella piana' ma non trovando adeguati ambiti accademici ha rivolto le sue energie con grande successo alla promozione della nascente industria italiana e soprattutto allo studio dei fenomeni idraulici con la risoluzione del colpo d'ariete che gli ha valso molti riconoscimenti[2] ancora di odierna memoria[3].

Note biografiche di Lorenzo Allievi: l'uomo, l'ingegnere, lo scienziato

Lorenzo Allievi è ricordato in varie note biografiche con differenti punti di vista[4,5,6,7,8], alle quali si è fatto riferimento per queste note.



Fig. 1 – Lorenzo Allievi

Ancora viva è la sua memoria nella sua famiglia, come testimoniato dall'entusiastico interesse dei suoi nipoti Luigi Allievi e Marta Lancellotti i quali conservano documentazione biografica[9,10] e tecnico-scientifica[11] di Lorenzo Allievi.

Lorenzo Allievi (Fig.1) è nato a Milano il 18 Novembre 1856 ed è morto a Roma il 30 Ottobre 1941.

Era il terzo di quattro figli del Senatore Antonio Allievi e di Francesca Bonacini Spini. Compì i primi studi a Como e poi trasferitasi la famiglia a Roma nel 1871, a Roma completò il liceo e conseguì la laurea in ingegneria il 24 Ottobre 1879 discutendo la tesi ' Equilibrio interno delle pile metalliche secondo le leggi della deformazione elastica', Fig.2. La tesi, ritenuta di valore, fu pubblicata nel 1882 dall'Editore Salucci in Roma, ottenendo una buona diffusione nelle biblioteche delle Regie Scuole d'Ingegneria

Aveva usufruito di una borsa di studio in Germania e successivamente alla laurea insegnò presso la stessa Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri in Roma come Professore Incaricato, dedicandosi contemporaneamente a lavori progettuali per la Metropolitana di Roma e la ferrovia che contorna il lago di Castelgandolfo. Il 31 Agosto 1885 sposò a Firenze Anna Brenna da cui ebbe tre figli: Francesca, Raimondo ed Antonio. Lasciò Roma e l'insegnamento universitario quando nel 1893 fu nominato Amministratore Delegato della Società 'Risanamento di Napoli' per la quale lavorò con successo fino al 1901 quando ritornò a Roma dove si dedicò ad una

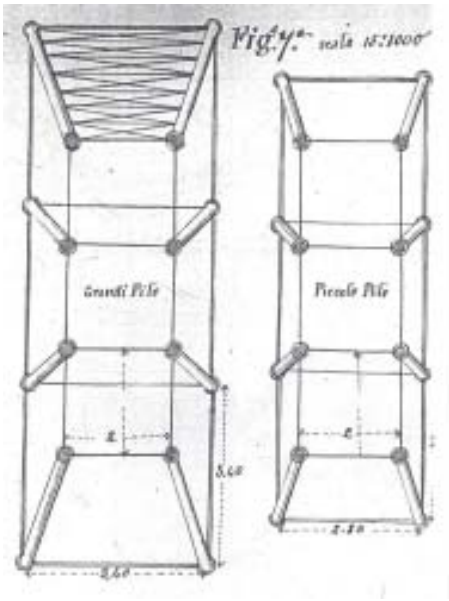


Fig. 2 – Schema di pile (oggi denominati tralicci)nella tesi di Laurea di Lorenzo Allievi. (per gentile concessione di Mirta Lancellotti)



Fig. 3 – Lorenzo Allievi con la nipote Anne Marie. Anzio, 9 marzo 1929

intensa attività industriale. Ricoprì incarichi di consigliere e/o Amministratore di varie Società (Carburo Calcio, Risanamento della Romana Gas, Anglo-Romana, Terni, Romana Elettricità, Banca Commerciale, Meridionale di Elettricità, Elettro-chimica, Saline Eritreee) e fu Presidente dell'Associazione Esercenti Imprese Elettriche. Il successo di tale attività gli consegui negli anni successivi l'incarico di Presidente della Confindustria per il Lazio e poi Vice-Presidente della Confindustria Italiana.

In particolare, nella attività presso la Elettrochimica si occupò di amplia-menti dello stabilimento di Popoli in Abruzzo e dei problemi occorsi presso la Centrale di Papigno in Terni, dove nel 1902 scoppiò un tubo con notevoli danni. Iniziò, così, ad occuparsi del moto perturbato dell'acqua nei tubi in pressione, svolgendo i suoi studi principalmente i notte dopo aver concluso i suoi impegni industriali giornalieri. Spesso rimaneva in casa assorto, tra il fumo delle sue sigarette, nello studio dei fenomeni idraulici e nei relativi tentativi di rigorosa formulazione matematica. Ma non trascurava mai la sua famiglia a cui dedicava attenzione e tempo, come nei periodi di vacanza in Anzio, Fig.3.

Lo studio della meccanica dei fluidi lo attrasse per tutta la sua vita, anche dopo aver risolto il problema alla centrale di Papigno ed aver pubblicato il primo lavoro sul colpo d'ariete, ricevendo i dovuti riconoscimenti. Non tornò mai sui problemi della cinematica dei meccanismi. Nella professione di ingegnere e imprenditore era attento anche

alla soddisfazione degli operai rispettando il lavoro e le mansioni di tutti, nessuna ritenendola non significativa per il successo dell'Impresa e della finalità tecnica prevista. Ebbe modo anche di trattare in alcune sue pubblicazioni tematiche di economia, raccolte poi in volume 'Spunti polemici di attualità' pubblicato in Roma nel 1918. Lorenzo Allievi ha svolto con successo una intensa attività professionale, manageriale ed imprenditoriale. Ma l'attività che gli ha valso maggiore fama è senz'altro quella scientifica sullo studio del colpo d'ariete che ha affrontato in varie pubblicazioni dal 1902 al 1936[12,13,14,15,16,17]. Nella centrale di Papigno una grande lapide ricorda il suo contributo, Fig.4.

Il suo lavoro, ancora noto con la dicitura di Teoria dell'Allievi, gli ha valso molti riconoscimenti in Italia, come per esempio il prestigioso Premio Jona, ed anche all'estero, come per esempio la quasi immediata traduzione dei suoi articoli in Inglese, Tedesco e Francese. Significativo è il riconoscimento che l'ASME, American Society of Mechanical Engineers, gli ha voluto tributare nominandolo Honoray Member nel 1937 (vedi nota 2), in un periodo di grandi tensioni internazionali antecedenti il 2 conflitto mondiale.



Fig. 4 – La lapide commemorativa dell'opera di Lorenzo Allievi sul colpo d'ariete presso la Centrale di Papigno in Terni

Cinematica della biella piana di Lorenzo Allievi

Il trattato[18] è considerato in molte biografie una opera minore di Lorenzo Allievi e spesso addirittura non è citata.

Allievi scrisse il trattato a Roma nel 1892, verosimilmente a seguito della esperienza in Germania, ma lo pubblicò a Napoli solamente nel 1895, dopo aver lasciato l'incarico universitario.

Il trattato si presenta come una sintesi della Cinematica del moto piano orientata alla progettazione dei meccanismi, con specifico riferimento al lavoro di Burmester[19] e di Schoenflies[20], ma anche con deduzioni originali dovute all'Allievi. È organizzato in sette capitoli, di cui i primi cinque affrontano la trattazione generale ed i successivi due applicano i principi presentati in soluzioni progettuali. In particolare, Allievi fa notare nella prefazione l'originalità del suo lavoro sia nella trattazione generale come nell'applicazione specifica per la classificazione razionale dei meccanismi per il moto piano e più in particolare per le guide rettilinee e circolari.

Nell'Introduzione si esamina la correlazione tra punti e rette, assunti come elementi generatori di luoghi geometrici nel moto piano. L'esame degli elementi caratteristici di una curva di biella sono analizzati tramite una caratterizzazione matematica della geometria differenziale



CINEMATICA

DELLA

BIELLA PIANA

STUDIO DIFFERENZIALE DI CINEMATICA DEL PIANO CON APPLICAZIONI ALLA COSTRUZIONE RAZIONALE DELLE GUIDE DEL MOVIMENTO CIRCOLARE E RETTILINEO

PER

L'Ing. LORENZO ALLIEVI

(TESTO)

NAPOLI

R. TIPOGRAFIA FRANCESCO GIANNINI & FIGLI

1895

Fig. 5 – Frontespizio del trattato 'Cinematica della biella piana' del 1895

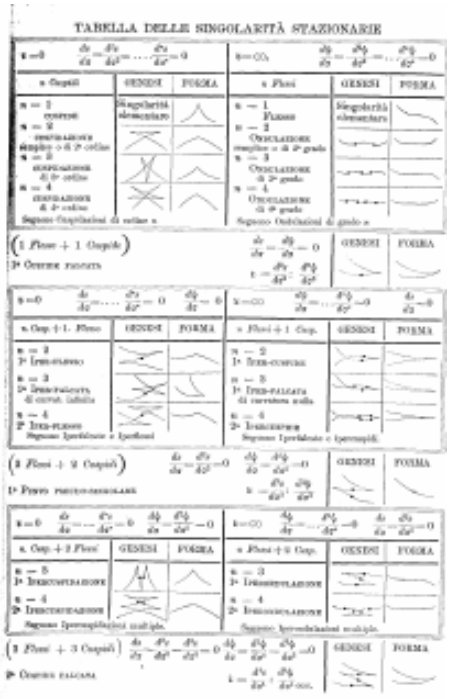


TABELLA DELLE SINGOLARITÀ STAZIONARIE

Fig. 6 – Tabella riassuntiva delle singolarità stazionarie nelle curve di biella del moto piano

ed una caratterizzazione grafica della geometria descrittiva in termini di singolarità. Tale analisi sistematica permette un quadro classificativo completo delle singolarità stazionarie denominate cuspidi, falcate, cuspidazioni, flessi ed ondulazioni e loro iperconfigurazioni in funzione dell'ordine p di cuspide e grado q di flesso ed in termini della loro genesi e forma, riassunto brillantemente nella Tabella riportata in Fig.6.

Nel primo capitolo si riassumono le teorie note sulla curvatura delle traiettorie, si introducono il cerchio dei flessi e quello delle cuspidi, e si deriva l'espressione della curvatura in termini di trasformazione quadratica utile per una nuova sintetica classificazione dei meccanismi per la generazione di traiettorie.

Pur facendo riferimento ai quadrilateri articolati, Allievi affronta la generalità del moto piano considerando i meccanismi derivati dal quadrilatero articolato quando i suoi perni fissi e mobili possano essere vincolati su opportune traiettorie. Definisce testa-croce il perno mobile quello con moto rettilineo collegato ad un perno fisso situato all'infinito e glifo mobile il perno il cui centro del moto è all'infinito. Pertanto, si possono identificare sei famiglie di meccanismi elementari che sono rappresenta-

ti nelle varie configurazioni strutturali possibili nelle Fig. 10-13 del trattato: quadrilateri articolati, manovelle di spinta, glifi-manovelle, glifo testa-croce, glifi a croce, e giunti di Oldham. Per ciascun tipo di meccanismo si possono identificare con semplice procedura grafica i cerchi dei flessi e delle cuspidi, utili per la determinazione della curvatura di qualsiasi punto del piano mobile connesso con la biella.

Nel secondo capitolo si affronta la cinematica relativa a due movimenti infinitesimi. La elaborazione del calcolo della variazione di curvatura permette una caratterizzazione analitica dei cerchi dei flessi e delle cuspidi, rispettivamente come luogo geometrico di punti con curvatura stazionaria e luogo geometrico dei centri di curvatura delle traiettorie a curvatura stazionaria. L'esempio di Fig. 27 nel trattato chiarisce graficamente tale caratterizzazione. Inoltre, trattando le generali espressioni cubiche di tali luoghi geometrici si giunge alla dimostrazione e agli enunciati per la caratterizzazioni cinematiche delle ondulazioni e cuspidazioni come reciproche correlazioni. L'esame è poi esteso al caso del movimento continuo osservando le posizioni reciproche dei punti dei perni e dei loro centri di moto. Tali trattazioni matematiche permettono infine costruzioni grafiche dei luoghi geometrici 'coll'uso della sola squadra'.

Nel terzo capitolo lo studio è esteso al caso di tre movimenti infinitesimi per la caratterizzazione analitica con la Eq.(23) del trattato ed una illustrazione geometrica delle situazioni con curvatura stazionaria con contatti multipli con il cerchio oscuratore. In particolare, Allievi in questo capitolo snellisce la trattazione originaria di Burmester estesa da Schoenflies al moto continuo per la determinazione dei quattro punti ciclici, delineando una più agevole costruzione grafica basata su un procedimento analitico di differenziazione della (r-r*) quando r e r* sono i raggi delle polari del moto.

Nel quarto capitolo vengono studiate le degenerazioni dei luoghi geometrici dei punti a curvatura stazionaria nel piano fisso e nel piano mobile. Tali luoghi geometrici sono espressi dalle cubiche di Eq.(12) del trattato in cui R e S, R* e S* sono i parametri caratteristici rappresentanti i diametri dei cerchi oscuratori dei due rami della curva nel punto doppio della cubica (Fig.22 del trattato).

Le degenerazioni in cerchi e rette sono analizzate tramite le condizioni sui parametri caratteristici e sulle corrispondenti relazioni cinematiche del moto che rappresentano, risultando cinque classi di meccanismi.

$$\left(x^2 + y^2\right)\left(\frac{1}{Ry} + \frac{1}{Sx}\right) = 1 \qquad (1)$$

$$\left(x^{*2} + y^{*2}\right)\left(\frac{1}{Ry^*} + \frac{1}{Sx^*}\right) = 1$$

Nella prima classe per 1/S = 0 le cubiche si scindono ciascuna in un cerchio ed in una retta, ed in funzione dell'ubicazione dei perni su di essi si hanno tre serie di soli quadrilateri articolati: a manovella convergenti, incro-

ciate, o divergenti, con presenza possibile di pseudo-ondulazioni e pseudo-cuspidazioni, doppia-ondulazione (caso illustrato nell'esempio di Fig.81 del trattato) e doppia-cuspidazione. Nella seconda serie, con i perni su cerchio e retta, i meccanismi risultano con proprietà strutturali legate ad una manovella determinando l'insieme di quadrilateri articolati con doppi bilancieri, manovellismi di spinta e glifi, in Fig. 32 del trattato, come aventi la possibilità di pseudo-ondulazioni o pseudo-cuspidazioni espresse da Eq. (31) del trattato. La terza serie, con i perni solo su retta, contiene meccanismi della serie precedente in configurazioni di punto morto.

Nella seconda classe con $1/S = 1/R = 0$ si ha la dualità di serie corrispondenti al caso in cui la cubica degenera nella circonferenza dei flessi o nella circonferenza delle cuspidi oltre alla retta congiungente i loro centri.

In questa classe si ha una ricca varietà di possibilità in termini di movimenti simmetrici di tipo ciclico o paraciclico e di movimento asimmetrici con la presenza di vari tipi di singolarità stazionarie che sono esaminate singolarmente con caratterizzazioni analitiche e grafiche da Fig.34 a 45 del trattato, con un quadro riassuntivo dei meccanismi possibili a pag.92.

Infine viene esaminata la terza classe definita da $1/R = 0$ o $1/R^* = 0$, che corrisponde ai casi che uno dei luoghi geometrici non degenera, e le relative tipologie di meccanismi sono determinate con caratterizzazioni analitiche per pseudo-cuspidazioni e pseudo-ondulazioni nella curva di biella e con rappresentazioni grafiche illustrative da Fig. 46 a 49 del trattato.

Nel capitolo quinto si introduce una quarta classe di meccanismi come deduzione della degenerazione delle cubiche dovuta alla posizione del centro di istantanea rotazione a distanza infinita dando la possibilità di iperfalcate e iperondulazioni. Tale classe è caratterizzata dalla configurazione delle manovelle in parallelo con tre serie di meccanismi illustrati in Fig. 52 e 54 del trattato: quadrilateri articolati, manovellismi di spinta e glifo-manovelle.

Negli ultimi due capitoli vengono esaminati in dettaglio i meccanismi per la generazione di traiettorie di biella quasi circolare e quasi rettilinee, rispettivamente, con particolare attenzione a vincoli progettuali e facendo riferimento alla proposta classificazione in classi e serie. Vengono discusse soluzioni progettuali con ricche illustrazioni grafiche di esempi nelle figure del trattato, le quali risultano di pratica applicazione.

In particolare, all'inizio del capitolo sei si esamina la struttura matematica del problema di sintesi in termini di equazioni e condizioni disponibili per le possibilità offerte dall'avere otto parametri di progetto relativi alle coordinate dei quattro perni del meccanismo in progetto. Se ne deduce che è possibile sintetizzare guide per il movimento di un punto fino al 4° ordine e per il movimento di due punti fino al 3° ordine, potendo quindi sfruttare le possibilità della curvatura stazionaria esaminata in tutte le possibilità di Tabella in Fig.5.

Si riporta, a titolo di esempio della caratterizzazione dell'Allievi, il caso relativo al meccanismo della guida di Watt di Fig. 105 e 106 del trattato, riportate in Fig.7. La guida di Watt è un meccanismo a tra flessi sovrapposti che determinano una pseudo-ondulazione. Agendo sulla separazione di flessi tramite l'allungamento o l'accorciamento delle manovelle, formulati nella caratterizzazione matematica della serie, si può ottenere la separazione dei flessi e quindi l'escursione desiderata del tratto quasi rettilineo. Se ne trae il seguente enunciato con riferimento alla Fig.105 del trattato: 'detta m la lunghezza primitiva delle manovelle e 4 n la loro distanza normale, se si fissa pelle manovelle della guida la lunghezza $(m^2+n^2)^{1/2}$, i due flessi estremi si trovano molto prossimamente alle distanze + n dal flesso intermedio' (pag.150 del trattato). Analoga osservazione può essere applicata al manovellismo di spinta della quarta classe di meccanismi ottenendo la soluzione di Fig.107 del trattato, come alternativa alla guida di Watt di Fig.106 riportati in Fig.7.

La cinematica dei meccanismi in Italia nel XIX secolo

L'opera di Allievi si colloca al termine di un periodo di grande fermento accademico in Italia, da una parte per il riordino e l'organizzazione di un sistema universitario nazionale dopo la recente riunificazione nazionale e dall'altra parte per il prorompente sviluppo della tecnica e dell'ingegneria nell'ambito della Rivoluzione Industriale.

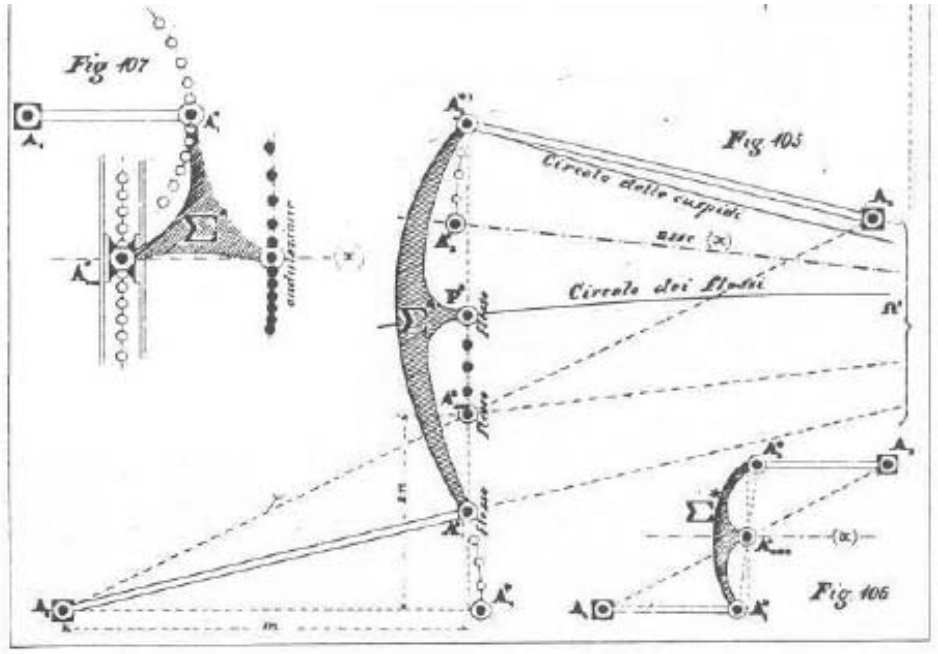


Fig. 7 – Schemi per il progetto di guide rettilinee dalla guida di Watta

La seconda metà del Novecento si può considerare il periodo aureo per la Cinematica dei meccanismi per l'attenzione ed il successo che ha conseguito tanto negli aspetti teorici e didattici come nell'applicazione professionale e di ricerca[21, 22].Infatti, corsi di Cinematica dei meccanismi vengono iniziati ed impartiti in tutte le Facoltà di Ingegneria e lo sviluppo delle macchine e della loro automazione, con incrementi della produttività e della qualità dei prodotti, richiedono meccanismi e loro funzionamenti sempre più elaborati e perfezionati nella loro progettazione ed operatività. L'ingegnere meccanico, con una solida formazione sulla Cinematica dei meccanismi e con abilità progettuali e gestionali delle macchine, diventa la figura principale nello sviluppo tecnologico della Rivoluzione Industriale.

In Italia il processo evolutivo tecnologico è ancor più sentito, perché motivato anche dalla necessità di realizzazione di un tessuto industriale a livello nazionale con il tentativo di colmare le differenze (tuttora purtroppo ancora esistenti) ereditate dalla situazione politica ed economica precedente all'unificazione nazionale. In tale panorama si colloca lo sviluppo della Cinematica italiana dei meccanismi con la particolare finalità di formare ingegneri idonei per l'ambito industriale italiano, ma già con interazioni internazionali, con la specifica preoccupazione di stabilire un tessuto accademico-formativo comune sul territorio nazionale, e con l'attenzione alla ricerca necessaria al continuo sviluppo accademico ed industriale.

I centri ispiratori e promotori di queste attività con molteplici necessità e finalità, anche su base locale, si possono riconoscere negli ambiti accademici con tradizione consolidata in aree sviluppate od in via di sviluppo. Torino, Milano, Bologna, Roma e Napoli sono le principali sedi universitarie in cui la Cinematica di meccanismi ha ricevuto particolare attenzione e sviluppo anche con notevoli risultati nei settori della ricerca scientifica. La necessità di realizzare un piano nazionale didattico con aspetti comuni a tutte le sedi universitarie ha visto impegnati i docenti più illustri nel tenere corsi in più sedi. Emblematica, in tale rispetto, è la figura e l'opera di Ernesto Cavalli che, pur svolgendo la sua attività accademica in Milano, fu impegnato nella didattica e nello sviluppo delle sedi di Livorno, Pisa, Roma e Napoli.

Tali necessità ed i relativi sforzi per soddisfarle sembra abbiano diretto anche la produzione scientifica al solo ambito nazionale, senza peraltro limitarne le prospettive ed il livello dei risultati, ma precludendo possibilità di visibilità e diffusione a livello internazionale, così come documentato dall'assenza di citazioni di opere italiane nella letteratura tecnica internazionale e da quella storiografica odierna relativa al novecento.

Lo studio della Cinematica dei meccanismi, seguendo la tradizione iniziata nel Rinascimento e proseguita nel tempo con personalità ed opere di grande rilevanza, ha conseguito in Italia nella seconda metà del Novecento significa-

tivi risultati (vedi nota 1), come testimoniato dalle numerose pubblicazioni prodotte (ma difficilmente reperibili in una letteratura specificatamente italiana, ed a volte addirittura locale) di una consistente comunità tra cui spiccano quelle di Ernesto Cavalli[23] a Milano, Domenico Tessari[24] a Torino, Francesco Masi[25] a Bologna, Carlo Saviotti a Roma e Dino Padelletti a Napoli. Tali studi, in molti casi, hanno avuto il duplice aspetto di relazione scientifica e testo didattico, sminuendo tal volta il valore innovativo dei risultati riportati (si veda per esempio l'opera di Masi della nota 25). Ciononostante è doveroso osservare gli elevati contributi presenti in tali opere in termini di matematizzazione di caratteristiche cinematiche (soprattutto nell'opera di Cavalli e Tessari), di sviluppo di nuove teorie per l'analisi e la progettazione di meccanismi (soprattutto nell'opera di Masi e Tessari) e perfino in applicazioni in settori anche non propri della meccanica industriale (come per esempio l'opera di Tessari[26] sulla tematica oggi denominata di computer grafica).

Diffusione e contributo

Il trattato di Cinematica dei meccanismi di Allievi non ha avuto diffusione al tempo della sua pubblicazione, soprattutto per la barriera linguistica ed il successivo periodo di scarsa circolazione di pubblicazioni scientifiche durante il secondo conflitto mondiale. Inoltre, l'opera non ha ricevuto la dovuta attenzione, anche perchè Allievi ha abbandonato precocemente l'ambiente accademico e l'ambiente della cinematica dei meccanismi , e non è mai ritornato sull'argomento con ulteriori studi e pubblicazioni. Anche in Italia sembra che il trattato di Allievi sia passato inosservato, sebbene lo si possa trovare archiviato nelle biblioteche delle più importanti Facoltà d'Ingegneria dell'epoca.

Nonostante ciò, l'opera è stata ed è a volte considerata, soprattutto da autori stranieri (come per esempio in [27,28,29,30,31]), un passo importante nello sviluppo della cinematica dei meccanismi per algoritmi progettuali su base di teorie avanzate. Tali citazioni, di cui una limitata selezione è riportata nelle note bibliografiche, dimostrano il valore del trattato di Allievi il cui contributo può essere sinteticamente identificato nella sistematizzazione della cinematica differenziale del moto piano, utilizzando correlazioni tra punti e rette, con applicazione a soluzioni progettuali raccolte secondo criteri e classificazioni razionali e matematiche, in parte derivate da studi di altri autori tra i quali principalmente L. Burmester e A. Schoenflies (note 19 e 20). Il trattato è stato ed ancora può essere di orientamento per la progettazione di meccanismi, con deduzione di nuovi e più complessi sistemi per la tecnologia moderna.

Conclusioni

Riconoscere personalità e opere del passato non ha solo valenza storio-grafica e di dovuto riconoscimento, ma può essere di grande ispirazione per identificare futuri sviluppi ed avere una necessaria coscienza di quanto già si è

raggiunto. Lorenzo Allievi è stato un grande Capitano d'Industria che ha saputo coniugare brillantemente scienza e tecnica, raggiungendo i più alti risultati nei settori delle sue attività.

Di particolare rinnovato interesse è la sua opera 'Cinematica della biella piana' che solo molto più tardi dalla sua pubblicazione è stata apprezzata a livello internazionale, senza peraltro essere conosciuta nei dettagli, sopratutto per problemi di lingua. Tale opera come la personalità dell'autore rendono Lorenzo Allievi esempio e fonte d'ispirazione per lo sviluppo di studi e teorie nel campo della cinematica dei meccanismi che siano di pratica applicazione nei molti settori dell'ingegneria moderna.

[1] Ceccarelli M., *Italian Kinematic Studies in XIXth Century*, International Symposium on History of Machines and Mechanisms HMM2000, Kluwer, Dordrecht, 2000, pp. 197-206.

[2] ASME News, *Allievi Elected Honorary Member*, Mechanical Engineering, Vol.59, nov.1937, p. 877.

[3] Anderson A., *Celebrations and challenger-water hammer at the start of the 20-th and 21-centuries*, BHR Group 2000 Pressure Surges, pp. 317-322.

[4] Angelini A.M., *Ricordo di Lorenzo Allievi, Professione Ingegnere*, n. 3, 1992, pp. 58-60.

[5] Enciclopedia Italiana, *Lorenzo Allievi*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Roma, 1960, vol. 2°, p. 502.

[6] Ceccarelli M., *Cinematica della Biella Piana by Lorenzo Allievi in 1895*, Xth IFToMM World Congress, Oulu, 1999, vol.1°, pp. 37-42.

[7] Marzolo F., *Lorenzo Allievi*, Padova 1942. (articolo ricevuto da Mirta Lancellotti).

[8] Anonimo, *Gli scritti tecnici e scientifici di Lorenzo Allievi,* 1941 (articolo ricevuto da Mirta Lancellotti).

[9] Roger Y., *Era un nonno un po' speciale*, Myrtle Editions, Roma (per gentile concessione di Mirta Lancellotti).

[10] Roger Allievi F., *Lorenzo Allievi: il mio papà*, dattiloscritto, 1955 (per gentile concessione di Mirta Lancellotti).

[11] Luigi Allievi ha donato un ricca raccolta di documentazione tecnica e scientifica di Lorenzo Allievi all'Archivio Storico dell'ENEL

[12] Allievi L., *Teoria generale del moto perturbato dell'acqua nei tubi in pressione (colpo d'ariete)*, Annali della Società degli ingegneri e degli architetti italiani, vol. 17°, n. 5, 1902, pp. 285-325; Atti dell'Associazione elettrotecnica italiana, Vol.7, n.2-3, 1903, pp. 140-196; Atti del Collegio degli ingegneri ed architetti di Milano, giugno 1903, pp. 35-88.

[13] Allievi L., *Teoria del colpo d'ariete – nota 1: esposizione generale del metodo; nota 2: il colpo d'ariete in chiusura; nota 3: il colpo d'ariete in apertura; nota 4: contraccolpi di ritorno a regime; nota 5 fenomeni di risonanza*, Atti dell'Associazione elettrotecnica italiana, vol. 17°, 1913, pp. 127-150; pp. 861-900; pp.1127-1145; pp. 1235-1253.

[14] Allievi L., *Il colpo d'ariete e la regolazione delle turbine*, L'elettrotecnica, vol. 19°, 1932, pp. 146-156.

[15] Allievi L., *Derivazione elementare delle formule generali del moto idraulico perturbato*,

L'elettrotecnica, vol. 20°, 1933.
[16] Allievi L., *Arresto di una colonna liquida in moto ascendente*, L'elettrotecnica, vol. 21°, 1934.
[17] Allievi L., *Camere d'aria nelle tubazioni prementi*, L'elettrotecnica, vol. 23°, 1936, pp. 618 sgg.
[18] Allievi L, *Cinematica della biella piana*, Regia Tipografia Francesco Giannini & Figli, Napoli, 1895.
[19] Burmester L., *Lehrbuch der Kinematik*, Leipzig, 1888.
[20] Schoenflies A., *Geometrie der Bewegung*, Leipzig, 1886.
[21] 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.
[22] Ceccarelli M., *Evolution of TMM (Theory of Machines and Mechanisms) to MMS (Machine and Mechanism Science): An Illustration Survey, Keynote Lecture*, 11th IFToMM World Congress in Mechanism and Machine Science, 2004, Tianjin, 2004, vol. 1°, pp. 13-24.
[23] Cavalli E., *Elementi di Meccanica applicata alle macchine*, Trani Tip., Napoli, 1908.
[24] Tessari D., *La cinematica applicata alle macchine*, Loescher, Torino, 1890.
[25] Masi F., *La Teoria dei Meccanismi*, Zanichelli, Bologna, 1897.
[26] Tessari D., *La teoria delle ombre e del chiaroscuro*, Tipografia Camilla e Bertolero, Torino, 1880.
[27] De Jonge A.E.R., *A Brief Account of Modern Kinematics, Transactions of the ASME*, August 1943, pp. 663-683.
[28] Hain K., *Applied Kinematics*, Mc-Graw Hill, New York, 1967.
[29] Nolle H., *Linkage Coupler Curve Synthesis: A Historical Review – II Developments after 1875*, Mechanism and Machine Theory, 1974, vol. 9°, pp. 325-348.
[30] Nieto J., *Sintesis de Mecanismos*, Editorial AC, Madrid, 1978
[31] Hunt K.H., *Kinematic Geometry of Mechanisms*, Clarendon Press, Oxford, 1978.

Dario Assante, Luigi Verolino

Le imprese polari del generale Umberto Nobile

Le imprese polari del generale Umberto Nobile ricoprono un posto di prim'ordine nella storia dell'Ingegneria, in quanto rappresentano l'atto finale di una delle più grandi sfide che l'uomo abbia lanciato alla natura, la conquista del polo Nord. Grazie alla fortuna e all'ingegno, la sua vita rappresenta un esempio per ogni ingegnere: egli non solo progettò dirigibili, portandone peraltro la tecnologia al massimo sviluppo, ma li vide realizzati e con essi visse delle avventure che hanno pochi eguali nella storia.



Fig. 1 – Il gen. Umberto Nobile

Le spedizioni polari hanno caratterizzato l'inizio del ventesimo secolo. Già nel 1897 l'ingegnere svedese Salomon August Andrè, a bordo di una mongolfiera, tentò di raggiungere il polo Nord: tuttavia la sua audace impresa si trasformerà presto in una tragedia. Nel 1899, una spedizione italiana, guidata dal Duca degli Abruzzi, tenterà la stessa impresa con maggior fortuna: la spedizione giungerà fino alla latitudine di 86°34, ma costerà anche la perdita di due uomini. Nel frattempo, nel 1911, il leggendario esploratore norvegese Roald Amundsen conquistava il polo Sud, usando slitte trainate da cani. Lo stesso Amundsen tentò di raggiungere anche il polo Nord con lo stesso mezzo, ma l'impresa si rivelò ben più ardua ed in definitiva impraticabile, essendo il polo Nord formato non da terra ferma ma da insidiosi blocchi di ghiaccio. Per questo motivo Amundsen decise di utilizzare mezzi meccanici per sorvolare il mare artico e raggiungere il polo in volo. Dopo un primo tentativo con idrovolanti nel 1925, l'attenzione fu rivolta ai dirigibili.

Nel maggio del 1926 il dirigibile "Norge", progettato e guidato da Umberto Nobile, con a bordo Roald Amundsen e Lincoln Ellsword, finanziatore della spedizione, e tredici uomini dell'equipaggio, partì da Roma per la Baia del Re, presso le isole Svalbard, a 79°

di latitudine nord. Qui infatti era stata fissata la base di partenza per la prima trasvolata polare, che dopo 5300 km, sorvolando il polo Nord, porterà il "Norge" in Alaska. L'impresa, oltre alla grande valenza geografica, mostrerà una nuova rotta di comunicazione fra il vecchio ed il nuovo continente, la Rotta Polare, che oggi è lungamente utilizzata. L'impresa sarà un trionfo per l'Aeronautica Italiana, che fornì il mezzo e sei uomini dell'equipaggio, fra cui il comandante Umberto Nobile.

Spinto dal grande successo della prima spedizione e dall'interesse scientifico, il generale Nobile organizzò una seconda spedizione polare, realizzando nel 1928 il dirigibile "Italia". Questa nuova spedizione, nelle intenzioni di Nobile, non si sarebbe esaurita in una

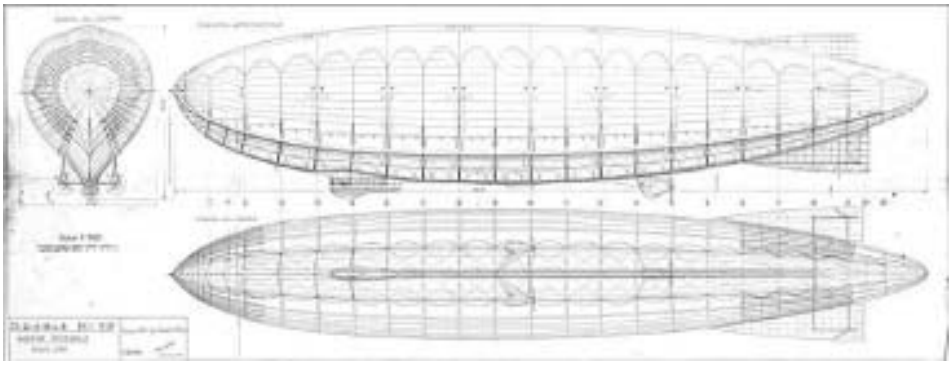


Fig. 2 – Un progetto del Norge



Fig. 3 – L'Italia alla Baia del Re

semplice trasvolata polare ma, con tre diversi voli, avrebbe portato ad effettuare una vasta gamma di esperimenti di vario tipo in una regione che risultava allora ancora inesplorata. Per tale motivo, il dirigibile Italia fu equipaggiato come un vero "laboratorio mobile" e tre scienziati si aggregarono alla spedizione, Aldo Pontremoli del Politecnico di Milano, Frantisek Behounek dell'Università di Praga e Finn Malmgren dell'Università di Uppsala. Il generale Nobile aveva anche previsto, in uno dei voli, uno sbarco sul polo Nord, che era stato solo sorvolato nella precedente spedizione del 1926.

Il 6 maggio 1928 il dirigibile Italia, proveniente da Milano, raggiunge la Baia del Re. Già questo primo viaggio non fu del tutto tranquillo, a causa delle condizioni meteorologiche avverse che caratterizzarono tutta la primavera di quell'anno. Il primo volo esplorativo fu interrotto poco dopo la partenza per le avverse condizioni atmosferiche, mentre il secondo volo fu eseguito regolarmente per la durata di ben 69 ore e 4000 km, sorvolando per lo più zone ancora inesplorate. Il terzo ed ultimo volo prevedeva l'arrivo al polo Nord e la discesa sul suolo artico: il dirigibile Italia partirà per questo viaggio il 23 maggio 1928, ma non tornerà mai più alla base.

A poche ore dal raggiungimento del polo, le condizioni meteorologiche peggiorarono drammaticamente, non consentendo la prevista discesa sui ghiacci. Il dirigibile attese a lungo, in rotta circolare, un miglioramento delle condizioni climatiche che non avvenne, finché il generale Nobile fu costretto a prendere la decisione di rientrare alla Baia del Re. Questa decisione fu presa in base ai calcoli del meteorologo Malmgren, che prevedeva una rotazione del vento a favore della rotta verso le isole Svalbard, il che avrebbe evitato al dirigibile di viaggiare nella tempesta. Tuttavia, dopo 30 ore di navigazione, il vento si mostrava ancora avverso. A questo punto si verificò un'avaria che risultò non riparabile: il dirigibile iniziò ad impennarsi verso il basso, scendendo a circa mezzo metro al secondo. Sebbene fosse stata gettata tutta la zavorra e Nobile avesse provato a riequilibrare il dirigibile in tutti i modi, non fu possibile evitare la caduta sui ghiacci. Così, il 25 maggio, terminava l'avventura del dirigibile Italia e ne cominciava un'altra, la lotta dei superstiti per la sopravvivenza.

Con un terribile schianto, l'aeronave strisciò violentemente sul ghiaccio, la cabina di comando si aprì e catapultò fuori tutto il suo contenuto, uomini e mezzi. Dopo ciò l'aeronave, alleggeritasi di quasi 1200 kg, riprese quota per scomparire nel cielo artico. Con essa scomparvero anche il prof. Pontremoli, il giornalista Lago e gli ufficiali Alessandrini, Arduino, Caratti e Ciocca, che al momento dell'impatto si trovavano nella parte superiore del dirigibile e non furono scaraventati sui ghiacci. Ad oggi, i loro corpi non sono ancora stati trovati.

Sui ghiacci, nel frattempo si contavano i superstiti: Mariano, Zappi, Viglieri, Biagi, Troiani ed il prof. Beho-



Fig. 4 – La caduta dell'"Italia" in una stampa d'epoca

unek, sebbene feriti, erano salvi. Malmgren, Cecioni ed il generale Nobile presentavano invece alcune fratture. Il motorista Pomella rimase invece ucciso nell'impatto. L'unica a godere di buona salute era la mascotte della spedizione, la cagnetta di Nobile, Titina (oggi impagliata e conservata al Museo Nazionale di Aeronautica Militare). Per i nove sopravvissuti iniziava la lotta per la sopravvivenza. In questo furono aiutati dalla gran quantità di materiale che fuoriuscì dal dirigibile durante la caduta: provviste ed apparecchiature di vario tipo, una radio ed una tenda da campo per quattro persone, che offrirà un rifugio stretto ma caldo ai sopravvissuti. Il riparo, ricoperto di vernice rossa per essere più facilmente avvistato dai soccorritori, diventerà la famosa Tenda Rossa (oggi conservata nel Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica di Milano).

I superstiti provarono subito a contattare la nave appoggio "Città di Milano", ormeggiata presso la Baia del Re, utilizzando la radio che avevano a disposizione, una piccola Ondina 33 regalata a Nobile da Guglielmo Marconi. La radio risultò tuttavia danneggiata dalla caduta e funzionante solo in ricezione. L'ascolto dei dispacci radio trasmessi dalla Città di Milano allarmò ulteriormente i naufraghi quando constatarono che i soccorsi erano diretti in zone ben lontane dal punto di caduta del dirigibile.

L'arrivo di un orso polare alla Tenda Rossa creò ulteriore panico nei naufraghi: tuttavia il pronto intervento di Malmgren, che uccise l'orso con una pistola, trasformò il predatore in preda e fornì ai naufraghi un'abbondante scorta di cibo.

Dopo 5 giorni il radiotelegrafista Biagi riuscì a riparare la radio, ma i suoi messaggi di S.O.S. sembravano inascoltati. Per tale motivo, la sera del 30 maggio, una pattuglia di tre uomini, Mariano, Zappi e Malmgren, decise di intraprendere una lunga marcia sui ghiacci fino a Capo Nord, per dare l'allarme e coordinare i soccorsi.

Nel frattempo, il 2 giugno un giovane radioamatore russo ricevette il messaggio dei naufraghi, che viene trasmesso alla Città di Milano. Si riaccesero le speranze, in pochi giorni la Baia del Re



Fig. 5 – La Tenda Rossa in una foto scattata dai superstiti



Fig. 6 – La Tenda Rossa fotografata dall'aereo di Maddalena: Viglieri saluta i soccorritori

si riempì di idrovolanti e mezzi di soccorso, innescando una gara di solidarietà che ha pochi eguali nella storia. Uno fra i primi ad accorrere fu lo stesso Amundsen che, per cercare di raggiungere Nobile, ottenne un idrovolante dalla Marina Militare francese, un Latham 47, e con esso tentò di raggiungere la Tenda Rossa. Tuttavia l'esploratore norvegese non poteva immaginare che la sorte, già avversa a Nobile, con lui sarebbe stata ancora più crudele. Il 18 giugno Amundsen scomparve con l'aereo ed il suo equipaggio nel mare di Barents e solo dopo mesi furono ritrovati alcuni resti dell'idrovolante.

Sorte migliore toccò al tenente colonnello Umberto Maddalena che, con un idrovolante S55 dotato di una radio a bordo, riuscì per primo a raggiungere la Tenda Rossa ed a rifornire dal cielo i naufraghi con cibo e medicinali.

Sulla scia di questo successo, il luogotenente della Marina svedese Einhard Lundborg tentò la stessa impresa e con il suo biplano Fokker 31, munito di pattini, riuscì ad atterrare nei pressi della Tenda Rossa e a trarre in salvo Nobile, riportandolo alla Baia del Re. Nonostante il generale volesse lasciar partire prima suoi compagni, Lundborg lo convinse a venire con lui: solo Nobile, infatti, sarebbe stato in grado di coordinare i soccorsi, una volta giunto alla Baia del Re. Lundborg in seguito provò a trarre in salvo anche gli altri naufraghi, ma il suo secondo volo alla Tenda Rossa si concluse con un atterraggio rovinoso, in cui l'aereo si danneggiò irrimediabilmente. Lundborg ne uscì illeso ma divenne suo malgrado ospite della Tenda Rossa. Questo incidente pose definitivamente fine ai tentativi di salvataggio per via aerea.

Non cessarono invece i tentativi via terra. Su tutti va ricordato quello del capitano degli alpini Gennaro Sora, che intraprese una marcia sui ghiacci per intercettare la pattuglia di Mariano partita dalla Tenda Rossa e di cui non si avevano più notizie. Il capitano Sora non riuscì a raggiungerli ma percorse, in condizioni di marcia davvero impossibili, ben 486 km in 13 giorni, saltando da un lastrone di ghiaccio all'altro e cadendo nell'acqua gelida per ben tre volte, riuscendo tuttavia a sopravvivere. Nel frattempo, vista l'impossibilità



Fig. 7 – Nobile (a sinistra) tratto in salvo da Lundborg



Fig. 8 – La zona del ritrovamento di Mariano e Zappi, fotografata dal Krassin

di raggiungere la Tenda Rossa via aria e via terra, si decise di tentare via mare. A tale scopo, il 16 giugno partì da San Pietroburgo il Krassin, il più potente rompighiaccio del Nord Europa con i sui 10600 cavalli e 10000 tonnellate di stazza. Il comandante del Krassin, Rudolf Samoilovich, era amico personale di Nobile. La spedizione del Krassin inizialmente non fu molto fortunata. Il 3 luglio, già a corto di carbone, fu costretto a fermarsi per un'avaria, dovuta alla rottura di un'elica per l'eccessivo spessore dei ghiacci. La situazione era drammatica in quanto la penuria di combustibile avrebbe dovuto spingere Samoilovich a cambiare rotta per un rifornimento, ma un'ulteriore ritardo nei soccorsi, con l'estate incombente che scioglieva i ghiacci, sarebbe stata fatale per i naufraghi.

Nobile, resosi conto della situazione, inviò un radiogramma a Samoilovich, pregando di non interrompere le ricerche, in nome della loro vecchia amicizia. Dal Krassin fu allora fatto sbarcare il trimotore Junkers per un'ispezione delle regioni circostanti: se fosse stata avvistata la Tenda Rossa, Samoilovich avrebbe rischiato di terminare il carburante pur di raggiungerla. Dopo un breve e fortunato volo, l'aereo scorgerà due uomini in marcia sui ghiacci, che verranno recuperati di lì a poco dal Krassin. Si tratta di Mariano e Zappi, partiti più di un mese prima dalla Tenda Rossa: il povero Malmgren, sfinito dalla fatica della marcia e caduto in acqua, morì il 14 giugno, non molto lontano dal punto di partenza.

L'arrivo del Krassin salvò la vita ai due ufficiali, perché in poche ore il ghiaccio sotto i loro piedi si sarebbe sciolto, condannandoli a morte certa. Ciò è testimoniato dalle figure 7 ed 8, due incredibili foto scattate a bordo del Krassin.

I motori del Krassin vengono rimessi in moto ed in breve raggiungono la Tenda Rossa. È il 12 luglio: dopo 68 giorni sui ghiacci, per i naufraghi l'incubo è terminato.

Il ritorno in patria fu per Nobile tutt'altro che glorioso. Italo Balbo, allora ministro dell'aeronautica e acerrimo nemico di Nobile, lo accusò pubblicamente di vigliaccheria e arroganza per aver abbandonato per primo la Tenda



Fig. 9 – La stessa zona della figura 8, dopo poche ore!



Fig. 10 – Il Krassin alla Tenda Rossa

Rossa. In realtà Balbo riteneva superato il tempo dei dirigibili e credeva fermamente nell'aereo come strumento di volo. Questo ingiustificato attacco portò Nobile a dimettersi dall'Aeronautica ed a trasferirsi all'estero, prima in Russia e poi negli Stati Uniti, per dedicarsi alla costruzione di aeromobili. Ritornerà in Italia solo nel 1945.

Umberto Nobile sopravvisse 50 anni alla tragedia del dirigibile Italia e scrisse venti libri sull'argomento. Tutt'oggi si ignorano le vere cause della sciagura. Un'ipotesi credibile si basa sui lavori di "manutenzione" che gli alpini effettuarono sul dirigibile prima dell'ultima partenza. Per liberarlo dalla neve, gli alpini dovettero salirvi sopra e spalare. Le loro scarpe chiodate potrebbero aver aperto dei piccoli fori nel dirigibile che poi si sono ingranditi per le condizioni avverse incontrate nella navigazione.

In ogni caso, la caduta del dirigibile Italia, insieme con il disastro dell'Hindenburg, segnarono la fine dell'epoca dei dirigibili. L'aereo si affermerà definitivamente come il dominatore dei cieli.

Per un approfondimento, risultano particolarmente appassionanti i libri scritti dallo stesso Nobile. Fra questi ricordiamo:

· In volo alla conquista del segreto polare;

· *L'ITALIA al Polo Nord*;

· La preparazione e i risultati scientifici della spedizione dell'ITALIA;

· *Posso dire la verità*;

· *L'umanità al bivio*;

· *La tenda rossa*;

· *Ali su Polo*;

· *La verità in fondo al pozzo*;

· *Memorie di neve e di fuoco*.

Infine, si consiglia vivamente la visione del film "La Tenda Rossa", di Mikhail Konstantinovic Kalatozov (1969).

Gli autori sono grati al prof. Barbieri, presidente del comitato internazionale per la rievocazione delle imprese polari di Umberto Nobile, per l'interessante conferenza tenuta su questo tema l'11 febbraio 2003 presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università Federico II di Napoli, che ha ispirato questo lavoro.

Sara Calabrò, Cesare Cardani

L'idroplano di Enrico Forlanini

Gli studi applicativi compiuti da Enrico Forlanini per la realizzazione di imbarcazioni a sostentazione idrodinamica rappresentano uno dei suoi più importanti lasciti tecnologici.

Le sue realizzazioni, che contribuirono ai progressi dell'aeronautica ma soprattutto segnarono un tappa significativa nell'evoluzione dell'odierno aliscafo, vennero sperimentate fin dai primi anni del 1900 sulle acque del lago Maggiore tra Laveno, Stresa e Locarno, come ampiamente documentato da un interessante filmato del 1911[1], dalla stampa locale dell'epoca e da recenti articoli e saggi[2].

Prima di approfondire la storia degli idroplani di Forlanini è opportuno delineare brevemente la figura di questo ingegnere milanese, pioniere dell'aeronautica, instancabile ricercatore e imprenditore di successo. Enrico Forlanini nacque il 13 dicembre 1848 in una famiglia borghese milanese di consolidata tradizione scientifica. Il padre Francesco era primario all'Ospedale Fatebenefratelli; il fratello Carlo, anch'esso medico e docente in diverse sedi universitarie italiane, raggiunse la notorietà per l'ideazione, realizzata poi in collaborazione con il fratello Enrico, del pneumotorace artificiale per la cura della tubercolosi.

Dopo aver completato gli studi tecnici e aver intrapreso la carriera militare nell'Arma del Genio, Enrico Forlanini, in aspettativa, conseguì la laurea in Ingegneria Industriale nel 1875 al Politecnico di Milano; l'anno successivo venne assunto all'Ufficio Tecnico del comune di Gallarate con l'incarico di ingegnere municipale e di insegnante di Meccanica pratica.

Nel 1877, dopo sei anni di accurati studi ed esperimenti su modelli di eliche, Forlanini presentò al mondo scientifico e imprenditoriale il suo modello di elicottero a vapore che si innalzò in volo a 13 metri d'altezza, realizzando così la prima macchina più pesante dell'aria in grado di sollevarsi da terra portando con sé il proprio propulsore.

Nel 1878 lasciò la carriera militare per coprire l'incarico di direttore dello "Stabilimento Gazogeno e Fonderia Meccanica" a Forlì, azienda che, grazie al suo talento imprenditoriale, rilevò nel 1895 e per la quale progettò e costruì macchinari innovativi, tra i quali generatori di gas acetilene.

Il suo ritorno a Milano nel 1897 e l'incontro con il tenente del Genio Cesare Dal Fabbro segnarono l'inizio di una profonda amicizia e di una duratura e significativa collaborazione in diversi ambiti, tra i quali la progettazione dell'"idrovolante", ma soprattutto la lunga serie di dirigibili semirigidi: l'*F.1 Leonardo da Vinci*, che compì la sua prima ascensione il 27 novembre 1909,



Fig. 1 - Idroplano N.1 in movimento sollevato sull'acqua, Lago Maggiore 1905. Biblioteca di Ingegneria aerospaziale del Politecnico di Milano. Fondo del Fabbro

a cui seguirono l'*F.2 Città di Milano* (1913) e, tra il 1915 e il 1918, l'*F.3*, l'*F.4*, l'*F.5* e l'*F.6*, alcuni dei quali parteciparono ad azioni belliche nella prima guerra mondiale.

Forlanini scomparve nel 1930 lasciando incompiuta la sua aeronave sperimentale *Omnia Dir*. Alla sua memoria è intitolato l'aeroporto milanese di Linate, inaugurato il 21ottobre 1937[3].

Gli idroplani Forlanini

L'opera di Forlanini che riguarda le macchine che egli stesso definisce "idrovolanti" è fortunatamente giunta a noi completa in ogni sua parte, iconografica e descrittiva, grazie a una sorprendente ricchezza di fonti: schizzi, note, appunti, relazioni e diari giornalieri di prove[4] e soprattutto alle deposizioni di brevetto del 1904[5] e del 1906[6].

Le sue realizzazioni in questo campo, per le quali negli anni immediatamente successivi aveva depositato brevetti anche in Svizzera, Austria e Stati Uniti[7], ottennero ampio riconoscimento presso i suoi contemporanei anche in ambito internazionale, in particolar modo per gli studi e le applicazioni relativi alla sostentazione idrodinamica. Emblematico è l'interessamento al lavoro di Forlanini di Alexander Graham Bell (1847-1922), inventore e imprenditore statunitense che, nella primavera del 1911, accompagnato da Casey Baldwin suo principale collaboratore, provava l'ebbrezza di una corsa alla velocità di un treno espresso, a bordo dell'idroplano di Forlanini sulle acque del lago Maggiore[8]. Bell e Baldwin da tempo conducevano prove di sostentazione dinamica, e sin dal 1908 i risultati ottenuti da Forlanini rappresentavano un sicuro riferimento per le loro ricerche[9], tanto da indurli ad incontrarlo e sperimentare il suo idroplano sulle acque del lago Maggiore in occasione del giro del mondo da loro compiuto tra il 1910 e il 1911. L'entusiasmo di Bell si concretizzò nell'acquisto della licenza di utilizzo del brevetto di Forlanini per il territorio degli Stati Uniti, evento che favorì lo sviluppo, nel Nord America, di varie macchine e la conquista, nel 1919, del record mondiale di velocità sull'acqua con 114,04 km/h[10].

Le finalità della ricerca e delle esperienze di Forlanini sono dichiarate all'inizio della relazione che accompagna il deposito del 1904, dove egli denomina questi apparecchi "idrovolanti", paragonando l'azione dell'acqua sulle palette a quella dell'aria sulle ali degli uccelli: "La presente invenzione ha per oggetto la costruzione di apparecchi destinati a viaggiare sull'acqua essendo sostenuti dalla medesima per reazione dinamica, anziché per reazione statica

come avviene per le navi e galleggianti in genere, e ciò mediante l'azione dell'acqua sopra piani e superfici collegate all'apparecchio in movimento e facenti un piccolo angolo con l'orizzonte[11]."

Cesare Dal Fabbro descrive così l'idroplano Forlanini:

"Schematicamente l'idrovolante Forlanini si può ridurre ad uno scafo al quale sono solidamente uniti alcuni gruppi di minuscole ali orizzontali di acciaio, più basse del fondo di esso. Queste ali, ad una certa velocità di marcia dell'apparecchio, determinano una spinta verticale dinamica eguale al peso totale di esso ed il conseguente sollevamento dello scafo fuori dall'acqua, dalla quale esso resta allora sostenuto in grazia della sola reazione dinamica risentita dalle alette inferiori dei gruppi anzidetti, immerse nell'acqua. In queste condizioni la formidabile resistenza che opporrebbe all'avanzamento dello scafo scompare ed è sostituita dalla molto minore resistenza delle piccole alette inferiori dei gruppi, così che, a parità di potenza consumata, l'apparecchio può raggiungere velocità assai superiori a quelle ottenibili nella marcia ordinaria a scafo immerso[12]."

Studi e brevetti sugli idroplani

Per meglio comprendere il lavoro di Enrico Forlanini nel contesto tecnico e scientifico del suo tempo può essere interessante tracciare brevemente lo sviluppo degli studi relativi al principio e alle applicazioni della sostentazione idrodinamica di natanti. Gaetano Arturo Crocco, in una nota del 1908, traccia un'effi-cace sintesi dei più rilevanti e noti brevetti dell'epoca attraverso la lettura critica degli studi e delle realizzazioni compiuti a partire dalla seconda metà dell'800.

Primo fra tutti Clément Ader condusse nel 1867 esperienze per sostenere corpi con piani inclinati realizzando un modello dalla forma di uccello predisposto per slittare sulle ali e sulla coda senza il coinvolgimento del corpo. Ad Ader si deve il merito di avere intuito per primo la possibilità di trarre spunto dal volo animale per sviluppare un nuovo sistema di sostentazione acquatica, elemento ripreso da Forlanini ed evidente in alcuni suoi particolari costruttivi, come la forma ad ala delle alette sostentatrici.

Nel 1872 il reverendo Charles Mead Ramus di Playden in Inghilterra enunciò il principio della sostentazione dinamica mediante l'azione di piani inclinati che fu esaminato, pubblicamente discusso e ritenuto inapplicabile, da William Froude.

Nel 1891 in Francia il conte di Lambert brevettò una soluzione costituita da una serie di piani inclinati collegati tra loro da due elementi trasversali che sostenevano lo scafo. L'imbarcazione era sorretta da galleggianti che, quando lo scafo era in moto, emergevano completamente. Questo idroplano ebbe una certa fortuna raggiungendo i 36 Km/h con un motore di soli 12 cavalli; però questa invenzione non ebbe gli sviluppi auspicati, tanto che nel 1904 Lambert brevettò una soluzione nella quale i piani inclinati fungevano essi stessi da gal-

leggianti, allontanandosi così dalla sua prima idea. In seguito adottò un motore "Antoinette" di 80 HP ma i risultati ottenuti con l'ac-cresciuta potenza non furono in proporzione con i precedenti. Questo stesso principio fu ripreso nel 1892 da Hiram Maxim in Inghilterra. Maxim dispose i piani inclinati prevalentemente a poppa. Il brevetto fu abbandonato nel 1896.

Il 1895 segna una tappa importante nell'evoluzione dell'idroplano. Nel luglio di quell'anno infatti Sidney A. Reeve depositò negli Stati Uniti un brevetto in cui per la prima volta era previsto che lo scafo viaggiasse interamente emerso dall'acqua. In esso erano indicate puntualmente tutte le specifiche costruttive. L'anno seguente i fratelli William M. e Larned E. Meacham presentarono una richiesta di brevetto dai contenuti molto simili a quello di Reeve, tanto da suscitare un'accesa contestazione di priorità inventiva. La novità del brevetto Meecham consisteva nell'introduzione dell'uso di alette, piane o curve, completamente immerse nell'acqua in posizione tale che la direzione generale delle superfici di esse fosse inclinata in avanti rispetto alla linea di movimento e tale che l'acqua fosse mossa quasi verticalmente verso il basso, conferendo così alle alette stesse un potere sollevante. Non abbiamo notizia che tale brevetto fosse noto a Enrico Forlanini ma sicuramente alcuni elementi, come le alette multiple, sovrapposte sullo stesso sostegno e regolate da un congegno per determinarne l'inclinazione, l'adozione di un lungo braccio trasversale e alette di poppa leggermente oblique rispetto a una linea orizzontale trasversale, saranno adottate anche sia da Forlanini sia da Gaetano Arturo Crocco che, con Ottavio Ricaldoni, negli anni immediatamente successivi progetta e realizza l'idroplano *N.1*.

In Europa non si seppe nulla dei risultati conseguiti dai fratelli Meacham fino al 1906, anno in cui i brevetti furono resi pubblici. Per ritrovare nel vecchio continente risultati comparabili a quelli statunitensi bisogna giungere al marzo 1903, quando Giuseppe Vigo di Acireale ottenne un brevetto, tanto impreciso e lacunoso nell'esposizione dei particolari costruttivi quanto puntuale nella definizione del concetto di base, per molti aspetti simile a quello di Maxim. Vigo intuì il principio fondamentale dell'idroplano, cioè che lo scafo dovesse essere completamente fuori dall'acqua in condizioni di moto, grazie all'azione di piani inclinati staccati dal corpo dello scafo.

Un'argomentazione più articolata e fondata fu esposta da William Ph. Thompson di Liverpool in una richiesta di brevetto presentata prima al Patent Office degli Stati Uniti nel 1903 poi, l'anno successivo, in Inghilterra e in altri stati europei. In esso sono espressi alcuni principi teorici già anticipati dai fratelli Meacham – quali lo scafo totalmente fuori dall'acqua, la variazione dell'area portante con il variare della velocità, la variazione dell'angolo di incidenza delle alette – mentre le soluzioni costruttive differiscono sostanzialmente: ali sovrapposte a differente al-

tezza e gradatamente emergenti al crescere della velocità, ali oblique, a V semi immerse la cui area immersa varia con il moto, ali strette e lunghe in senso trasversale, impiego di propulsori per superare il punto critico di sollevamento. Ma le intuizioni di Thompson, prima ancora che potessero essere note, furono di fatto anticipate in Italia da Enrico Forlanini nel 1904, per la soluzione con le alette sovrapposte, e da Gaetano Arturo Crocco nel 1095, per quella con le ali oblique a V col vertice sul piano di simmetria dell'imbarcazione.

I brevetti Forlanini

Il brevetto di Enrico Forlanini del 1904, pur pervenendo per vie autonome ai principi teorici e alle soluzioni costruttive dei fratelli Meacham e di Thompson, presenta una chiarezza di concetti e una precisione teorica frutto di attenta sperimentazione tali da consentire, a differenza dei suoi predecessori, di realizzare un mezzo in grado di funzionare con buone prestazioni. Forlanini accompagnò sempre la ricerca teorica con una sperimentazione rigorosa. La rilevazione e l'analisi metodica dei risultati gli fornirono gli elementi su cui fondare le successive sperimentazioni[12].

Nella relazione che introduce il deposito di brevetto del 1904, Forlanini cita gli studi sullo sfruttamento della sostentazione dinamica di un natante condotti da Ramus, Froude, Maxim e Vigo. Si dichiara sorpreso che nemmeno questi eminenti studiosi fossero an-

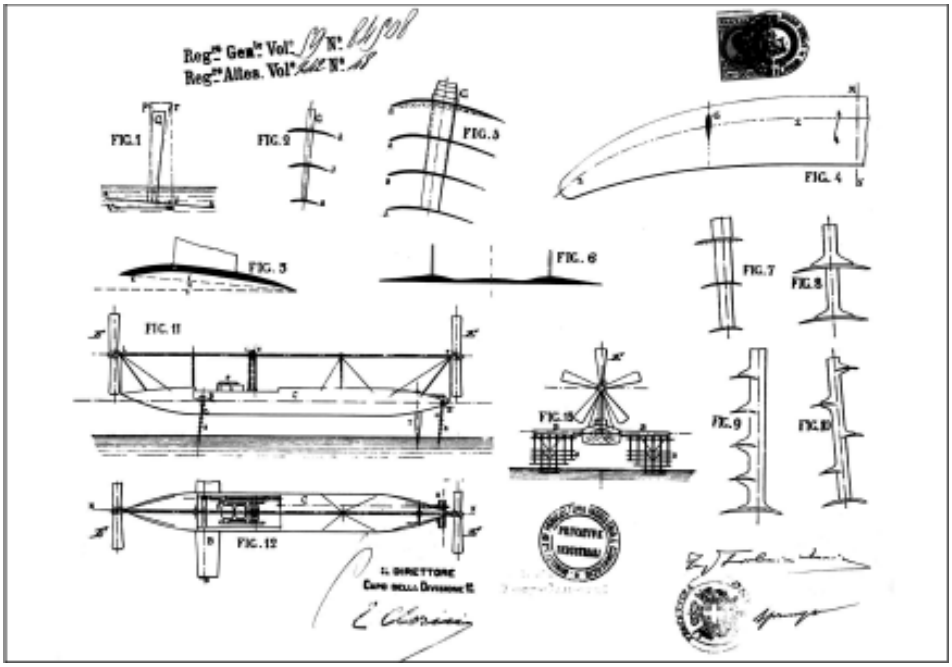


Fig. 2 - Allegato al brevetto Apparecchio per navigare sull'acqua e nell'aria detto "Idrovolante", 6 settembre 1906. Archivio di Stato, Roma

cora riusciti a tradurre in pratica l'idea e rivendica pertanto l'originalità della sua intuizione:

"Nello scorso anno io costrussi ed esperimentai con successo sul Lago Maggiore, dei piccoli apparecchi sostenuti unicamente per reazione dinamica, piccoli apparecchi che, senza il più piccolo dubbio, si sarebbero potuti eseguire ed esperimentare con eguale successo anche parecchi secoli fa; pertanto, senza investigare qui le ragioni dell'abbandono dell'idea per parte del Ramus e del Froude credo sia lecito concludere che l'idea da essi abbandonata deve considerarsi come sostanzialmente diversa dalla mia, quantunque apparentemente la stessa, non essendo certo ammissibile che un Froude ed un Maxim non avessero saputo o potuto fare ciò che a me invece è riuscito assai facilmente, di prima intenzione […]. Pertanto io rivendico qui la priorità della effettiva applicazione di superfici a piccola inclinazione per sostenere dinamicamente un corpo in movimento sull'acqua, nonché la priorità delle modalità e dei mezzi atti a rendere possibile e soprattutto praticamente conveniente una tale applicazione[14]."

Questa affermazione probabilmente anticipa quanto poi avrebbe ribadito nel brevetto del 1906 ampliando le possibilità d'impiego dell'idroplano, oltre che come imbarcazione, anche come vera e propria macchina volante in grado di utilizzare la superficie dell'acqua per il decollo e l'atterraggio. "Gli apparecchi idrovolanti possono avere tre modi distinti di locomozione, e cioè:

1° nell'acqua come le navi in genere

2° sopra l'acqua a piccola altezza dal suo livello […]

3° nell'aria anche a grandi altezze partendo però sempre dall'acqua.

[…] si tratta dunque di un'applicazione dell'aeronautica e più precisamente dell'aviazione alla nautica: per brevità daremo a tali apparecchi la denominazione di idrovolanti nel senso che, per essi, la funzione sostanziale del volo si compie anche nell'acqua per l'urto di questa sulle palette in essa immerse[15]."

Realizzate nel più ampio ambito di sperimentazione e ricerca sul volo, le esperienze iniziarono già durante la permanenza di Forlanini a Forlì ma portarono al deposito del primo brevetto dopo una stagione di prove, condotte nel corso del 1903, sulle acque del Lago Maggiore. Durante questa fase Forlanini aveva impiegato piccoli apparecchi –di cui uno del peso di circa 5 kg– da lui stesso denominati "canotti", costruiti in latta con parti in ottone, che venivano trainati da una barca a remi a una velocità variabile, da uno a tre metri al secondo. A seguito di queste esperienze egli si applicò tra il 1903 e il 1904 a ulteriori indagini sulla forma delle alette e, servendosi di una piccola vasca tipo Froude e utilizzando strumenti di misura da lui stesso ideati, fatti costruire e tarati nella sua officina di Milano, ricavò una serie di dati importanti in un campo all'epoca ancora scarsamente esplorato[16].

Dopo alcune prove effettuate, prima su un tratto del fiume Lambro vicino al cantiere di Crescenzago e poi sul Navi-

glio Grande alla Conca Fallata, Forlanini riprese la sperimentazione sulle acque del Lago Maggiore, con il primo "apparecchio idrovolante" a grandezza reale.

In base ai risultati ottenuti egli realizzò in seguito un modello schematico con la struttura dell'apparecchio definitivo. Senza un propulsore proprio, il modello veniva trainato da un motoscafo ed era in grado di sostenere il peso di una o anche di due persone come testimoniato dalla ricca documentazione fotografica che evidenzia inoltre come a bordo ci fosse lo stesso Forlanini, sempre pronto a verificare personalmente i risultati delle sue ricerche. Le prove di questo modello furono condotte nel bacino di Stresa sul lago Maggiore e il loro esito confermò l'esattezza dei risultati stabiliti nelle esperienze precedenti, tanto che nell'ottobre del 1905 la nuova macchina era pronta: il *N.1* –l'idroplano più grande tra quelli realizzati da Forlanini con eliche d'aria– aveva un peso di 1650 kg e montava un motore Fiat da 75 HP. Le due eliche contro-rotanti, a 5 pale in legno, erano di 2,70 metri di diametro e di 6 metri di passo medio e riuscivano a spingere l'imbarcazione alla velocità di 70 km/h, tenendola sollevata a un'altezza di 0,55 metri sull'acqua. Il timone, come descritto da Dal Fabbro, era di tipo lamellare, assai largo in alto e molto sottile e stretto nella zona inferiore, e consentiva un governo perfetto dell'apparecchio tanto alle piccole velocità iniziali, cioè a scafo immerso, quanto alla velocità massima, a scafo emerso.

In una nota presumibilmente di suo pugno, Forlanini sosteneva che la superficie immersa delle palette in condizioni di marcia era di soli 0,15 metri quadrati, corrispondente a un peso di 11 tonnellate per metro quadrato. Si dichiarava poi estremamente soddisfatto del risultato delle esperienze, effettuate nel corso di tre anni, tranne che per la scarsa affidabilità del motore. Sin dalle prime apparizioni dell'idroplano la stampa locale e nazionale seguì con interesse ed entusiasmo gli sviluppi del lavoro di Forlanini. I giornalisti descrivevano infatti l'idroplano Forlanini *N.1* come innovazione rivoluzionaria, a partire dalla sua stessa forma: "[…] molti lo rassomigliano ad un grande pesce […]. Ha la forma di un fuso che si sformi alle estremità in una larga pinna[17]."

L'idroplano o "idrovolante", come veniva chiamato dal suo inventore, in molte prove cronometrate aveva oltrepassato infatti i 72 chilometri orari, una velocità significativa per l'epoca. Importanti personalità del mondo tecnico e politico si riunirono sul lago Maggiore il 14 novembre 1907 ad ammirarne le prestazioni; tra loro l'ingegner Lévavasseur, l'inventore dei motori Antoinette giunto per l'occasione da Parigi, l'ingegner Braty, il celebre capo tecnico della casa Ganz, e il professor Menozzi, in rappresentanza del sindaco di Milano[18].

Successivi prototipi seguirono al primo idroplano, alcuni realizzati altri rimasti invece alla fase di studio e progetto. Tra questi, i modelli più studiati e perfezionati furono il *N.3* e il *N.7*.

Il *N.3* fu provato tra il 1908 e il 1909 anche con un motore a vapore White di soli 25 HP, ma dal funzionamento maggiormente regolare del più potente Antoinette; sospinto da un'elica d'acqua, riuscì a raggiungere in diverse occasioni i 50 km/h, nonostante pesasse più di una tonnellata. È interessante notare come i criteri per la scelta del tipo di elica – d'acqua o d'aria– non fossero dettati dalla ricerca di una soluzione ottimale in assoluto: ogni realizzazione presentava caratteristiche idonee al risultato specifico che Forlanini, di volta in volta, voleva conseguire, come egli stesso scrive: "La scelta del tipo di idroplano con elica d'aria o d'acqua, con tre o quattro gruppi di palette, dipenderà dalle condizioni imposte di dimensioni, di velocità, di stabilità. Apparecchi leggeri potranno facilmente avere un'elica d'aria (vedi il *N.2*). Apparecchi grossi e non eccessivamente veloci potranno avere convenientemente elica d'acqua (vedi *N.7*). Apparecchi velocissimi, da corsa, dovranno avere necessariamente l'elica, meglio le eliche, d'aria (vedi *N.5*)[19]."

Dopo avere sperimentato su altri apparecchi vari propulsori, in particolare alcuni Antoinette da 35 HP, nel 1910 Forlanini realizzò il *N.7*, sempre con elica d'acqua, del peso di due tonnellate compreso l'equipaggio di due persone, e con la possibilità di ospitare a bordo fino a quattro passeggeri. Con questo apparecchio dotato di un motore Fiat da 100 HP, il 23 dicembre effettuava un raid di 34 km da Laveno a Locarno e ritorno, completando il percorso in 29 minuti alla notevole velocità media di 70 km/h.

L'idroplano *N.7* compiva il suo primo viaggio per mare da Fiumicino a Porto d'Anzio il 29 luglio del 1911, con onde di circa 30 cm e tre persone a bordo, coprendo un tratto di 52 km a un'andatura superiore ai 60 km all'ora. Era uno dei diciotto iscritti nella categoria "Italia" alla prestigiosa crociera internazionale Torino-Venezia-Roma promossa dal Touring Club Italiano, "audace iniziativa […] la prima indetta in Italia e la più grandiosa di quante altre ebbero compimento in Europa ed in America[20]" a cui partecipavano, stando alle iscrizioni dei primi di giugno 1911, ben 45 imbarcazioni, tra yacht e canotti, provenienti da otto nazioni, tra cui figuravano alcuni temibili avversari come il team francese del sig. Despujols e il motoscafo inglese *Columbine* di Edgard Thornton.

Il *N.7*, nonostante le difficoltà legate principalmente alle discontinue prestazioni del motore, confermava la sua superiorità tecnica rispetto ad altri partecipanti, come l'inglese *Columbine* o il francese *Sigma Labor*: infatti, pur non potendo prendere regolarmente parte alla gara, riuscì ugualmente a stabilire, senza difficoltà alcuna, il record della velocità.

L'idroplano di Forlanini continuò a suscitare interesse in ambienti militari e civili che si protrasse per molto tempo dopo le ultime esibizioni di cui abbiamo testimonianza. Risulta da un carteggio che nel 1912 Forlanini aveva in corso delle trattative per l'impiego



Fig. 3 - Idroplano N.7 in movimento , Lago Maggiore 1911. Enrico Forlanini è ai comandi. Biblioteca di Ingegneria aerospaziale del Politecnico di Milano. Fondo del Fabbro

dell'idrottero *N.7* come mezzo di collegamento tra le città di Buenos Aires e Montevideo in Sud America[21], mentre da una corrispondenza intercorsa nel 1918 tra Forlanini e il generale Luigi Durand de la Penne, si evidenziava l'interesse di quest'ultimo per un'applicazione bellica dell'idroplano in Marina con funzione anti sommergibile. Forlanini declinò l'invito adducendo motivazioni organizzative ed economiche della sua società, la «Leonardo da Vinci», pur confermando ancora vivo interesse per la produzione dell'idroplano[22]. Egli aveva infatti previsto anche questa applicazione fin dal 1906 e ipotizzava l'impiego di sistemi di propulsione, da lui già studiati, diversi dalle eliche: "Gli apparecchi idrovolanti, in ragione della loro grande velocità, si prestano evidentemente a scopi guerreschi. Essi possono, segnatamente per tali scopi, ma anche a scopo di sport, essere spinti, invece che da elici, da razzi di qualsiasi natura, pirici, o mediante getti di vapore e simili[23]."

Come descritto nel brevetto del 1904, Forlanini vedeva nell'"idrovolante" una possibile soluzione per passare dalla navigazione veloce sull'acqua alla sostentazione aerea. Egli prevedeva di raggiungere il volo aereo aumentando progressivamente superfici alari superiori in modo da poter eseguire voli sperimentali con rischi limitati per il pilota, che in breve tempo avrebbe potuto ritrovare sulla superficie dell'acqua l'assetto necessario a governare l'apparecchio. "Osservo inoltre che per le macchine volanti tentate fino ad oggi, si è sempre avuta la grave preoccupazione del modo della partenza e dell'arrivo a terra, arrivo che fu quasi sempre accompagnato dalla rottura della macchina volante […]. L'apparecchio idrovolante risolve bene, invece, anche il problema della partenza e dell'arrivo, epperò mi sembra almeno probabile che le future stazioni delle macchine volanti saranno scelte di preferenza sull'acqua; ciò almeno, fino a quando non sia stato trovato un mezzo pratico per assicurare la stabilità di un aeropiano e rendere facili le manovre di partenza e di arrivo[24]." Questo era uno tra i temi cari a Forlanini: studiare soluzioni al problema del volo che non richiedessero rischi eccessivi e sperimentarne personalmente l'attuazione, per limitare al massimo il sacrificio di vite umane, evento purtroppo ricorrente nel periodo pionieristico della navigazione aerea.

Dalle testimonianze esaminate emergono alcuni aspetti interessanti della personalità di Forlanini: da un lato lo specifico lavoro di ingegnere come la verifica, la raccolta e la registrazione metodica delle esperienze, spesso compiute senza poter disporre di grandi

mezzi economici; dall'altro la chiara intuizione, la tenacia nell'osservare fenomeni ed eseguire sperimentazioni, la capacità di sintesi e di applicazione delle soluzioni intuite e, non ultime, la determinazione e la forte passione che hanno accompagnato le sue imprese nell'arco di tutta la vita.

[1] "Nave sull'acqua. Idroplano Forlanini, 1911", filmato di Luca Comerio, 1911.

[2] Per un resoconto dettagliato della stampa locale dell'epoca cfr. G. POZZI, V. ARRIGONI, Nei cieli della Valcuvia… in occasione dei cent'anni dal primo volo dei fratelli Wright, in Terra e Gente, 2003-2004; G. POZZI, Da Laveno a Locarno con l'idroplano. Un raro film del 1910, «Verbanus», Intra, Alberti Editore, 2004, pp. 443-441; F. FERRI, Una questione di velocità, in 1905-2005 L'estetica della Velocità, Varese, Insubria University Press, 2005.

[3] Per uno studio approfondito sulla vita e le opere di Enrico Forlanini cfr. S. CALABRÒ (a cura di), *La passione dell'invenzione. Enrico Forlanini ingegnere e aeronauta*, Milano, Telesma Edizioni, 2004.

[4] E. FORLANINI (attribuito a), *Apparecchi idrovolanti*, dattiloscritto. Si tratta di un'ampia relazione di sintesi senza data ma certamente successiva la 1908. Il Gran libro delle Prove è un manoscritto che raccoglie gran parte delle sperimentazioni effettuate da Forlanini sia specificamente su idroplani - in generale e relativamente alle esperienze di Laveno dal maggio del 1909 all'ottobre del 1912 - e su dirigibili, sia sulla resistenza dell'aria, i ventilatori, le esperienze termiche, la resistenza dei materiali e prove diverse, secondo un indice definito da Forlanini stesso. Biblioteca del Museo della Scienza e della Tecnologia «Leonardo da Vinci», Milano.

[5] *Apparecchi idrovolanti o volanti sull'acqua e nell'aria*, brevetto depositato a Milano in data 11 aprile 1904 con il titolo Reg.ro Gen.le Vol.e 49 N. 91869 - Reg.ro Attes. Vol.e 188 N. 140.

[6] *Apparecchio per navigare sull'acqua e nell'aria detto "Idrovolante"*, brevetto depositato a Milano in data 6 settembre 1906 con il titolo Reg.ro Gen.le Vol.e 59 N. 84507 - Reg.ro Attes. Vol.e 242 N. 48.

[7] *Appareil de locomotion sur l'eau, se soutenant par réaction dinamique*, Brevet N° 35053 Classe 114. Brevetto depositato presso il Bureau Fédéral de la Propriété Intellectuelle de la Confédération Suisse in data 10 aprile 1905; *Appareil de locomotion sur l'eau et dans l'air,* Brevet N° 42432 Classe 129b, brevetto depositato presso il Bureau Fédéral de la Propriété Intellectuelle de la Confédération Suisse in data 26 luglio 1907; *Luft-und Wasserfahrzeug* Patentschrift Nr 47591. Brevetto depositato presso il Kais. Königl. Patentamt. Österreichische richiesto in data 1 agosto 1905 e pubblicato il 25 aprile 1911; *Hydroaeroplane*, Serial No. 385,675. Brevetto depositato presso lo United States Patent Office con richiesta in data 26 luglio 1907.

[8] R. V. BRUCE, *Alexander Graham Bell and the Conquest of Solitude*, New York, Cornell University Press, Ithaca, 1973, pp. 467 e 476.

[9] A. G. BELL, *Baldwin experiments with hydroplanes*, «Bulletins of the Aerial Experiment Association», (XIII) 1908, Fondo Alexander Graham Bell, Biblioteca del Congresso. "Il sig. Baldwin è piuttosto deluso per i risultati finora ottenuti con i gruppi di sostentamento impiegati sulla Dhonnas Beag. Senza i gruppi di sostentamento l'imbarcazione ha una velocità di circa 15 miglia orarie, con i gruppi la velocità risulta ridotta di circa la metà senza un'apparente indicazione del sollevamento dell'imbarcazione. Con l'attuale configurazione l'imbarcazione risulta essere impedita senza un vantaggio in contropartita. Il signor Baldwin pensa che non ci sia alcuna ragione per la quale noi non dovremmo ottenere risultati comparabili a quelli ottenuti da Forlanini".

10 CH. F. KING, *Aeromarine Origins*, London, Putnam and Company Ltd., 1966.

[11] *Apparecchi idrovolanti o volanti sull'acqua e nell'aria*, Brevetto 1904, cit.

[12] C. DAL FABBRO, U. CARPI, *I fratelli*

Forlanini, Milano, Oberdan Zucchi, 1942, p. 62.
[13] G. A. CROCCO, Problemi aeronautici. Dagli albori fino alla guerra, Roma, Paolo Cremonese, 1933.
[14] *Apparecchio per navigare sull'acqua e nell'aria detto "Idrovolante"*, Brevetto 1904, cit., pp. 2-3.
[15] *Apparecchio per navigare sull'acqua e nell'aria detto "Idrovolante"*, Brevetto 1906, cit., pp.1-2.
[16] C. DAL FABBRO, U. CARPI, *I fratelli Forlanini*,cit., p. 65.
[17] *L'idrovolante Forlanini*, «Rivista del Touring Club Italiano», dicembre 1907.
[18] *L'idroplano Forlanini*, «La Perseveranza», 15 novembre 1907.
[19] E. FORLANINI (attribuito a), *Apparecchi idrovolanti*, dattiloscritto conservato presso la Biblioteca del Museo della Scienza e della Tecnologia «Leonardo da Vinci», Milano.
[20] *La crociera internazionale Torino-Venezia-Roma,* in «Rivista del Touring Club Italiano», giugno 1911; il tema viene trattato anche nei mesi successivi, fino alla fine del 1911.
[21] Lettera di Enrico Forlanini al marchese Marano, Gressoney la Trinité, 5 agosto 1912 e risposta di Marano, Genova, 7 settembre 1912. Dell'intento di produrre scafi ad uso commerciale destinati a Rio della Plata se ne ha notizia anche da un'intervista rilasciata a Piero Magni dall'ingegner Arnaldo Maj, collaboratore di Forlanini laureato al Politecnico di Milano nel 1920. Archivio Enzo Bottura, Mantova.
[22] Lettera del generale Luigi De la Penne a Enrico Forlanini, Bologna, 2 febbraio 1918 e risposta di Forlanini, Milano, febbraio 1918. Archivio Enzo Bottura, Mantova.
[23] Apparecchio per navigare sull'acqua e nell'aria detto "Idrovolante", Brevetto 1906, cit., p. 31
[24] Apparecchio per navigare sull'acqua e nell'aria detto "Idrovolante", Brevetto 1904, cit., pp. 44-45.

ELENCO DEGLI AUTORI

ALBERTI Nicola	*Università Palermo*
AITA Danila	*Università Genova*
ANGOTTI Franco	*Università Firenze*
ARGENZIANO Pasquale	*Seconda Università Napoli*
ASSANTE Dario	*Università Napoli Federico II*
AUGENTI Nicola	*Università Napoli Federico II*
AUGUSTI Giuliano	*Università Roma La Sapienza*
AUSIELLO Gigliola	*Università Napoli Federico II*
BARATTA Alessandro	*Università Napoli Federico II*
BELLI Gemma	*Professionista Napoli*
BETTAZZI Maria Beatrice	*Università Bologna*
BORIANI Maurizio	*Politecnico Milano*
BORRI Claudio	*Università Firenze*
BRACALE Marcello	*Università Napoli Federico II*
BRANDA Francesco	*Università Napoli Federico II*
BUCCARO Alfredo	*Università Napoli Federico II*
CACCIAVILLANI Carlos Alberto	*Università Pescara*
CALABRESI Giovanni	*Università Roma La Sapienza*
CALABRO' Sara	*TELESMA Milano*
CALDERINI Chiara	*Università Genova*
CAPOMOLLA Rinaldo	*Università Roma 2*
CAPONE Paola	*Università Salerno*
CAPUTO Francesco	*Università Napoli Federico II*
CARDANI Cesare	*Politecnico Milano*
CARDONE Vito	*Università Salerno*
CASIRATI Mario	*Archivio Storico Bergamo*

CAZZANI Alberta	*Politecnico Milano*
CECCARELLI Marco	*Università di Cassino*
CHIDICHIMO Antonello	*Professionista Salerno*
CIAMPOLI Marcello	*Università Roma La Sapienza*
CIGOLA Michela	*Università di Cassino*
COMO Mario	*Università di Roma Tor Vergata*
COTTONE Antonio	*Università Palermo*
COZZI Mauro	*Università Firenze*
D'AGOSTINO Salvatore	*Università Napoli Federico II*
d'AMBROSIO Francesca Romana	*Università Salerno*
DAMERI Annalisa	*Politecnico Torino*
DE CHIARA Giuseppe	*MARS Napoli*
DE FALCO Carolina	*Seconda Università Napoli*
DE MATTIA Fausto	*Archivio Stato Napoli*
DE MENNA Luciano	*Università Napoli Federico II*
DE NEGRI Felicita	*Archivio Stato Napoli*
DELLA PIETRA Lelio	*Università Napoli Federico II*
DI FRAIA Luciano	*Università Napoli Federico II*
DI LEO Adriana	*Università Salerno*
DI MAIO Bruno	*Università Palermo*
DI PIETRO Stefania	*Università Napoli Federico II*
DOLZA Luisa	*Politecnico Torino*
ERBA Luisa	*Università Pavia*

FACCHINELLI Laura	*Professionista Verona*
FERONE Vincenzo	*Università Napoli Federico II*
FERRARI Paolo	*Università Pisa*
FOCE Federico	*Università Genova*
FOSCARI Giuseppe	*Università Salerno*
FRANCESCHETTI Giorgio	*Università Napoli Federico II*
FRANCO Leopoldo	*Università di Roma Tor Vergata*
FULGIONE Marcello	*Università Napoli Federico II*
GHERSI Aurelio	*Università Napoli Federico II*
GIUMANINI Michelangelo L.	*Università Udine*
GOBBO Raffaella	*Politecnico Milano*
GORI Roberto	*Università Padova*
GUAGNINI Aulo	*Politecnico Torino*
GUARALDA Mirko	*Politecnico Milano*
GUARNIERI Massimo	*Università Padova*
IANNIELLO Carmine	*Università Napoli Federico II*
IMPROTA Gennaro	*Università Napoli Federico II*
IORI Tullia	*Università Roma 2*
KOETSIER Teun	*Università di Amsterdam*
KOVSCA COLANI Carla M.	*Archivio Storico Bergamo*
LA CRETA Rosalba	*Università Napoli Federico II*
LAGOMARSINO Sergio	*Università Genova*
LATROFA Enrico Maria	*Università Pisa*

LESCHIUTTA Sigfrido	*Politecnico Torino*
LO FARO Francesca M.	*Università Palermo*
MANES Gianfranco	*Università Firenze*
MANGANARO Mario	*Università Messina*
MANGOSIO Marika	*Politecnico Torino*
MANZO Elena	*Seconda Università Napoli*
MARCHIS Vittorio	*Politecnico Torino*
MARGIOTTA Nina Maria	*Università Pescara*
MARINI Sandra	*Università Firenze*
MARINO Angela	*Università L'Aquila*
MARRUCCI Giuseppe	*Università Napoli Federico II*
MAURO Raffaele	*Università Trento*
MAZZANTI Claudio	*Università Pescara*
MAZZEO Antonino	*Università Napoli Federico II*
MELE Caterina	*Politecnico Torino*
MONTI Rodolfo	*Università Napoli Federico II*
MONTUORI Carlo	*Università Napoli Federico II*
MORANDO Adriano Paolo	*Politecnico Milano*
NARDELLA Antonia	*Università Pescara*
NATALE Anna	*Università Napoli Federico II*
NICOLAIS Luigi	*Università Napoli Federico II*
NIEDDU Filippo	*Politecnico Torino*
PAPA Lia Maria	*Università Napoli Federico II*

PELOSI Giuseppe	*Università Firenze*
PERRETTI Antonio	*Università Napoli Federico II*
PESENTI Serena	*Politecnico Milano*
PEZONE Maria Gabriella	*Università Napoli Federico II*
PIANTANIDA Paolo	*Politecnico Torino*
PINTO Paolo	*Università Napoli Federico II*
PODESTÀ Stefano	*Università Genova*
PORETTI Sergio	*Università Roma Tor Vergata*
PRINCIPATO Giancarlo	*Università della Calabria*
REALE Sergio	*Università Firenze*
RESEMINI Sonia	*Università Genova*
RICCI Aldo G.	*Archivio Centrale dello Stato*
RISPOLI Francesco	*Università Napoli Federico II*
ROBOTTI Ciro	*Seconda Università Napoli*
ROSA Francesco	*Politecnico Milano*
ROSSI Cesare	*Università Napoli Federico II*
ROVIDA Edoardo	*Politecnico Milano*
RUSSO Maria Teresa	*Università Campus Bio-medico Roma*
SELLERI Stefano	*Università Firenze*
SERRAGLIO Riccardo	*Seconda Università Napoli*
SERSALE Riccardo	*Università Napoli Federico II*
SILVESTRI Andrea	*Politecnico Milano*
SIRAGO Maria	*IRSAE Napoli*

SIVIERO ENZO	*IUAV Università Venezia*
SOLIMENO SALVATORE	*Università Napoli Federico II*
SORRENTINO FERDINANDO	*Professionista Salerno*
SPINELLI PAOLO	*Università Firenze*
STRAZZULLO FRANCO	*Storico*
TORELLO FRANCESCA	*Politecnico Torino*
TORRINI MAURIZIO	*Università Napoli Federico II*
TROMBETTI GUIDO	*Università Napoli Federico II*
VERNIZZI CHIARA	*Università Parma*
VEROLINO LUIGI	*Università Napoli Federico II*
VIGGIANI CARLO	*Università Napoli Federico II*
VILLANOVA ANNA	*IUAV Università Venezia*
VINCI LUIGI	*Ordine Ingegneri Napoli*
VIOLA FRANCESCO	*Università Napoli Federico II*
ZAMPINI ILARIA	*IUAV Università Venezia*