History of Engineering

International Conference on History of Engineering
Atti del VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria

Naples, 2020 December 11th

volume I

Cuzzolin

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale

Naples, 2020, December 11th

Volume I

Editors

Salvatore D'Agostino, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano

Cuzzolin

First edition: October 2020
Prima edizione: ottobre 2020

© 2020 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 978-88-86638-87-6

All rights reserved
No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, including recording or photocopying, without permission of the publisher

Tutti i diritti riservati
Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta o trasmessa in alcuna forma o con alcun mezzo, compresa la registrazione o le fotocopie, senza il permesso dell'editore

Editorial Office / Redazione:
Maurizio Cuzzolin

Printing / Stampa: Giannini - Napoli

a *Vito Cardone*
Gennaro Improta

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (Presidente)
Università di Napoli Federico II
Michele Brigante
Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno
Alfredo Buccaro
Università di Napoli Federico II
Vito Cardone
Università di Salerno
Mario Como
Università di Roma Tor Vergata
Edoardo Cosenza
Università di Napoli Federico II
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Università di Salerno
Luciano De Menna
Università di Napoli Federico II
Giulio Fabricatore
Università di Napoli Federico II
Giovanna Greco
Università di Napoli Federico II
Vittorio Marchis
Politecnico di Torino
Giuseppe Marrucci
Università di Napoli Federico II
Luigi Nicolais
Università di Napoli Federico II
Lia Maria Papa
Università di Napoli Federico II
Giuseppe Riccio
Università di Napoli Federico II
Luciano Rosati
Università di Napoli Federico II
Piero Salatino
Università di Napoli Federico II
Bruno Siciliano
Università di Napoli Federico II
Andrea Silvestri
Politecnico di Milano
Giuliana Tocco Sciarelli
Già Soprintendente Archeologica delle Province di Salerno, Avellino e Benevento
Carlo ViggianI
Università di Napoli Federico II
Luigi Vinci
Fondazione Ordine Ingegneri Napoli
Armando Zambrano
Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

Rossella Del Regno
Università di Salerno
Andrea Lizza
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Boris Igor Palella
Università di Napoli Federico II
Giovanni Pastore
Università di Napoli Federico II

Scientific and Organizing Secretariat / Segreteria Scientifica e Organizzativa

CIBeC
Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali
Università degli Studi di Napoli Federico II
e-mail: cibec@unina.it
Tel: +39 081 768 2101
Fax: +39 081 768 2106

c/o Facoltà di Ingegneria
Piazzale V. Tecchio, 80
80125 Napoli

Supporting Parties / Enti Sostenitori

CIBeC
Università degli Studi di Napoli Federico II
Consiglio Nazionale degli Ingegneri
Ordine degli Ingegneri - Napoli
Ordine degli Ingegneri - Salerno

Graphic Organization and Layout / Organizzazione Grafica e Impaginazione

Giovanni Pastore

Special thanks to / Speciali ringraziamenti a
Giuseppe Miranda
for the valuable collaboration /
per la preziosa collaborazione

For the images published Publisher remains available to potential beneficiaries

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

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI SALERNO

CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI

Ordine degli Ingegneri della provincia di Napoli

Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e i Consigli degli Ordini degli Ingegneri di Napoli e Salerno partecipano, fin dalla prima edizione, alla organizzazione di questo importante evento di grande interesse scientifico e culturale, giunto alla ottava edizione e che anche quest'anno è "Convegno Internazionale".

Al Comitato Scientifico, al Comitato Organizzatore, ai Relatori, agli Ospiti stranieri e ai partecipanti ai lavori giungano i nostri saluti, anche a nome di tutti i Colleghi che abbiamo l'onore di rappresentare.

Il presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri
ing. Armando Zambrano

Il presidente dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Napoli
prof. ing. Edoardo Cosenza

Il presidente dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno
ing. Michele Brigante

La grave pandemia che ha colpito il mondo ha costretto a rinviare il Convegno AISI, programmato per aprile 2020. Si sperava di poterlo tenere a settembre, ma con il passare delle settimane questa speranza è diventata sempre più flebile fino a scomparire del tutto.

Abbiamo dovuto adeguarci alla realtà, ma AISI non si ferma: come consuetudine, gli Atti saranno inviati agli Autori e resi disponibili sul sito *www.aising.eu* e il tradizionale appuntamento napoletano sarà suddiviso in una serie di appuntamenti da remoto, che inizieranno con la sessione inaugurale e che continueranno con seminari tematici periodici. In attesa di tempi migliori, ma la storia è fatta anche di momenti terribili come questi che stiamo vivendo.

I Curatori

Summary / Sommario

Volume I

Preface/Prefazione
Salvatore D'Agostino *XV*

Ricordi

In ricordo di *Vito Cardone*
Salvatore Barba, Barbara Messina *XIX*

In ricordo di *Gennaro Improta*
Giuseppe Bruno *XXI*

Invited lectures / Relazioni a invito

La sfida dell'energia del futuro: Clean Energy For All. Riflessioni su energia e democrazia
Livio de Santoli 3

20 luglio 1969: il primo uomo sulla Luna. L'evento e le sue ricadute
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli 15

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La Collaborazione Internazionale in Campo Scientifico: il caso della F.T.C.
Luciano De Menna 31

Pozzuoli: terremoti e fenomeni vulcanici nel lungo periodo. Limiti della definizione attuale di pericolosità
Emanuela Guidoboni 45

Ingegneria strutturale e conservazione del patrimonio architettonico
Salvatore D'Agostino 63

Sostenibilità del vincolo geotecnico nella storia dei monumenti
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli 77

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte seconda: Dalla chimica degli "assaggi" alla scienza e tecnologia dei materiali
Carmine Colella 89

Mathew Baker (1530–1613) e la nascita dell'ingegnere navale
Claudia Tacchella 101

Storia del termometro per le misure ambientali: dai termoscopi ai sensori elettronici
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 113

Le camere anecoiche acustiche: albori e sviluppi
Carmine Ianniello 127

Dagli archivi in rete al museo diffuso dell'ingegneria: il fondo del Genio Civile di Verona e la sua valorizzazione
Angelo Bertolazzi, Luigi Stendardo 137

Tecniche costruttive storiche diffuse nelle Quattro Province: un progetto colto di organizzazione del territorio
Valentina Cinieri, Giacomo A. Turco 147

Storia dell'industria del gas a Napoli
Andrea Lizza 159

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le reti di distribuzione di acqua potabile in epoca romana. Fistule ritrovate e quantità d'acqua erogata in due case pompeiane
Maria Carmela Monteleone 173

Antichi testi di Meccanica, nuovi ritrovamenti. La Majmu'a (Raccolta) n° 197 di Tehrān
Giuseppina Ferriello 189

Sir Robert Seppings (1767–1840): l'invenzione nella tecnica e l'arte della costruzione navale
Massimo Corradi 203

Appunti per l'arte del costruire: postille ai quattro libri dell'Architettura di Andrea Palladio
Salvatore D'Agostino 219

L'evoluzione dei sistemi di copertura a grande luce in Italia dal XVII al XIX secolo
Luca Guardigli, Davide Prati 237

"Sketchbook on military art". Un compendio tra cultura tecnica e ibridazione artistica nell'Europa del XVII secolo
Consuelo Gomez Lopez 251

Ingegneria dell'emergenza: ponti portatili "made in Italy" (1876-1945)
Ilaria Giannetti 265

The double-curvature shell of the Musmeci's bridge
Francesco Marmo, Cristoforo Demartino, Davide Pellecchia, Massimo Paradiso, Nicolò Vaiana, Salvatore Sessa, Luciano Rosati 277

Storia della Statica dello Strallo e sua interazione con la costruzione dei ponti strallati in acciaio
Mario Como 287

Rigidezza dello strallo in c.a.p.
Mario Como 299

La sicurezza antincendio negli edifici pregevoli per arte e storia
Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino 309

Macchine e uomini della refrigerazione
Carmine Casale 319

I nuovi materiali da costruzione prodotti e diffusi in Italia negli anni Trenta
Francesco Spada 333

La costruzione a secco nel dibattito sulle tecniche costruttive in Italia nel secondo dopoguerra. Note sull'attività della rivista "Cantieri" (1946-50)
Laura Greco 345

Some considerations about the role of the historical drawings on the modern design
Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida 355

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Alluvioni, esondazioni, impaludamenti: costruire e coltivare in paesaggi fragili. Alcuni esempi dall'antichità: Paestum e Velia
Giovanna Greco 367

Lagune e agricoltura. Vivere e coltivare in paesaggi fragili: tra Cuma e Metaponto
Giovanna Greco 383

Archimede e il sistema di caricamento della balista da un talento utilizzata nella fortezza dell'Eurialo di Siracusa
Umberto Di Marco, Pier Gabriele Molari 393

Terme di Caracalla, misura e calcolo per la conservazione
Maria Letizia Conforto 409

Le opere di ingegneria nell'antichità. L'esempio dell'Appia
Giuliana Tocco Sciarelli 421

Le scale impiegate nell'arte bellica per superare le mura nemiche: dai Romani al Rinascimento
Pier Gabriele Molari, Rosanna Di Battista 435

Il paesaggio a nord di Neapolis: la necropoli ellenistica e l'acquedotto del Serino. Il racconto con le moderne tecnologie
Federico Capriuoli, Francesco Colussi, Carlo Leggieri 449

Un criterio di classificazione di imbarcazioni di interesse archeologico, storico o etnografico
Luigi Ombrato, Claudio Pensa, Vincenzo Sorrentino, Chiara Zazzaro 463

La carpenteria litica nell'Hawrān siro-giordano
Luigi Marino, Massimo Coli 475

Analogie fra i ceri di Gubbio e alcune antiche macchine belliche, in particolare con quella che produceva il fuoco greco: lume della fede e spirito guerriero
Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari 487

Il 'Codice Tarsia' nella Biblioteca Nazionale di Napoli: metodi e linguaggi per l'architettura e l'ingegneria del Mezzogiorno nel Cinquecento
Alfredo Buccaro 499

Cultura e formazione degli ingegneri. Studi ottocenteschi intorno a Leonardo da Vinci
Elena Gianasso 511

La formazione "ambientalista" dei giovani ingegneri nell'Ottocento borbonico
Giuseppe Foscari 523

L'insegnamento dell'architettura agli ingegneri a Pavia dall'Unità d'Italia alla fine dell'Ottocento
Emanuele Zamperini 531

"Protagoniste invisibili": le donne nell'ingegneria dal XIX secolo a oggi
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Maria Rosaria Pelizzari, Daniela Pepe 545

Tecniche Sapienti. Una storia al femminile della Facoltà di Ingegneria di Roma Sapienza (1910-1969)
Chiara Belingardi, Claudia Mattogno 559

Università, Ingegneria e quadri tecnici: 60 anni di politica incerta con ritardi e carenze nel Mezzogiorno. Quale formazione nel futuro?
Umberto Ruggiero, Francesco Ruggiero 571

Volume II

WORKS AND PROTAGONIST BETWEEN ANCIENT AND MODERN
LAVORI E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Concrete bridge heritage in Italy: the role of Riccardo Morandi
Enzo Siviero, Michele Culatti, Alberto Zanchettin 589

Sir Nigel Gresley e la leggenda del Flying Scotsman
Andrea Lizza 601

Francesco Del Giudice, ingegnere Direttore della Compagnia dei Pompieri di Napoli nel 1800. Comandante, scienziato, innovatore e docente
Michele Maria La Veglia, Carmine Piccolo 611

L'ingegnere Ernesto Besenzanica e la Ferrovia Adriatico-Sangritana
Caterina Serafini, Vincenzo Di Florio 621

Itinerari digitali tra carte e disegni del patrimonio dell'archivio Porcheddu. Le pratiche delle opere torinesi nel periodo 1894-1927
Giuseppa Novello, Maurizio Marco Bocconcino 633

Gli ingegneri Inverardi nell'edilizia scolastica nel corso del Novecento in Abruzzo
Simonetta Ciranna, Francesca Geminiani, Marco Felli 647

Gli ingegneri e la rappresentazione grafica dei territori nell'Ottocento
Lia Maria Papa 661

Il Castello di Ischia nel disegno dell'ingegnere regio Benvenuto Tortelli. Architettura e ingegneria al servizio delle difese del Regno di Napoli alla fine del Cinquecento
Francesca Capano 671

Da bóveda estrellada a cupola di rotazione. Le peculiarità della grande volta della Sala dei Baroni in Castel Nuovo
Maria Teresa Como 681

Il restauro della Cappella della Sindone di Torino
Gennaro Miccio 691

I "mulini reali" di Caserta. Nuove acquisizioni e strategie di conservazione e riuso
Raffaele Amore, Mariangela Terracciano 705

Lo sviluppo dei bacini idroelettrici in Alta Valtellina (1906-1960)
Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio 719

Protagonisti politecnici di AEM in Alta Valtellina
Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio 733

Gli "edifici baraccati" nel territorio di Cosenza dopo il terremoto del 1905
Valentina Guagliardi 743

Il Magazzino juta e cotone nel Porto di Napoli. Uno dei primi edifici in cemento armato realizzati a Napoli
Giacomo Rasulo, Alessandro Rasulo 755

1905: l'arrivo dell'energia elettrica a Pavia e la centrale realizzata sulla riva del Naviglio Pavese
Francesco Bianchi 767

Tra ingegneria militare e architettura: la sala d'armi di Capua
Maria Gabriella Pezone 777

Recupero e riuso delle tipologie specialistiche dell'architettura italiana del Novecento. Il caso dell'Orfanotrofio Don Minozzi ad Antrodoco
Alessandra Bellicoso, Alessandra Tosone, Federica Tedeschini 791

La gestione delle risorse idriche nelle città di Cusco e Lima in epoca coloniale
Claudio Mazzanti, Adriana Nora Scaletti Cardenas 803

Linee ferrate dismesse. La ferrovia del Vallo di Diano Sicignano degli Alburni-Lagonegro
Federica Ribera, Pasquale Cucco 817

Le case dell'Opera Valorizzazione Sila, patrimonio edilizio storico della Calabria del Novecento
Alessandro Campolongo 829

Gli edifici scolastici a Catania dall'Unità nazionale alla seconda guerra mondiale: schema distributivo, stili architettonici e tecniche costruttive
Domenico Giaccone 843

Per la nuova sede del Politecnico di Torino: studi, progetti, realizzazione (1939-1958)
Margherita Bongiovanni, Marianna Gaetani 855

Variations on the theme of Plattenbau Heavy prefabrication and total industrialisation in the experience of the Göhner housing estates in Switzerland (1966-1979)
Giulia Marino 869

Un'opera di Samu Pecz: la Boiler House dell'Università di Tecnologia ed Economia a Budapest
Federica Ribera, Rossella Del Regno, Flora Arrichiello 881

I grattacieli italiani. La trasposizione di una tipologia
Simona Talenti, Annarita Teodosio 895

Street architecture: l'infrastruttura come spazio della città e del paesaggio
Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta 905

Il Nucleo NBCR dei Vigili del Fuoco: una storia recente
Michele Maria La Veglia 915

Author Index / Indice degli Autori 921

Salvatore D'Agostino

President of the Italian Association for the History of Engineering

Preface

I begin this preface by expressing my great sadness due to the early death of two eminent academic, both members of the association and, above all, very dear friend of mine: *Vito Cardone* who was within AISI founders and *Gennaro Improta*. I address them my memory and my gratitude for their precious contribution to A.I.S.I.

Also this year, the Proceedings of the International Congress of the History of Engineering collect wide and interesting documentation. The breadth and the complexity of the subjects matter which range from the antiquity to the present days are the witnesses of a rooted culture which is quite systematically ignored by Italian Universities.

Among few exception I remember the recent volume on the birth and development of Engineering at the University of Bologna while the University of Naples Federico II is about to edit the volume of the series "La rete dei Saperi" which collects the recent history of Neapolitan engineering. Furthermore, in recent days it has been announced the establishment of a course in Modern and Contemporary History addressed to students to students in Physics and Engineering at the University "Roma Tre".

Unfortunately, a connection network among the Chambers of Engineers, accounting for the many local initiatives that are still taking place, has not been able to take off. On the other hand, the National Council of Engineers (CNI) has set up a column dedicated to the history of engineering in its journal. I am confident that the CNI would like firmly undertake sacrosanct battles for the recognition of fundamental roles that increasingly mature for engineers in today's society. In this direction, the absence of the role of the engineer in the staff of the Ministry of Cultural Heritage and Activities is emblematic. This is even though engineers are called to perform essential functions in Engineering for Cultural Heritage and especially in the field of seismic and environmental risks. On the other hand, specializations until recently unthinkable such as the financial engineer and the ethical engineer are already looming on the horizon.

As always, my warmest thanks go to the National Council of Engineers (CNI) and the Chambers of Engineers of Naples and Salerno, for the essential contribution they make to the management of the Conference, and to the Interdepartmental Center of Engineering for Cultural Heritage of the University of Naples Federico II, who guarantees the operational structure to the Association.

Finally, I want to express special thanks to Professor *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano* and Professor *Boris Palella*, without whose valiant contribution this conference could not have been held.

Salvatore D'Agostino

Prefazione

Voglio iniziare questa mia presentazione manifestando la grande tristezza che mi pervade per la prematura scomparsa di due insigni studiosi, entrambi soci dell'Associazione ma soprattutto amici carissimi: *Vito Cardone*, tra i fondatori di A.I.S.I, e *Gennaro Improta*. A entrambi il mio ricordo e il mio ringraziamento per tutto quello che hanno dato all'Associazione.

Anche quest'anno gli Atti del Convegno di Storia dell'Ingegneria raccolgono una corposa e interessante documentazione. L'ampiezza e la complessità dei temi trattati, che spaziano dalla remota antichità ai nostri giorni, è indice di una radicata cultura nella Storia della Ingegneria, anche se questa continua a essere pervicacemente ignorata in quasi tutte le Università del Paese.

Poche sono le eccezioni: è stato recentemente pubblicato un corposo volume sulla nascita e sullo sviluppo dell'Ingegneria all'Università di Bologna e l'Università degli Studi di Napoli Federico II sta per editare il volume della serie "La rete dei saperi", che raccoglie la storia recente della Ingegneria napoletana; inoltre, è di questi giorni l'annuncio che presso l'Università Roma Tre è stato istituito un corso di Storia moderna e contemporanea per gli studenti di Fisica e Ingegneria.

Purtroppo, non è riuscita a decollare una rete di collegamento tra gli Ordini che rendesse ragione di tante iniziative locali che pur si svolgono. D'altro canto, il Consiglio Nazionale degli Ingegneri ha istituito sul suo giornale una rubrica dedicata alla storia della Ingegneria.

Il mio auspicio è che il CNI voglia intraprendere, con decisione, sacrosante battaglie per il riconoscimento di ruoli fondamentali che sempre più maturano per gli ingegneri nella società attuale. In questa direzione, emblematica risulta l'assenza del ruolo di Ingegnere nell'organico del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali, nonostante gli ingegneri siano chiamati a svolgere funzioni essenziali nella Ingegneria per i Beni Culturali e, più in particolare, per i problemi connessi al rischi sismico e a quello ambientale. D'altronde già si profilano all'orizzonte specializzazioni fino a poco tempo addietro impensabili quali l'ingegnere finanziario e l'ingegnere etico.

Come sempre, il mio ringraziamento più vivo va al Consiglio Nazionale degli Ingegneri e agli Ordini degli Ingegneri di Napoli e Salerno, per il contributo essenziale che assicurano alla gestione del Convegno, e al Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali della Università degli Studi di Napoli Federico II, che garantisce all'Associazione la struttura operativa.

Concludo con un grazie particolare alla professoressa *Francesca Romana d'Ambrosio Alfano* e al professore *Boris Palella*, senza il cui valoroso contributo questo Convegno non si sarebbe potuto realizzare.

In ricordo di

Vito Cardone

È difficile delineare in poche parole la figura di un uomo poliedrico, dai mille interessi, che ha ricoperto i più alti ruoli istituzionali e che ha segnato la storia del Disegno (e non solo) nelle Facoltà di Ingegneria.

L'università era veramente amore per lui, lavorava in continuazione, divorando libri e letture, sempre approfondendo la sua conoscenza e aggiornandosi rispetto alla norma più recente, con la curiosità di un vero ricercatore e la 'filodiffusione' in sottofondo: ascoltando RAI Radio 3 o TRVE Radio Clásica la sua stanza spesso riecheggiava di fughette e clavicembali.

Come suoi allievi – nel caso di *Salvatore*, anche come studente – abbiamo avuto il privilegio di avere il *professore Cardone* come riferimento accademico negli ultimi 20 anni, partecipando al suo profondo amore per le discipline del Disegno in generale, e per la geometria descrittiva, che lo ha visto protagonista in ambito nazionale e internazionale, in particolare.

Si parlava tanto – anche fino a tarda notte, soprattutto durante gli anni dal 2001 al 2012, in cui fu l'ultimo Preside della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Salerno – e degli argomenti più svariati: dalla politica universitaria, alla didattica, alla ricerca, ai doppi spazi, alle questioni più personali. Negli ultimi anni queste prevalevano sulle prime. Dopo la sua presidenza si era via via disimpegnato dalla politica universitaria locale, non perché non più attratto dalla stessa ma per il profondo rispetto verso le nuove generazioni. Ormai in quiescenza da un paio di anni, il *professore Cardone* diceva che della vita universitaria, in senso stretto, cominciava a non sentire più nostalgia, ma che finché gli fosse stato possibile non avrebbe mai rinunciato a tre cose: i viaggi di studio, la didattica e i suoi studenti (ai quali riservava sempre una dedica speciale nei suoi libri).

Era uno straordinario comunicatore: asciutto, concreto, ma carismatico come pochi e profondamente amato dai suoi allievi. Un amore reciproco, fatto di poche parole, occhi di ghiaccio, ma di molta sostanza.

Le sue lezioni non erano mai banalmente la descrizione degli argomenti del corso: erano lezioni di vita, di storia, di arte, di politica, di cultura. Amava fare lezione in una maniera 'assoluta', che poteva sembrare 'antica': lo si vedeva spesso rientrare nel suo studio con le mani sporche di gesso – il suo gesso – e le squadrette, sue inseparabili amiche. Queste diventavano piani da proiettare, da ribaltare, e con le mani simulava lo spazio per aiutare gli allievi a visualizzare la configurazione tridimensionale della realtà concreta; spesso, da 'obiettore di coscienza' – radicale, nonviolento e antimilitarista – si avvaleva anche delle sue Camel, rigorosamente senza filtro, per indicare una direzione.

Si parlava spesso degli accorgimenti con i quali rendere le lezioni più efficaci per far comprendere agli allievi le problematiche della geometria descrittiva, e di quanto fosse importante guardare le cose anche dal loro punto di vista.

Ha da sempre sviluppato, con convinzione, costanza, intelligenza, le relazioni internazionali con i paesi *hispanohablantes* amando visceralmente il castigliano, in particolar modo con la Spagna e l'Argentina (come un 'visionario', come ebbe modo di definirsi); sulla base di questi suoi accordi, il *professore Cardone*, ha favorito la mobilità – in ingresso e uscita – di generazione di studenti, rendendo, ad esempio, l'Università di Salerno come la più argentina d'Italia.

Didattica e ricerca procedevano per lui in assoluta sinergia. I suoi interessi scientifici hanno abbracciato la semiologia grafica, le tematiche dell'elaborazione dei modelli grafici di natura tecnica, la rappresentazione delle caratteristiche immateriali del territorio e dell'ambiente e il disegno dei viaggiatori. Tra i maggiori esperti della storia degli studi di ingegneria, aveva avviato un filone di ricerca sugli ingegneri artisti (*Dostoevskij*, *Musil*, *Gadda*, *Sinisgalli*, *Platonov*, ecc.). Molti i suoi lavori, di rilevanza internazionale, sulle tematiche della geometria descrittiva; lavori, che prima di essere 'battezzati', come soleva dire, faceva rileggere a tutto il suo gruppo. Negli ultimi anni aveva sistematizzato una trattazione assolutamente personale e innovativa del metodo delle proiezioni assonometriche e il suo ultimo lavoro era dedicato a *Monge*, da lui definito scienziato della rivoluzione e padre dell'ingegnere contemporaneo.

E, proprio come *Monge*, il nostro Professore guardava al futuro, stando sempre un passo avanti a esso, tanto da essere nato (ovviamente nella sua Napoli) il 25 ottobre del 1947, ma essere registrato all'anagrafe il giorno precedente.

Più che un punto di riferimento, un punto – verde – all'infinito. *Un maestro*!

Salvatore Barba e Barbara Messina

In ricordo di

Gennaro Improta

"Ha fatto nella sua vita quello che voleva fare". Sono le parole che mi disse *Alessandra*, sua figlia e suo alter-ego, poche ore dopo la sua scomparsa. Su due piedi non vi prestai molta attenzione, pensando si trattasse di una classica frase di auto-consolazione. Ma poi, con il passare del tempo, ripercorrendo, nel fiume dei ricordi, i quasi 30 anni trascorsi quotidianamente insieme, mi sono convinto di come quella frase descriveva, come meglio non si potesse fare, il senso della vita di *Gennaro Improta*. Il senso di una vita trascorsa nella libertà per le proprie passioni.

Ingegnere elettrotecnico, cominciò la sua attività professionale come borsista Olivetti, prima di approdare, come ricercatore e docente, al Centro Studi di Economia applicata all'Ingegneria (CSEI), fondato e diretto da *Luigi Tocchetti*. Il centro ebbe, a quei tempi, un ruolo pioneristico nell'anticipare l'intuizione, che, estendendosi e maturando a livello nazionale, avrebbe portato alla successiva nascita dei Corsi di Laurea di Ingegneria Gestionale. E pioneristico fu il ruolo di *Gennaro Improta* nell'insegnamento di una giovane disciplina, all'epoca semi-sconosciuta. Egli fu il primo docente di Ricerca Operativa in Campania, come stabilizzato e, successivamente, come Associato e Ordinario dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, tra i primi docenti nel Mezzogiorno, e, pertanto, ebbe un ruolo importante, a livello regionale e nazionale, nel faticoso sdoganamento, accademico e non, di una materia la cui pretesa di trasformare i processi decisionali della ingegneria e della vita in modelli matematici da risolvere, risultava ostica in un contesto generale in cui prevaleva il metodo della negoziazione politica. Il campo di applicazione fu ed è sempre stato quello della pianificazione dei trasporti e del controllo del traffico, sviluppato, nel corso del tempo, attraverso la collaborazione con l'Istituto di Costruzioni di Strade, Ferrovie ed Aeroporti dell'Università di Napoli, l'attività di ricerca svolta presso i diversi Dipartimenti di Informatica e Sistemistica e il Dipartimento di Ingegneria Economico Gestionale, di cui è stato a lungo direttore, l'organizzazione di importanti eventi scientifici internazionali. Attività di ricerca, coronata da riconosciuti lavori scientifici, sempre focalizzata sugli aspetti di applicazione professionale e poco incline ad inseguire le esasperazioni algoritmiche che pure hanno connotato l'evoluzione della disciplina.

L'inizio della carriera universitaria si iscrive nella metà degli anni settanta, caratterizzati dal protagonismo accademico della generazione post-sessantottina che ha rappresentato, nel bene e nel male, il pilastro su cui si sarebbe sviluppata l'università italiana dei successivi decenni. Estraneo al cinismo distintivo di una significativa frangia, di questa generazione *Gennaro Improta* andrebbe ascritto alla sua corrente romantica, bohemienne, coerentemente anche con l'idea che mi sono fatto, dai suoi racconti, dei primi anni vissuti con *Marina*, compagna di una vita, prima della nascita di *Fabrizio*. Quella corrente che avrebbe vissuto l'esperienza accademica come un'estensione di un più generale impegno culturale e civile con un'accentuazione, persino snobistica, per un anti-conformismo e una noncuranza per gli affanni carrieristici. Chi lo ha conosciuto ha avuto prova della sua grande disponibilità e generosità, della irascibile avversione al compromesso, della rigorosità morale, della sensibilità per le vicende umane altrui, della timidezza nascosta attraverso qualche spigolosità di carattere.

Onnipresente all'università, persino eccessivamente, in decenni, si contano sulla punta delle dita sue assenze a lezione o agli esami: ero studente io quando si presentò al corso, bendato, dopo l'ennesimo intervento agli occhi subito a Lione, a seguito di un incidente in casa che lo avrebbe reso quasi cieco, per il resto della vita. E l'attenzione e l'interesse per gli studenti sono sempre stati al centro della sua attenzione come attestato da una sorta di "corte dei miracoli" costituita dai tanti ex-allievi che gli sono sempre stati vicino ben oltre la fine degli studi. Negli ultimi anni, tuttavia, non a torto, si coglieva qualche manifestazione di scetticismo e delusione per una tendenza all'appiattimento degli studenti e dell'università in generale, frutto dell'impronta efficientista post-tecnologica.

Una vita trascorsa nella libertà per le proprie passioni: il mare con la sua carissima Procida, la corsa, la Napoli e la Posillipo di un tempo. Tutte passioni legate tra loro da quella per l'arte, scoperta e imposta dallo straordinario affetto per il fratello, prematuramente scomparso. Ricordo ancora lo stupore (da "L'ultima offerta" di *Tornatore*) che ho provato nell'entrare nel salotto di casa, tappezzato di capolavori scovati per decenni presso i rigattieri di tutto il mondo.

È questo interesse per la contaminazione multi-disciplinare che lo ha spinto ad una intensa ed entusiasta collaborazione con l'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria.

Insomma, stiamo ricordando, con affetto, piacere e nostalgia, una persona di cultura, un ingegnere umanista, come dovrebbe essere, e come troppo spesso non è più, un *vero professore*.

Giuseppe Bruno

Invited Lectures

Relazioni a invito

Livio de Santoli

La sfida dell'energia del futuro: Clean Energy For All Riflessioni su energia e democrazia

Abstract
In an actual context of rapid transition, it is necessary to reflect on the sharing of fundamental goods and consider an energy that gives up the absolute autonomy of the markets and financial speculation, to understand the true relationship between energy and society now. Ensuring the right of decent jobs, health, quality education, a sustainable environment and a "clean energy for all", as proposed by the United Nations Agenda 2030, also means ensuring social justice. So, if environmental degradation is above all social degradation and if the environment is a common good, energy must also be considered a common good as well. The pillars that underlie the new energy model, the energy communities and renewable sources, confirm the process of a democratized energy The development of the use of renewable sources to replace fossil fuels, with the challenging objectives to be achieved in the next ten years, will impose an increasingly central role on the individual, who will regain his collective responsibility, his active relationship as a producer combined with that of passive consumer. In fact, it is a sociological change, as it aims to overturn the current centralistic-hierarchical authoritarian model of management of energy resources in the name of a distribution and sharing of resources which in fact also allows a socio-economic modification in a territorial key.

Cambiare il modello energetico significa cambiare la società

Affrontare un cambiamento significa definirne l'urgenza, individuarne la visione strategica e condividerne gli obiettivi (Kotter, 2012). Spesso il cambiamento avviene *leading by example*, con una transizione più o meno coerente in funzione della effettiva disponibilità politica e sociale a rifondare la realtà sociale e produttiva. Nel caso dell'energia, urgenza, strategia e condivisione sono già definiti, così come definito è il carattere di radicale trasformazione del nuovo modello energetico.

Infatti siamo di fronte a una emergenza globale. Il pianeta si è accorto di non poter più sostenere lo sfruttamento delle risorse da parte dell'uomo e l'uomo a sua volta ha preso coscienza di essere il responsabile di una crisi che è globale, economica, sociale, ambientale ed energetica.

Benvenuti nell'era geologica Antropocene!

Siamo noi la variabile geologica che oggi modifica il clima, la geopolitica, la nostra stessa vita. Nostra è la responsabilità del passato e nostra sarà quella per il futuro (Crutzen, 2005).

L'*Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, organo scientifico delle Nazioni Unite, nell'ottobre del 2018 ha evidenziato il pericolo dovuto al riscaldamento globale e ai cambiamenti climatici, stimando in 1,5°C la soglia dell'incremento della temperatura media della terra, rispetto all'epoca pre-industriale, al di sopra della quale si scatenerebbe una controreazione negativa non più controllabile [1].

L'emergenza climatica è provocata per i tre quarti dalle emissioni di CO_2 di cui in larga parte sono responsabili i combustibili fossili e può essere quindi affrontata solo con soluzioni radicali e azioni in grado di ribaltare i canoni del passato (primato incondizionato dell'economia, contraddittoria interpretazione di fenomeni quali globalizzazione, consumismo) che hanno provocato la situazione esistente oggi. Nelle Figure 1 e 2 sono presentati rispettivamente gli andamenti delle emissioni di CO_2 del settore energetico e i diversi trend relativi alla trasformazione del modello energetico.

Nel settore dell'energia questo *ribaltamento* deve riguardare l'offerta, cioé il modo di produrre, e la domanda, cioè il modo di consumare di energia, la interconnessione delle reti e il processo di elettrificazione. Molte azioni sono già nella giusta direzione, quella caratterizzata in definitiva dalla fine del monopolio e del profitto (de Santoli, 2011).

Oggi molti dei settori coinvolti in questa trasformazione hanno cominciato ad attivarsi positivamente; sono i settori più energivori, mobilità ed edilizia, e quelli che

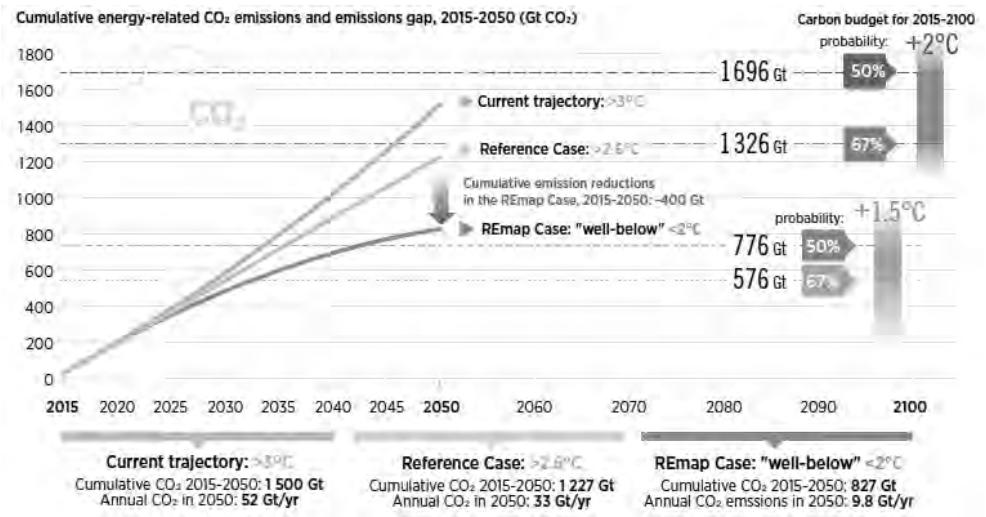


Fig. 1 – Traiettorie delle emissioni di CO2 del settore energetico (da [2])

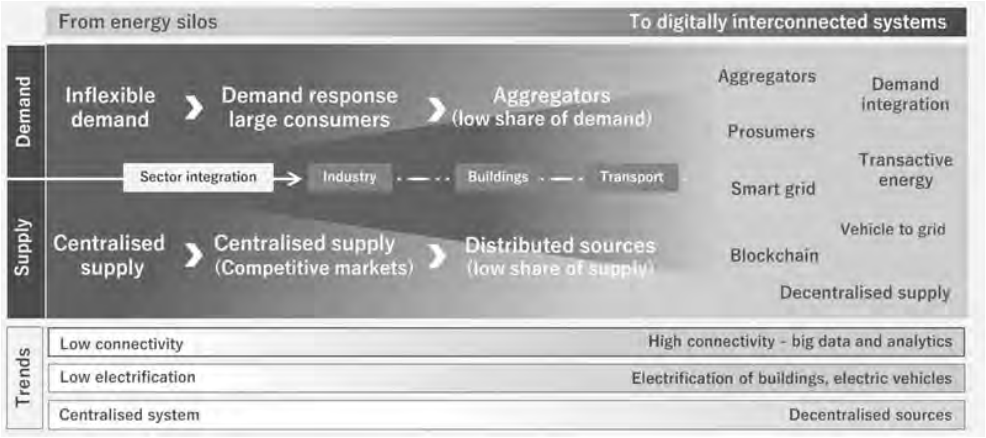


Fig. 2 – La direzione della trasformazione del modello energetico (da IEA, 2017)

regolano le procedure di produzione e utilizzo dell'energia, generazione dell'energia e ICT. Essi hanno cominciato un processo di decarbonizzazione che porterà progressivamente ad abbandonare la fonte fossile, sempre più economicamente inutilizzabile sulla base delle logiche del mercato. Operatori dell'industria energetica, ad esempio *Carbon Tracker Initiative*, hanno individuato nella fonte fossile gli *stranded assets*, che potrebbero essere quantificati nei prossimi anni in 100.000 miliardi di dollari (Mercure et al., 2018). Gli *stranded assets* si riferiscono alla cosiddetta "bolla del carbonio": tutti gli enormi investimenti sul carbonio che non produrranno più utili, a causa delle politiche di decarbonizzazione e della competitività delle soluzioni innovative. Se a ciò si aggiungono la decisione della BEI di fermare a partire dal 2021 il finanziamento alle fonti fossili per gli investimenti strategici e quella del colosso BlackRock, la più grande società di investimento nel mondo con un patrimonio totale di oltre 6000 miliardi di dollari, di puntare solo su investimenti *green*, e la convinzione, espressa da più parti, che la prossima crisi finanziaria sarà legata ai cambiamenti climatici, il quadro di quella che potremmo definire una grande rivoluzione i termini di intensità e diffusione è completo. Ormai i tempi sono maturi per l'introduzione di una *carbon tax*, la tassa sull'inquinamento che accelererà il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

Un nuovo sistema economico legato al tema dell'energia sta prendendo forma. La proprietà lascia il posto all'accesso, il mercato ora è costituito da reti, il monopolio e la centralizzazione sono sostituiti dalla diffusione e dalla condivisione. La *sharing economy* è già presente nella nostra vita: si vedano gli esempi dei programmi del *Green New Deal*, del MOOC, di Wikipedia e di Uber, e lo sarà sempre di più, anche nel settore dell'energia. E non potrebbe essere altrimenti, visto che il mondo dell'e-

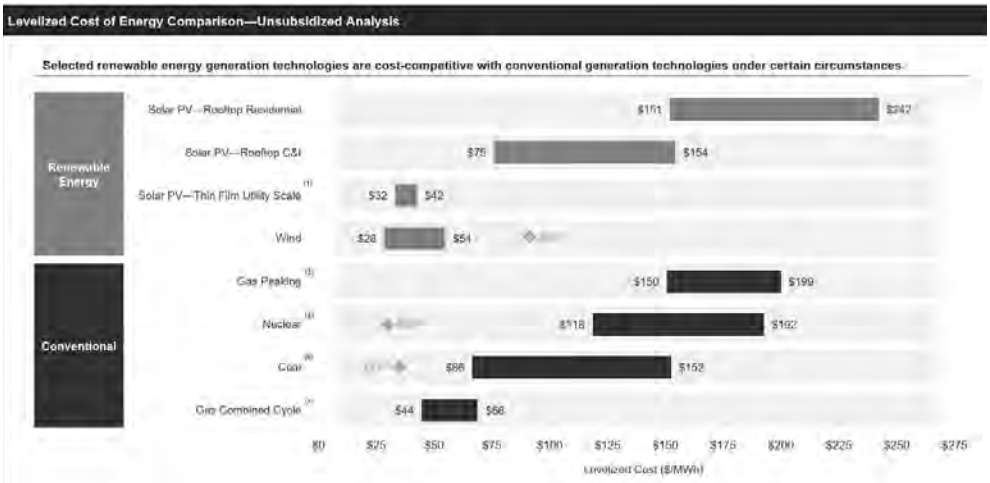


Fig. 3 – Confronto tra LCOE nell'analisi Lazard 2019 (da [3]).

nergia ha intrapreso decisamente la strada delle fonti rinnovabili e che su questa strada si stanno ottenendo economie di scala, abbassamento dei prezzi dei componenti di impianto, aumento delle *performance* e nuove occupazioni.

Nel 1977 il costo unitario di una cella fotovoltaica era di 80 $/W mentre oggi è di 0,5 $/W e il trend non accenna a finire; il costo delle batterie nel 2010 era pari a 1000 $/kWh mentre oggi, dopo solo dieci anni, è meno di 200 $/kWh con l'obiettivo dei 100 €/kWh dietro l'angolo. Si consideri inoltre che oggi le imprese che producono e distribuiscono energia stipulano contratti a lungo termine per la produzione di energia elettrica da solare a soli 2,5 c$/kWh, meno della metà di un costo di produzione medio, in un quadro in cui il cosiddetto LCOE *Levelized Cost of Energy* degli impianti con fonti rinnovabili risulta sempre più competitivo con quello delle tecnologie convenzionali.

Ma non basta.

È questo il momento anche di clamorose iniziative assunte dai fondi pensione che hanno iniziato a disinvestire miliardi di dollari dal settore fossile per reinvestirli nell'economia verde. In altre parole, si iniziano a valutare gli investimenti sulla base di criteri specificamente ambientali e sociali: si parla di ESG, *Environmental Social Governance,* acronimo utilizzato per indicare quelle attività legate all'investimento responsabile che perseguono gli obiettivi tipici della gestione finanziaria sostenibile.

Un aspetto della rivoluzione è quello di legare l'economia e la finanza agli aspetti etici, sociali e ambientali e non al profitto fine a se stesso. Aspetto che poi è una necessità, quella di una società ormai pronta a reagire a qualunque evento conseguen-

te al cambiamento climatico, consapevole della propria fragilità nei confronti della natura e che si difende rafforzando i legami e le condivisioni di ogni sua comunità, a partire da una responsabilità individuale e sociale. Considerando che ogni comunità scopre ora la propria vulnerabilità, emerge forte il desiderio di vivere un'era di resilienza, con la riappropriazione, insieme alla propria paura, della propria identità e quindi della propria dignità (Rodotà, 2019). Tutte le politiche di mitigazione e di contrasto al cambiamento climatico saranno sempre più improntate su questi aspetti.

Il mondo dell'energia racconta anche questo.

Una finanza innovativa per l'energia

L'evoluzione della finanza globale considera l'*Energy Finance* la frontiera interdisciplinare del futuro prossimo. I temi attualmente affrontati sono quelli della definizione delle politiche e delle strategie necessarie per promuovere uno sviluppo inclusivo, uno sviluppo che tenga conto delle attività ESG compatibili. Sviluppare competenze innovative come quelle dell'*Energy Finance* significa essere in grado di misurare e gestire i rischi associati agli investimenti a elevato impatto sociale, in un ambito non solo di politica economica internazionale, ma di nuova cultura interdisciplinare.

Ad esempio, assisteremo presto alla nascita di competenze per la formazione dell'ingegnere finanziario, ovvero di colui che mediante la conoscenza di metodi e fondamenti economico-finanziari è in grado di gestire e valutare i rischi associati all'utilizzo di strumenti finanziari complessi o di progettare strumenti finanziari adeguati ai profili di rischio delineati da nuove attività ESG. Tali attività devono interessare i sistemi energetici, la transizione energetica, lo sviluppo delle infrastrutture materiali e immateriali (Blockchain, 5G) e le tecnologie abilitanti (IOT, AI).

L'*Energy Manager* del prossimo futuro dovrà conoscere i principi per la valutazione di attività finanziarie, così come calcolare e valutare la redditività degli investimenti finanziari, e su questi indirizzare la scelta dei progetti. Il Financial Modelling e la conoscenza dei modelli per la valutazione dei rischi associati alle varie attività finanziarie, per l'utilizzo degli strumenti finanziari e per la gestione del rischio saranno essenziali per permettere l'attenuazione dei fattori di rischio connessi alla gestione di infrastrutture complesse.

Il futuro di un Paese dipende dalla capacità di sfruttare la ricchezza che si accumula per trasformarla in investimenti in un'economia reale, sostenibile e innovativa. Ciò che conta in questo senso è l'aumento della produttività nei settori *green.*

Sovversive sono le politiche energetiche e ambientali che si basano sulle nuove tecnologie e sovversive saranno le nuove misure finanziarie innovative per affrontare investimenti strategici finalmente a lungo termine, strutturati in un rinnovato rapporto tra finanza "paziente" ed economia reale impostato in un quadro di riferimento sociale ed etico.

Ma non basta.

Energia e democrazia

In questo quadro in veloce mutamento, fermarsi a riflettere sulla condivisione dei beni fondamentali per "*agire anzitutto sulle cause strutturali della inequità*" (cfr. Enciclica Laudato Sì, 2015) ci sospinge al di là di una energia che rinuncia all'autonomia assoluta dei mercati e della speculazione finanziaria, per riflettere sul significato del vero rapporto tra energia e società.

Assicurare a tutti il diritto a lavori dignitosi, alla salute, a una istruzione di qualità e a un ambiente sostenibile, come propone l'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, significa anche assicurare una giustizia sociale. Allora, se il degrado ambientale è soprattutto degrado sociale e se l'ambiente è un bene comune, per traslazione anche l'energia deve essere considerata bene comune. Affermazione anche essa *sovversiva* se considerata sotto la lente delle caratteristiche del settore energetico degli ultimi 100 anni.

Oltre al legame energia/ambiente, c'è da considerare che in una economia sempre più digitale i beni strumentali sono prodotti collettivamente e per tale ragione deve essere possibile attuare progressivamente politiche per una larga condivisione, anche in termini economici, dei risultati della digitalizzazione e dell'automazione. In questo senso l'energia prodotta e distribuita e usata con l'ausilio della digitalizzazione assume inevitabilmente il carattere di veicolo di condivisione e collaborazione, altro aspetto negatole nel passato.

I pilastri che sono alla base del nuovo modello energetico, le comunità dell'energia e le fonti rinnovabili, confermano il processo di democratizzazione dell'energia.

Lo sviluppo dell'uso delle fonti rinnovabili in sostituzione delle fonti fossili, con obiettivi sfidanti anche per l'Italia al 2030 mostrati in Figura 4, imporrà un ruolo

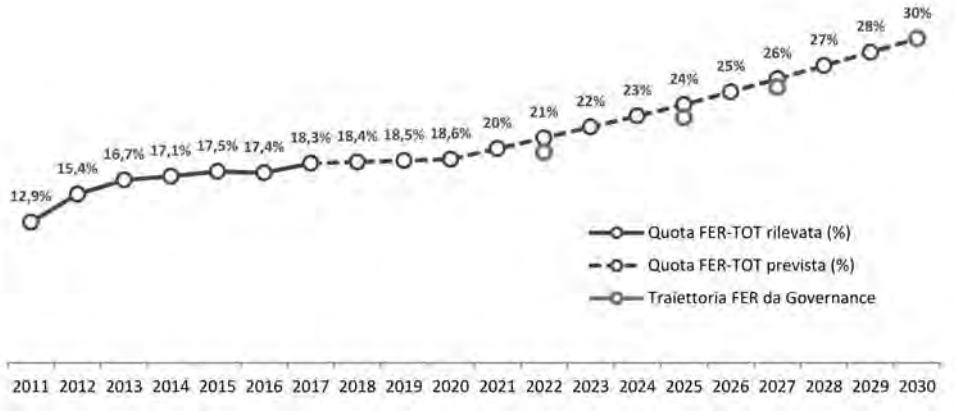


Fig. 4 – Obiettivi dell'Italia al 2030 per le fonti rinnovabili di energia (FER) (da [2]).

Tab. 1 – Traiettorie delle FER fonti rinnovabili di energia al 2030. Elaborazione FREE su dati PNIEC

FER	2016		2017	2030		GW/anno 2021-2030
	Potenza installata (GW)	Produzione (Twh)	Potenza installata (MW)	Potenza installata (GW)	Produzione (Twh)	
Fotovoltaico	19,28	22,10	409	63	81,00	4,33
CSP	0,00	0,00	0	0,90	3,00	0,09
Eolico on-shore	9,41	17,69	359	18,00	41,00	0,82
Eolico off-shore	0,00	0,00	0	1,00	3,00	0,10
Geotermico	0,81	6,29	0	0,90	7,00	0,01
Idroelettrico	18,64	42,43	95	18,40	50,00	-0,03
Bioenergie	4,12	19,51	25	3,20	15,00	-0,09
Totale	52,27	108,02	888	113,25	200,00	

sempre più centrale all'individuo, che si riapproprierà della sua responsabilità collettiva, del suo rapporto attivo di produttore combinato con quello passivo di consumatore. Di fatto è un cambiamento *sociologico*, in quanto mira a rovesciare l'attuale modello autoritario centralistico-gerarchico di gestione delle risorse energetiche in nome di una distribuzione e condivisione delle risorse che di fatto consente anche una modifica socio-economica in chiave territoriale. E' un cambiamento positivo del comportamento dell'uomo, legato al concetto di utopia operativa, e quindi di fatto *realizzabile* (Ricoer, 1984).

La rapida penetrazione delle fonti rinnovabili elettriche in Italia ha disegnato una realtà molto diversa nel giro di pochi anni, con uno sviluppo esplosivo anche se assolutamente prevedibile, almeno a dar conto agli obiettivi comunitari al 2020 e al 2030 che prevedono di triplicare le produzioni di fotovoltaico ed eolico, in Tabella 1.

Accanto a questo imponente sviluppo delle fonti rinnovabili, l'introduzione delle *comunità dell'energia* da parte delle Direttive europee impone che i consumatori siano autorizzati a produrre energia per il proprio consumo, con la capacità di immagazzinare e vendere le eccedenze di produzione di energia, *senza essere soggetti a procedure e oneri discriminatori* o sproporzionati e a oneri non dovuti. Questo permette, tra l'altro, di essere remunerati per l'energia autoprodotta secondo valori correnti di mercato.

Il modello delle comunità dell'energia è quello che meglio utilizza le fonti rinnovabili, per loro natura distribuite, anche qui con aspetti di condivisione e collaborazione. Si parla di "*proiezione secondo un'era di beni e servizi quasi gratuiti e con essa verso la contrazione del capitalismo nel prossimo mezzo secolo e l'affermazione del Commons collaborativo come modello della vita economica*" (Rifkin,

2014). I benefici sono la fine del profitto aggregato, provocato dall'allungamento surrettizio della filiera produttiva dove l'anello iniziale (il produttore) e quello finale (il consumatore) vengono profondamente penalizzati a vantaggio delle figure di intermediazione; l'indebolimento dei diritti di proprietà; la prevaricazione dell'abbondanza (della conoscenza, delle informazioni) sulla scarsità. Il *Commons* sociale non è animato da profitto personale, ma da interessi collaborativi e da un forte senso di condivisione, di trasparenza, semplificazione e aggregazione. Un sistema *a costo marginale zero*, che rappresenta la condizione dove i profitti si annullano, è l'unico sistema compatibile con questa visione.

Il Commons collaborativo permette la realizzazione di quella rete condivisa tra saperi necessaria per una integrazione di tutte quelle azioni impostate verso una crescente consapevolezza dell'individuo: la digitalizzazione dell'energia sempre più capillare fino a raggiungere la singola persona (con dati *open access*), la flessibilità dell'offerta (che deve essere conformata in relazione alla crescente diffusione delle fonti rinnovabili) e della domanda di energia (da proporsi in forma aggregata, condividendo profili di utenza intelligenti), la decentralizzazione dei sistemi energetici.

Applicare i principi delle comunità dell'energia, proporre strumenti finanziari reali, legati al territorio e alle persone, e dare efficacia al ruolo dell'individuo come *prosumer* significherebbe in definitiva considerare l'energia come bene comune.

Le fonti rinnovabili di energia rappresentano la capacità di generare energia attraverso un impegno individuale in chiave di distribuzione territoriale; sono fonti *a costo marginale nullo* e rappresentano la forma più evidente di energia come bene comune e pertanto assicurano, se inquadrate in un ambito organico e territoriale, energia pulita, sicura e accessibile a tutti.

Il caso dell'uso delle rinnovabili è significativo, perché impegna l'individuo a occuparsi della *sua* energia, sia in termini di produzione che di consumo. Quando egli organizza in rete i pacchetti di energia prodotti e consumati nel corso della giornata, negoziando con gli operatori il costo dei surplus o deficit di energia necessaria, si comporta come un *Commons* collaborativo e partecipato perché la sua attività riguarderà la gestione attiva della domanda e della offerta per la sua comunità. In un mercato inclusivo, il costo dell'energia diminuirà a causa del ruolo che ha una fonte energetica a costo marginale nullo, come quella rinnovabile, sulla formulazione dei prezzi dell'energia.

Con questi presupposti è possibile interpretare il significato vero dell'obiettivo numero 7 delle Nazioni Unite (*Clean energy for all*, energia pulita e accessibile per tutti). I 17 obiettivi dell'Agenda 2030 sono stati fissati nel 2015 per proteggere il pianeta e assicurare prosperità alla vita umana.

Per *accessibilità* si intende la possibilità di fruire di servizi senza ricorrere all'indebitamento, mentre per *adeguatezza* si intende la quantità di energia necessaria per garantire livelli di comfort di base.

Questo perché i temi dell'energia coinvolgono direttamente i grandi problemi delle disuguaglianze, come la povertà energetica e le migrazioni ambientali, fenomeni che stanno assumendo proporzioni sempre più drammatiche.

Infatti, secondo i dati dell'Osservatorio Europeo sulla povertà energetica in Europa circa l'8% della popolazione non riesce a riscaldare adeguatamente la propria abitazione o è in ritardo col pagamento della bolletta. In Italia, il numero raddoppia e questa forma di povertà tocca oltre il 16% della popolazione.

Inoltre, milioni di persone sono fuggite da alluvioni, tempeste e siccità, con le più colpite risultate essere le fasce più povere e vulnerabili. Secondo la Banca Mondiale nel 2050 si prevedono 130 milioni di migrazioni forzate causate dagli effetti del cambiamento climatico.

L'Unione Europea, a partire dal 2009, collega espressamente il tema della precarietà energetica non solo a quello dell'efficienza energetica e dello sviluppo economico e ambientale, ma anche a quello di una assenza di sviluppo sociale che impone agli Stati Membri una attività nei confronti delle famiglie vulnerabili, ammettendo per essi la necessità di garantire il funzionamento dei servizi di base. Fino al 2013 la UE ha insistito sul contrasto alla povertà energetica senza affrontare il problema in modo diretto, ma come coinvolgimento di una serie di interessi trasversali, tutti riconducibili alla tutela ambientale. Ma con il parere 2013/C/341/05 si determina un vero e proprio diritto all'energia considerata come "bene comune fondamentale affinché tutti possano vivere dignitosamente". In quanto bene comune essenziale, l'energia rientra tra i servizi di interesse economico generale ed è riconosciuta dal Trattato di Lisbona in tema di coesione sociale e territoriale.

Il diritto di fruire di consumi energetici essenziali non è di fatto costituzionalizzato, ma risulta direttamente connesso con altri diritti a loro volta presenti nella Costituzione, quello alla salute (art. 32), all'ambiente (art. 9) e alla realizzazione della persona nel contesto sociale (art.2).

La strada per considerare l'energia diritto fondamentale e non solamente legato allo sviluppo dell'uomo e per l'esercizio di altri diritti dell'uomo, come indicata dal Trattato di Lisbona e dalla Carta dei diritti fondamentali della UE, è tuttavia tracciata: va in questa direzione anche il riconoscimento da parte del Parlamento europeo dell'accesso all'energia come diritto sociale fondamentale, del 2016.

Tra le altre, una prima importante conseguenza di questo riconoscimento risulterebbe quella di definire e misurare la povertà energetica prima di ogni intervento normativo, includendo le responsabilità a tutti i livelli istituzionali, dallo Stato, alle Regioni, e agli Enti regolatori, impegnando direttamente risorse provenienti dal bilancio pubblico, ossia finanziate dal sistema contributivo.

Abbiamo visto che, grazie alle preoccupazioni ambientali, è necessario riflettere sul concetto di bene comune, e più in generale di "valore" per inquadrare le modalità di uno sviluppo sostenibile diverso rispetto al passato nel complesso rapporto dei

diritti pubblici e privati, della mano invisibile del mercato sulla gestione dei beni pubblici e comuni, del rinnovato rapporto tra proprietà privata e godimento comune (Lucarelli, Olivieri, 2013). Anche qui riferirsi al tema dell'energia può essere illuminante.

Come può cambiare il complesso rapporto tra primato della tecnica e sopravvivenza del pianeta se la società non sarà più una "società dei consumi"? Come deve cambiare il significato di *enclosures* in funzione del mutato comportamento umano non più legato alla logica del profitto economico e ai soli diritti dell'individuo proprietario?

Il concetto di beni comuni, che riguarda beni materiali, quali ambiente, mare, bosco, e beni immateriali come salute, conoscenza, educazione, deve riprendere e risolvere l'apparente contraddizione di come, in una società *social*, paradossalmente incapace di sostenere comportamenti relazionali collaborativi perché ancor più incentrata su logiche del profitto individuale intensivo ed escludente, sia possibile valutare appropriatamente i beni essenziali per la vita associata.

Il *Commons* tende a superare la distinzione moderna tra proprietà pubblica e privata e fissare l'attenzione sull'interpretazione di un comportamento antropologico, finalmente naturale e incontrovertibile, e invece oggi profondamente relativo e storico.

Le comunità energetiche rinnovabili e il comportamento responsabile dei suoi membri forniscono una chiave di lettura di un modello diverso, che, tendendo a recuperare il vero valore di una energia democratica, risulta essere di stimolo per la necessità di una estensione dei termini giuridici del concetto di bene comune.

Risulta evidente trovare espressioni di correlazione tra i beni materiali come quelli ambientali, caratterizzati da un progressivo depauperamento, e quelli immateriali, come la conoscenza, che viceversa con l'uso subisce un accrescimento. Anche su questo tema, dalla applicazione della conoscenza e della formazione all' energia è possibile individuare traiettorie innovative che rispondono a tale esigenza, in linea con quanto auspicato dalle Nazioni Unite (Formazione di qualità, Obiettivo 4). Ad esempio, il divario sempre più crescente tra cultura scientifica e umanistica, conseguenza di un modello tecnocratico e privatistico della conoscenza, non solo non ha motivo di esistere ma nel caso della sostenibilità impone un ribaltamento verso una intersezione transdisciplinare.

Aspettiamoci allora la nascita di una nuova competenza, quella dell'ingegnere *etico*.

Bibliografia

Kotter J. 2012. Leading change. Harvard: Harvard Business Press.

Crutzen P. 2005. Benvenuti nell'Antropocene. L'uomo ha cambiato il clima, la Terra entra in una nuova era. Milano: Mondadori.

de Santoli L. 2011. *Le Comunità dell'Energia.* Roma: Quodlibet.

IEA. 2017. *Digitalization and Energy*. Report OECD/IEA. Parigi: IEA.

Lucarelli A., Olivieri U.M. (a cura di), 2013. *A piene mani*. *Dono, dis-interesse e beni comuni.* Campobasso: Diogene Edizioni.

Mercure J.F., Pollitt H., Viñuales J.E., Edwards N.R., Holden P.B., Chewpreecha U., Salas P., Sognnaess I., Lam A., Knobloch F. 2018. Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets, Nature Climate Change, 8, 588-593.
Rodotà S. 2018. *Vivere la democrazia*. Bari: Edizioni Laterza.
Rifkin J. 2014. *La società a costo marginale zero*. Milano: Mondadori, 2014
Ricoer P. 1984. *Ideologia e utopia*. Milano: Jaca Book.

Webgrafia

[1] https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/
[2] https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition
[3] https://www.lazard.com/perspective/lcoe2019
[4] https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf

Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli

20 luglio 1969: il primo uomo sulla Luna. L'evento e le sue ricadute

Abstract
Man's landing on the moon was undoubtedly the most significant event of the second half of the 20th century (July 20, 1969), not only from the media point of view, but mainly from the scientific and technological points of view. While the newspapers focused on the last part of the event, that is on the Neil Armstrong that sets his foot on the lunar surface, only some specialists have deepened what that extraordinary Mission has requested and imposed, in terms of preparation and engagement of thousands of men and women. This paper aims at providing a historical, scientific and technological framework for the lunar mission, referring to subsequent missions, too. The deep knowledge of what really happened is certainly interesting, but it is probably better that this item is personally accomplished. In its second part this paper reports some space activities that took their cue and push from those lunar Missions. It refers to two Missions: the SIR-C / X-SAR, that were conceived for the optimization of the use of radar in orbit, and the Cassini Mission. The authors of this contribution were involved in both activities.

Introduzione

La notte del 20 luglio 1969 l'uomo pose per la prima volta il piede sulla Luna. Fu una notte straordinaria: è difficile dimenticare le voci di Tito Stagno e Ruggero Orlando, che descrivevano il momento in cui l'astronauta americano Neil Armstrong, poggiando il piede sul suolo lunare, pronunciò la storica frase: "un piccolo passo per un uomo, un gigantesco salto per l'umanità".

La prima aspirazione dell'Uomo è stata, infatti, quella di sollevarsi da Terra, di volare: pensiamo a Icaro, che imitò il volo degli uccelli attaccandosi delle ali con la cera che si fuse al sole. Lo stesso Leonardo, con le sue macchine volanti, trasse ispirazione di nuovo dal volo degli uccelli. Successivamente l'Ariosto, nel suo Orlando Furioso, fece raggiungere la Luna da Astolfo a cavallo di un ippogrifo. In questi casi era necessaria la presenza dell'aria per dare il necessario sostegno alle grandi ali.

Dal passato quello che più ci prepara al viaggio verso la Luna è forse il gesto di David con la sua fionda, che appartiene a quei sistemi che nel tempo hanno tentato di superare la forza di gravità con una spinta iniziale molto forte.

La scoperta della polvere da sparo e le armi da fuoco ci hanno poi avvicinato alla possibilità di percorrere uno spazio anche nel vuoto, cioè in un ambiente in cui l'assenza dell'aria può facilitare il percorso di un oggetto.

Con questi sistemi si è pensato di sollevarsi sempre più in alto tanto che, nel milleottocento, alcuni scrittori hanno immaginato di poter raggiungere la Luna, imprimendo a una opportuna navicella spaziale una spinta iniziale molto forte. Il mezzo per questa spinta iniziale poteva essere, ad esempio, un grosso cannone: è quanto immaginò Ernesto Capocci, in un libro che è una sorta di racconto che, profetizzando il viaggio fino al satellite, narra l'avventura di Urania e dei primi uomini arrivati sulla Luna. Un'opera che andò dispersa (avrebbe meritato ben altra fortuna), e di cui una copia è stata trovata soltanto per caso nella Biblioteca nazionale di Bari, in cui Capocci ha immaginato e scritto quello che sarebbe avvenuto duecento anni dopo e lo ha fatto raccontare da una donna [1]. Ancora una volta, però, la realtà ha superato la fantasia: siamo arrivati sulla Luna molto prima! Ritroviamo in questo libro i tanti problemi che si sono dovuti superare per raggiungere la Luna: fra questi quello del lancio, che Capocci risolve impiegando un grosso cannone, fuso e reso operativo nella bocca di un vulcano spento, e quello dei pesi, superato arrivando a eterizzare gli astronauti.

Da fantascienza a realtà, l'allunaggio è diventato possibile con la messa a punto degli endoreattori, cioè con la propulsione a reazione, quando il razzo ha potuto portare sia il combustibile sia il comburente (Emrich, 2016).

La strada è aperta e il sogno è diventato realtà la notte del 20 luglio 1969.

È stato certamente un grande evento che cercheremo di raccontare, ma che ha anche evidenziato problemi, per la cui soluzione è stata impostata una serie di attività scientifiche di grande rilievo e sono state sperimentate soluzioni successivamente adottate.

In questo contributo ricorderemo due missioni scientifiche di particolare rilevanza, alle quali l'esperienza del primo allunaggio umano ha dato ispirazione e fornito soluzioni:

– le Missioni SIR-C/X-SAR per l'ottimizzazione dell'uso del radar in orbita;
– la Missione Cassini – Huygens, con la posa dell'Huygens Probe dell'ESA su Titano.

In entrambe le Missioni furono coinvolti gli autori di questo contributo.

La Missione "allunaggio"

Il primo lancio nello spazio, storicamente provato e qui testimoniato dalle foto in Figura 1, è quello del vettore V2 che nel 1947, nel deserto del Nevada, salì a 100 miglia di quota, circa 150 km, fotografando la Terra. Riteniamo che questo lancio possa essere considerato l'inizio effettivo delle operazioni che porteranno alla conquista dello spazio.

Fig. 1 – In alto, il vettore V2. In basso, la prima fotografia ripresa dallo spazio, a 100 miglia di quota, nel 1947.

La Seconda guerra mondiale si era conclusa, lasciando una scia di lutti e distruzioni indescrivibili: il mondo era attonito di fronte agli effetti della bomba atomica. Alla guerra calda subentrò la cosiddetta guerra fredda, attori principali gli Stati Uniti e l'Unione Sovietica. Fra i temi della guerra fredda può essere considerata la conquista dello spazio, cui entrambe le potenze si erano dedicate. Il 4 ottobre 1957, il lancio da parte dell'URSS dello Sputnik, primo satellite artificiale costruito dall'uomo e capace di orbitare intorno alla Terra, suscitò grande ammirazione e, allo stesso tempo, preoccupazione. Il bip-bip del modellino che i sovietici regalavano agli ospiti, ossessionando il mondo occidentale, segnò l'inizio della "corsa allo spazio".

È impressionante la sequenza di eventi che portò poi al primo allunaggio dell'uomo. Il presidente Dwight Eisenhower costituì, il 29 luglio 1958, la *National Aeronautics and Space Administration*, la NASA, e dette impulso al Programma Mercury, già concepito nel 1953, per testare i limiti di resistenza del corpo umano nello spazio. A tale scopo, robot e animali furono spediti nello spazio: Ham, lo scimpanzé del progetto Mercury, e Laika, il cane sovietico, sono diventati entrambi celebri nel mondo dell'astronautica. Ham fece ritorno sulla terra e morì di vecchiaia nello zoo di Washington, mentre Laika morì nel 1957 a bordo dello Sputnik 2.

Si arriva quindi ai primi uomini nello spazio: il 12 aprile 1961, il cosmonauta sovietico Yuri Gagarin divenne il primo uomo a viaggiare nello spazio, compiendo un'intera orbita intorno alla Terra a bordo di una navicella Vostok. Ma subito dopo, il 5 maggio 1961, fu l'americano Alan Shepard Jr, lanciato a bordo della navicella Mercury-Redstone 3, il primo astronauta statunitense a viaggiare nello spazio.

Crediamo sia utile una riflessione sulle diverse filosofie seguite nella corsa allo Spazio da Usa e Urss. L'Unione Sovietica aveva seguito la strada di aumentare la potenza dei propulsori per poter mettere in orbita pesi sempre più consistenti e poté, così, vantare i missili più potenti; tale scelta fu influenzata certamente anche da ragioni miliari. Gli Usa avevano seguito la strada di ridurre considerevolmente i pesi; questa filosofia portò alla miniaturizzazione dei circuiti con tutte le ricadute nelle applicazioni civili, verificatesi nel tempo. Gli Stati Uniti trascurarono, a nostro parere volutamente, il problema di inseguire i sovietici nella produzione di sistemi balistici più potenti; si posero invece un obiettivo più spettacolare, anche se non giustificato da motivi strettamente militari.

"*Credo che questa nazione si debba impegnare a raggiungere l'obiettivo, prima che finisca questo decennio, di far atterrare un uomo sulla Luna e di farlo tornare sano e salvo sulla Terra*"

questo obiettivo fu annunziato, il 25 maggio 1961, da J. F. Kennedy, al Congresso degli Stati Uniti col discorso su "Urgenti necessità nazionali".

La corsa alla Luna fu caratterizzata dalla nascita delle due missioni della NASA Gemini e Apollo, mentre il progetto Mercury lavorava a nuove missioni: nel febbraio

1962, John Glenn fu il primo americano a compiere una orbita terrestre completa, in una missione nota come "Friendship 7". Però, ancora una volta, il primo astronauta a uscire dalla propria navicella in orbita fu il sovietico Aleksei Leonov, nel marzo del 1965.

Intanto, nell'ambito del progetto Apollo, che era stato presentato da James Webb l'11 giugno 1962, si valutavano le varie soluzioni per arrivare alla Luna; la scelta fu il *Lunar orbit rendez-vous*, che prevedeva che una navicella spaziale dedicata si posasse sulla superficie lunare. La navicella Apollo sarebbe stata quindi composta da tre parti [2]: un modulo di comando con una cabina pressurizzata per i tre astronauti, che era anche l'unica parte che sarebbe tornata sulla Terra, un modulo di servizio, supporto per il modulo di comando con fornitura di propulsione, energia elettrica, ossigeno e acqua, e un modulo lunare, a sua volta diviso in due stadi, uno per la discesa e l'allunaggio e uno di risalita per riportare gli astronauti nell'orbita lunare. La scelta di questo profilo di missione significò che sarebbe stato possibile lanciare il veicolo spaziale tramite il razzo Saturn V, un vettore che era in quel momento in fase di sviluppo.

Nell'ottobre 1968, la missione Apollo 7 testò il modulo di comando in orbita terrestre. Nel marzo 1969, Apollo 9 eseguì i test del modulo lunare in orbita terrestre. Nel maggio 1969, Apollo 10 condusse una "prova generale", testando il modulo lunare in orbita lunare. A questo punto, ogni momento era idoneo per l'avventura: infatti il 16 luglio, alle ore 13:32 UTC, Apollo 11 fu lanciato da un razzo Saturn V dal *Kennedy Space Center*, con a bordo i tre astronauti statunitensi Neil Armstrong, Buzz Aldrin e Michel Collins. Il terzo stadio del Saturn V spinse gli astronauti verso la Luna, poi gli astronauti separarono la navicella e viaggiarono per tre giorni prima di entrare in orbita lunare. Armstrong e Aldrin si spostarono sul modulo lunare atterrando sul Mare della Tranquillità. Era il 20 luglio1969, ore 20:17:40 UTC. Sei ore più tardi, il 21 luglio alle ore 02:56 UTC, Armstrong fu il primo uomo a mettere piede sul suolo lunare. Aldrin arrivò 19 minuti dopo. In Figura 2 è riportata la foto che tutti conosciamo e che ricorda questo momento. Il terzo membro della Missione, Michel Collins, pilota del Modulo di Comando, rimase in orbita lunare. Dopo 21,5 ore dall'allunaggio, gli astronauti si riunirono e Collins pilotò il Modulo di Comando Columbia nella traiettoria di ritorno sulla Terra. La Missione terminò il 24 luglio, con l'ammaraggio nell'Oceano Pacifico.

Si concludeva così una grande impresa. i tre astronauti portavano a Terra una grande esperienza e 21,5 kg di materiale lunare dopo aver lasciato sulla Luna alcuni oggetti, fra i quali una targa, in Figura 3, e un sismografo, in Figura 4, che avrebbe rilevato i movimenti del suolo lunare, fornendo importanti informazioni sulla struttura interna della Luna. I voli per la Luna continuarono ancora per alcuni anni, l'ultimo della serie, Apollo 17, nel dicembre 1972, poi le attività spaziali continuarono in altri settori.

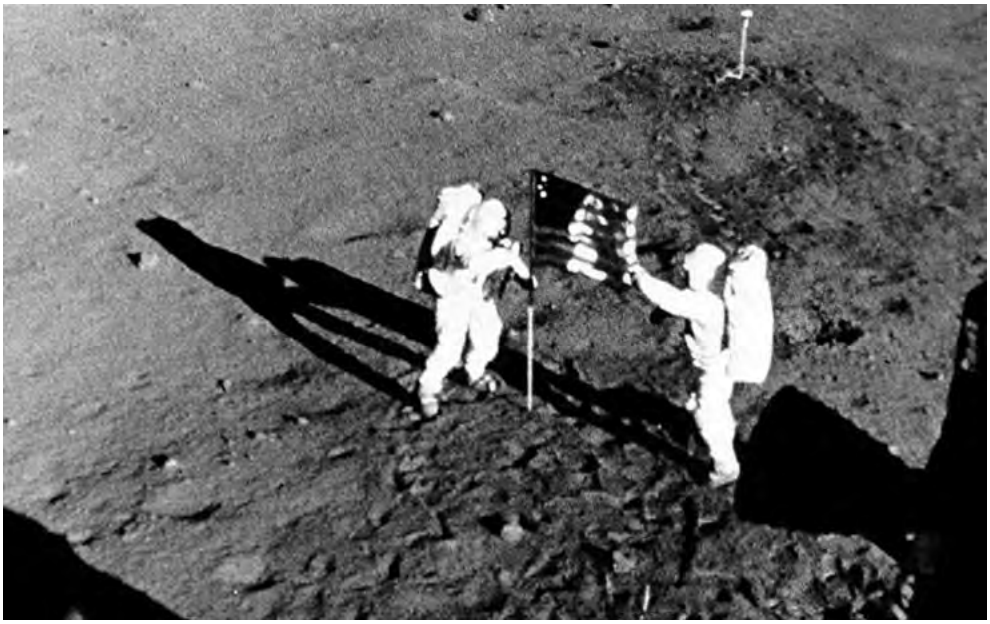


Fig. 2 – Gli astronauti Armstrong e Aldrin posano la bandiera americana sul suolo lunare.

Fig. 3 – Targa commemorativa del primo allunaggio lasciata dagli astronauti sulla Luna.

Fig. 4 – Aldrin vicino al Passive Seismic Experiment Package con il modulo lunare, Eagle, sullo sfondo.

Le Missioni SIR-C/ X-SAR

L'allunaggio era stato compiuto con l'ausilio del radar. Tuttavia, erano stati riscontrati dei problemi, tanto che la fase finale, gli ultimi metri della discesa, era stata compiuta manualmente.

È lecito pensare che il Programma *Mission to planet earth,* varato negli anni '70 del secolo scorso, di cui fecero parte le Missioni SIR-C/X-SAR, che ebbero lo scopo generale di ottimizzare l'uso del radar nello spazio, sia stato anche ispirato dall'esperienza dell'allunaggio del primo uomo. I risultati ottenuti nella migliore utilizzazione dei parametri radar in termini di frequenza, polarizzazione e angolo di vista, nelle varie applicazioni che il programma contemplava, ampliavano il bagaglio di conoscenze, come avviene sempre nella scienza, e la loro utilizzazione va molto al di là degli obiettivi immediati.

Le missioni SIR-C/X-SAR, effettuate due nel 1994 e l'ultima nel 2000, avevano lo scopo di mettere in evidenza la potenzialità dell'Osservazione dallo Spazio con sistemi radar in vari settori applicativi, quali ecologia, geologia, idrologia e oceanografia.

Tab. 1 – Caratteristiche tecniche dei sistemi radar utilizzati nelle Missioni SIR-C/X-SAR

Missioni	*SIR-C/X-SAR*
Date	Aprile 1994, Ottobre 1994, Febbraio 2000
Paesi partecipanti	USA, Germania, Italia
Banda/Frequenza (GHz)	L, C, X/1.25, 5.3, 9.6
Polarizzazione	quad (L,C); VV (X)
Angolo di incidenza (gradi)	15 - 55
Risoluzione in range (m)	30
Risoluzione in Azimuth (m)	30
Swath width (km)	15 - 60

Il fatto nuovo delle missioni SIR-C/X-SAR era che per la prima volta si mettevano in orbita, su un'unica piattaforma, tre radar a frequenze diverse e a diverse polarizzazioni, capaci di osservare con diversi angoli di incidenza. In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche tecniche dei radar. Ciò ha consentito di ricavare, per ogni tipo di applicazione, i parametri ottimi del radar SAR, radar ad apertura sintetica, e quindi, viceversa, di classificare l'affidabilità dei dati.

La Tabella 2, ad esempio, riporta i parametri SAR ottimi per una specifica applicazioni di telerilevamento: l'ecologia. Le bande di frequenza utilizzate sono riportate nella prima riga: Banda X (8÷12 GHz), Banda C (4÷8 GHz), Banda S (2÷4 GHz), Banda L (1÷2 GHz), Banda P (230÷1000 MHz).

Per ogni banda sono indicate le modalità di acquisizione dei dati in termini polarimetrici: trasmissione e ricezione con polarizzazione orizzontale (HH), trasmissione e ricezione con polarizzazione verticale (VV), trasmissione e ricezione con polarizzazioni ortogonali (X).

Le righe sottostanti della tabella riportano la qualità dei dati per ogni ambito di applicazione. I risultati ottenuti hanno permesso di affermare che:

- la mappatura e il monitoraggio richiedono una combinazione delle bande X o C oppure L o P;
- la banda L o P è essenziale per discriminare foresta/non foresta;
- la modellazione della biomassa forestale richiede la polarizzazione incrociata della banda L o P;
- la mappatura delle aree inondate richiede la banda L o P polarizzata HH;
- la banda L è la più importante per il rilevamento da remoto dell'agricoltura;
- la migliore classificazione dei raccolti si ha con la banda X e L, seguono C e L.

Purtroppo, solo pochi risultati sono stati pubblicati relativamente alla banda S.

Tab. 2 – Parametri SAR ottimi per applicazioni di telerilevamento: Ecologia. X, C, L, P sono le bande di frequenza operative del SAR. T: topografia; I: interferometria. HH: trasmissione e ricezione con polarizzazione orizzontale; VV: trasmissione e ricezione con polarizzazione verticale; X:trasmissione e ricezione su canali con polarizzazioni ortogonali

	Ambiti di ricerca/Applicazioni	X			C			S			L			P			T	I
		HH	VV	X	HH	VV	X	HH	VV	X	HH	VV	X	HH	VV	X		
E	Mappatura della vegetazione	A	A	B	A	A	B	A	A	B	<	>	B	<	>	B	B	B
C	Stima della biomassa		A			A					A	A	B	A	A	B	B	B
O	Geometria della calotta	B	B	A	B	B	B				B	B	B	B	B	B	A	B
L	Monitoraggio della foresta pluviale	-	-	-	-	-	-				B	A	A	B	A	A		
O	Zone umide	B	B	B	B	B	B				B	A	A	B	A	A		
G	Monitoraggio dei raccolti	<	<	<	>	>	>				B	B	B	-	-	-		
Y	Monitoraggio della tundra	B	B	B	B	B	B					B						
	Congelamento/scongelamento della vegetazione	<	<	<	>	>	>											

Legenda:
A: utile
B: importante
C: non obbligatorio
< > importante, è richiesta solo una polarizzazione
<< | >> importante, è richiesta la polarimetria, ma solo di una delle due frequenze
- nessuna rilevazione

Fissando l'attenzione sulle missioni citate, si fa riferimento a precise caratteristiche. Si parla cioè di missioni scientifiche ed abitate. Scientifiche perché si tratta di missioni che hanno lo scopo di svolgere attività scientifica, come quella delineata.

In particolare, le missioni SIR-C/X-SAR avevano lo scopo di sperimentare nuove tecnologie radar (per la prima volta un radar in banda X in orbita), di valutare globalmente le variazioni stagionali (una missione in aprile, l'altra in ottobre, la terza in febbraio), di verificare la fattibilità della interferometria dallo spazio (con la prima e la seconda missione) e quindi, sulla base della risposta positiva ottenuta, di predisporre un sistema interferometrico operativo con la terza missione. Abitate perché era prevista la presenza dell'uomo, anzi di un intero equipaggio (sei persone) per rendere efficace e significativa la sperimentazione. E questo certamente era stato possibile grazie all'esperienza della Missione lunare.

La Missione Cassini-Huygens

Come detto, nell'ambito del progetto Apollo, la soluzione scelta per arrivare alla Luna fu il *Lunar orbit rendez-vous***,** con la previsione che una navicella spaziale dedicata si sarebbe posata sulla superficie lunare.

Questo schema, di separare la parte orbitante dal modulo di discesa, è stato utilizzato in altre Missioni spaziali, in particolare nella Missione Cassini-Huygens. La Missione Cassini-Huygens è stata progettata, gestita e operata dalle Agenzie Spaziali degli Stati Uniti, dell'Europa, e dell'Italia, rispettivamente la NASA, l'ESA e l'ASI, con lo scopo di esplorare il sistema Saturno ponendo un satellite artificiale in orbita intorno a Titano, satellite naturale di quel pianeta, così da potervi fare posare un veicolo spaziale. La sonda si componeva di due elementi: l'*orbiter* Cassini della NASA e il *lander* Huygens dell'ESA (il veicolo spaziale). Il satellite artificiale è stato lanciato il 15 Ottobre 1997, ed è stato operativo in orbita dal 1° luglio 2004 sino a luglio 2008, posando anche l'Huygens Probe dell'ESA su Titano, nel Gennaio 2005.

Una prima estensione della missione, *Equinox Mission* (luglio 2008 - ottobre 2010), è stata tesa ad osservare il sistema Saturno in occasione dell'attraversamento del suo piano equatoriale da parte del Sole. La seconda estensione, *Solstice Mission*, completata nel 2017, ha avuto lo scopo di osservarne i cambi stagionali indotti dalla presenza del Sole sino alla sua massima elevazione sul piano equatoriale di Saturno. La sonda, *lander* e *orbiter*, ha concluso la sua attività il 15 settembre 2017 dopo che, come programmato, è stata fatta rientrare nell'atmosfera di Saturno e così disintegrata.

In sintesi, gli obiettivi scientifici della Missione Huygens su Titano erano relativi a raccogliere informazioni e dati su quanto elencato: composizione della atmosfera, le sue stratificazioni, possibile presenza di più complesse molecole organiche, esistenza di venti e variazioni di temperatura. In aggiunta, esplorare in ambito del Sistema Saturno l'esistenza di un ambiente atto alla presenza di esseri viventi su alcuni dei satelliti naturali di Saturno.

Venendo agli obiettivi scientifici della Missione Cassini su Saturno, questi si sono concretizzati nella raccolta di informazioni e dati su: composizione della atmosfera; composizione della magnetosfera, e generazione in essa di nubi di idrogeno, nitrogeno e prodotti acquosi; composizione degli anelli di Saturno, e loro interazione con la sua atmosfera, ionosfera, magnetosfera; descrizione delle sue lune, in particolare se la luna Rhea abbia un suo particolare anello e se sulla luna Enceladus ci sia mare; presenza di altri satelliti naturali, in aggiunta quelli già noti.

Nelle due estensioni della Missione Cassini-Huygens è stato approfondito lo studio del sistema Saturno, sulla base di quanto osservato nella prima missione.

I risultati della Missione e delle sue estensioni, della durata complessiva di 13 anni, sono stati molto importanti, in quanto hanno permesso di giungere alla completa conoscenza del sistema Saturno e dello sviluppo della formazione del sistema solare e hanno fornito informazioni sulla possibilità di vita analoga a quella sulla Terra. In particolare, sul satellite Enceladus è presente un oceano di acqua, con spessore dell'ordine di 10 km; al di sopra di questo oceano di acqua esiste una crosta ghiacciata dello spessore variabile da 30 km a 5 km nella regione Sud-polare. La presenza di acqua e di molecole organiche contenenti carbonio fa ritenere che il satellite sia potenzialmente abitabile. Su Titano è presente una densa atmosfera di idrogeno e in parte di metano. Sono stati poi individuati altri 13 satelliti naturali, in aggiunta a quelli già noti.

Considerazioni finali

In questo contributo si è voluto ricordare un evento fra i più suggestivi, ma anche molto importanti, per l'umanità. In proposito tanto è stato scritto e detto, anche a sproposito, su ipotesi assolutamente immaginarie, che oggi si cerca di giustificare. Siamo al paradosso: si cercano giustificazioni al tentativo compiuto di mettere in dubbio la più importante impresa della seconda metà del secolo ventesimo!

Per illustrare meglio la cura con cui la Missione lunare fu preparata, ci sembra giusto dare notizia di un'altra attività organizzata dalla NASA e dalla Difesa Americana in vista dell'obiettivo "allunaggio del primo uomo". È un'attività di cui si è saputo poco, ma che oggi merita di essere conosciuta anche perché le ragioni di segretezza del tempo sono ormai superate.

Fra il 1966 e il 1967, gli Stati Uniti inviarono verso la Luna cinque sonde di ricognizione, denominate *Lunar Orbiter*, con l'obiettivo di creare una mappa fotografica dettagliata dalla quale selezionare i luoghi migliori per i futuri allunaggi degli equipaggi delle missioni Apollo.

Le sonde *Lunar Orbiter* fotografarono la superficie lunare su pellicola fotografica da 70 mm. A bordo delle sonde venne installato un laboratorio di sviluppo all'interno di un contenitore pressurizzato. Le pellicole furono quindi sviluppate chimicamente, asciugate, e poi sottoposte a scansione con un sistema analogico, in maniera completamente automatizzata, a bordo delle sonde. Le *Lunar Orbiter* trasmisero via radio

Fig. 5 – Le immagini originali delle Lunar Orbiter stampate e usate alla NASA per scegliere i siti di allunaggio.

Fig. 6 – Immagine del cratere Copernico della Luna ripreso dalla sonda Lunar Orbiter.

verso la Terra il segnale di uscita di queste scansioni, segnale che fu captato dalle grandi antenne della NASA situate in Spagna (Madrid), Australia (Woomera) e California (Goldstone). Le fotografie furono ricostruite sulla Terra partendo da questi segnali radio e furono usate per preparare gli allunaggi. In Figura 5 è riportata una foto che testimonia questa attività.

Una delle prime foto recuperate, riportata in Figura 6, mostra il cratere Copernico della Luna, ripreso obliquamente dalla sonda *Lunar Orbiter 2,* il 24 novembre 1966 da una quota di circa 45 km.

Spesso ci si è chiesto a cosa sia servita, in termini di ricadute, la missione sulla Luna, e perché tali missioni, da parte USA, siano terminate nel 1972. La risposta non è semplice, ma possiamo presentare una serie di considerazioni al riguardo.

Sul piano strettamente scientifico, abbiamo riportato due esempi significativi, quelli delle Missioni citate, ma l'esperienza lunare ha influenzati molti altri settori:

– si è detto della miniaturizzazione dei circuiti, effetto della scelta americana di ridurre i pesi. Tutto quello che oggi abbiamo, in termini di cellulari e simili, è forse cominciato allora;
– si è sperimentata la vita e il lavoro dell'uomo in assenza di peso; tutta la sperimentazione scientifica volta alla produzione di materiali in assenza di gravità,

oggi condotta a bordo della Stazione Spaziale Internazionale, è cominciata allora. Numerosi sono i materiali e i medicinali prodotti sulla base di sperimentazioni condotte in assenza di peso;
- l'incognita sulle reali condizioni in cui l'uomo si sarebbe trovato a operare ha costretto a realizzare equipaggiamenti e strumenti, che oggi comunemente usiamo. Il campo è vastissimo, dai sistemi di protezione dal caldo e dal freddo ai sistemi di liofilizzazione dei cibi;
- i radar usati nella Missione lunare davano indicazioni talvolta non completamente affidabili. Gli anni successivi servirono agli Usa per predisporre il programma Mission to Planet Earth, nel quale fu sperimentato scientificamente l'uso del radar in orbita, la prima volta nel 1978. In questo caso una insufficienza ha prodotto eccellenti risultati scientifici, quale la sonda sulla cometa, ma anche grandi vantaggi per usuali applicazioni, legati per esempio alla navigazione satellitare;
- il patrimonio di conoscenze accumulato con la Missione Apollo 11 non si cancella. Oggi si torna a parlare di missioni lunari e tutta l'esperienza acquisita con quelle missioni tornerà estremamente utile; se la Luna non è adatta alla vita dell'uomo, una base lunare sarà forse indispensabile come punto di partenza per lo spazio più lontano.

Il motivo ufficiale della mancata prosecuzione delle missioni sulla Luna, nonché razionalmente il più probabile, è legato ai costi eccessivi e al venir meno della motivazione politica, una volta che i sovietici rinunciarono al proprio tentativo di sbarcare sulla Luna. Non secondaria causa fu lo scarso interesse da parte del presidente repubblicano Richard Nixon nel portare avanti un programma fortemente voluto dal presidente democratico John Kennedy.

Nel 1989, l'allora presidente americano George H.W. Bush lanciò l'ambizioso programma denominato *Space exploration iniziative*, che prevedeva la creazione di una base lunare permanente**.** Ma la tiepida reazione dell'opinione pubblica e l'opposizione del Congresso bloccarono l'iniziativa.

Nel 2004 il figlio, divenuto a sua volta presidente, George W. Bush, propose nuovamente l'idea col progetto *Vision for space exploration*, e stavolta sembrò che la cosa dovesse avere un seguito, con una base lunare da realizzare entro il 2020 come tappa intermedia in vista di un volo sino a Marte. Ottenuto il via libera del Congresso il programma, che intanto aveva cambiato nome in *Constellation*, venne poi cancellato da Barack Obama nel 2010 per carenza di fondi adeguati, e per il parere contrario di una commissione tecnica appositamente costituita.

Oggi sembra che la situazione stia cambiando.

In Figura 7 è riportata l'immagine del sito di lancio 39A da cui partì l'Apollo 11, scattata nel luglio 2019 dal satellite Sentinel 2 (con sensori ottici) per celebrare il cinquantesimo anniversario del primo allunaggio dell'uomo.

Fig. 7 – Immagine che ritrae la base di lancio dell'Apollo 11, scattata nell'ambito del programma Copernicus dal satellite Sentinel-2.

Bibliografia

Emrich W. 2016. Rocket Engine Fundamentals. In *Principles of Nuclear Rocket Propulsion*, 11-20. Amsterdam: Elsevier.

Webgrafia

[1] Olostro Cirella E., Virgilio N. 2000. *Ernesto Capocci, un divulgatore di scienza nella Napoli dei Borbone*. Accessibile online: http://www.brera.unimi.it/sisfa/atti/2000/205-212Olostro.pdf (30 settembre 2019)

[2] Pognant P. 1999. *La conquista della Luna. Le missioni Apollo*. Alenia Spazio. Accessibile online: http://www.grangeobs.net/apollo.pdf (30 settembre 2019)

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING

STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

Luciano De Menna

La Collaborazione Internazionale in Campo Scientifico: il caso della F.T.C.

Abstract
In December 1953 the President of the United States Dwight D. Eisenhower gave a famous speech at the United Nations General Assembly, which has made history with the title "Atoms for Peace", in which he proposed an international effort for research on the peaceful use of nuclear energy. The world of science, still in shock due to the dramatic conclusion of World War II and the news of the explosion of the first American hydrogen bomb (November 1952) and the Soviet one (August 1953), received the proposal with great enthusiasm. The First Geneva Conference on the peaceful use of nuclear energy in 1955 opened a three-year period of great fervor and activity. The President of the Conference, the Indian physicist Homi Bhabha, went so far as to predict that in the next twenty years scientists would be able to "... release energy from thermonuclear fusion in a controlled way". Never was a forecast riskier, and it turned out to be very premature: even today, almost seventy years later, it is difficult to make a more reliable estimate. Of course, the optimism of those days led to underestimating the complexity of the problem, and the difficulty of the final goal. Nevertheless this is not enough to explain all that has happened and there are aspects of a non-scientific-technical nature, which have contributed to increase the difficulties and produce the delay. All the choices made, viewed closely, seemed reasonable and, I would say almost, inevitable. However viewed with a distant gaze, they clearly show the influence of different types of pressure: political, sociological, economic and organizational.

La fine della guerra

Il 2 settembre del 1945, con la firma, a bordo della corazzata USS Missouri, della resa incondizionata del Giappone, finiva ufficialmente la Seconda Guerra Mondiale. Ma in effetti essa era già finita prima, forse nello stesso momento in cui, il 6 agosto, il bombardiere B-29 Enola Gay aveva sganciato una bomba atomica (uranio) sulla città giapponese di Hiroshima: 80.000 vittime in un solo istante. Oppure quando il B-29 BOCKSCAR aveva sganciato una bomba al plutonio sulla città di Nagasaki: le vittime immediate furono 35.000, senza contare quelli che morirono nei giorni, nei mesi e negli anni a venire a causa delle radiazioni. O forse era finita, ancora prima,

sul fronte occidentale, il 7 maggio a Reims, quando alla presenza del generale Eisenhower, il generale Alfred Jodi accolse la resa incondizionata della Germania.

In ogni caso il bilancio fu tremendo: 54 milioni di morti, di cui 30 milioni di civili e circa 6 milioni di ebrei. Fu la prima guerra che si ricordi in cui il numero delle vittime civili superò quello delle vittime militari, perché fu la prima grande guerra in cui venne fatto largo uso di armi di distruzione di massa: aerei per sganciare bombe, missili per distruggere città intere, U-boat per affondare navi, anche civili, per non parlare poi del colpo finale, le due bombe nucleari. Tutti strumenti terribili messi a disposizione dell'umanità dai recenti progressi scientifici e tecnologici: una malintesa 'disposizione', naturalmente.

Mi viene naturale ricordare qualcosa che ho letto, credo, nel Codice Atlantico di Leonardo: il maestro è in cerca di un luogo sicuro dove rifugiarsi, dopo essere stato cacciato da Firenze e da Milano, e pensa che Venezia possa esserlo. Allora, magari in una notte insonne, cerca di immaginare come ingraziarsi la Serenissima con le sue scoperte e in una sola pagina descrive e disegna un sommergibile, una maschera per andare sottacqua e un fuoco che bruci anche nell'acqua. Poi c'è questo commento:

> *Come e perché io non scrivo il mio modo di star sotto l'acqua, quanto io posso star senza mangiare; e questo non pubblico o divulgo per le male nature delli omini, li quali userebbero li assasinamenti ne' fondi de' mari col rompere i navili in fondo, e sommergerli colli uomini che vi son dentro.*

Ma forse sbagliava Leonardo: non si può fermare il progresso, almeno non così!

"Big Science"

In ogni caso, per questi motivi, la Seconda Guerra Mondiale è passata alla storia come prima guerra 'scientifica', per così dire. Ma anche la scienza ne ha subito l'influsso: molti storici della scienza, infatti, fanno risalire a quei tempi la nascita della "*Big Science"*[1], della scienza cioè che richiede per il suo sviluppo ingenti finanziamenti in risorse materiali e umane e che ha obiettivi molto precisi, ai quali sono fortemente interessate intere nazioni o gruppi di nazioni.

Per la precisione, l'atto di nascita sarebbe stato quel Progetto Manhattan, che nacque nel '39 sotto la presidenza Roosevelt, ma che solo nel '42 cambiò passo, sotto la direzione scientifica di Robert Oppenheimer e, soprattutto, sotto quella gestionale e amministrativa del generale Leslie Groves.

Naturalmente, nel caso specifico del progetto Manhattan, l'interesse era fondamentalmente militare, ma non solo: per esempio l'esperimento condotto presso l'Università di Chicago da Enrico Fermi, che dimostrò la capacità della grafite di rallentare i neutroni dovuti alla reazione di fissione, fu in fondo il primo passo verso il reattore nucleare a fissione per la produzione di energia. L'esperimento non era diret-

tamente coinvolto nella costruzione di un'arma, ma dava informazioni essenziali per quelli del progetto Manhattan. Questa strana conversazione tra Arthur H. Compton del *Metallurgical Laboratory di Chigago* e James Conant presidente del *National Defense Research Committee*, dette l'annuncio del successo in questo modo:

> *Compton: "Jim, you'll be interested to know that the Italian navigator has just landed in the new world". Conant: "Were the natives friendly?" Compton: "Everyone landed safe and happy"*[2].

Quello che a noi può sembrare quasi buffo oggi – la scelta di questo improvvisato linguaggio cifrato da spie internazionali, fatta da due eminenti scienziati - credo possa far cogliere il clima che si stava vivendo in quegli anni.

La guerra è finita

Ma facciamo un passo avanti: la guerra è finita e quasi tutti i principali attori di quel drammatico periodo sono ormai fuori gioco, alcuni perché morti e altri per scadenza naturale del loro mandato. I sovietici, con un enorme sforzo e a marce forzate, sono riusciti a pareggiare parzialmente i conti e il 29 agosto del 1949 hanno fatto esplodere, in un poligono del Kazakistan, la loro bomba atomica al plutonio; per la bomba all'uranio bisognerà aspettare il 1951. Ma sono comunque tutti spaventati e anche coloro che hanno avuto la terribile responsabilità delle scelte, capiscono che bisogna trovare una via d'uscita; non si può rischiare la catastrofe nucleare.

Un poeta latino, Marziale, guardando le rovine prodotte dall'eruzione del Vesuvio del 79 a.C., ha scritto[3]: "*Or tutto giace sommerso in fiamme ed in tristo lapillo: ora non vorrebbero gli dei che fosse stato concesso loro d'esercitare qui tanto potere*". Forse era questo lo stato d'animo di alcuni uomini politici e scienziati.

Ma dopo diversi tentativi senza successo di mettere in essere una Commissione, o comunque, un organismo delle diverse potenze nucleari, Stati Uniti, Unione Sovietica, Canada e Gran Bretagna, che fosse in grado di garantire "…*un controllo di tipo manageriale di tutte le attività riguardanti l'energia atomica, potenzialmente pericolose per la sicurezza mondiale*" (Piano Baruch), la Guerra Fredda tra Stati Uniti e Unione Sovietica si avviò a dominare tutta la scena politica dei rapporti internazionali, rendendo difficile qualsiasi tentativo di collaborazione.

Come altre volte è accaduto nella storia, fu proprio quella che oggi chiameremmo una "fake news", che avrebbe deliziato Umberto Eco, che sulla "*forza del falso nella storia"*[4] si era molto interrogato, a smuovere le acque e a convincere che bisognasse fare ulteriori sforzi per impedire la proliferazione incontrollata delle armi atomiche: nel marzo del 1951 il Presidente dell'Argentina Juan Perón rilasciò una dichiarazione nella quale si affermava che, nell'ambito del progetto Huemul, il fisico austriaco Ronald Richter, riparato in Argentina alla fine della guerra, come molti altri scienzia-

ti che in qualche modo avevano collaborato con il regime, era riuscito "*a produrre energia atomica in modo controllato, alle temperature estremamente alte di milioni di gradi, senza usare combustibile di uranio*"[5].

Non era vero, naturalmente, ma fu quel "*senza usare combustibile di uranio*" che sollecitò l'attenzione di quelli che sapevano leggere tra le righe: poteva significare solo una cosa, fusione e non fissione, e, a quanto sembrava, "fusione controllata".

A questo punto penso sia necessaria una brevissima parentesi per spiegare quale sia la sostanziale differenza tra queste due reazioni, che purtroppo hanno anche due denominazioni molto simili che inducono spesso il profano a confonderle.

Fissione e Fusione

Nella fissione un atomo pesante, quindi già di per sé alquanto instabile per il grande numero di protoni e neutroni presenti nel suo nucleo, si frantuma, spontaneamente o perché colpito da un proiettile, per esempio da un neutrone, che viene dall'esterno. Se sommiamo le masse dei prodotti di questa "fissione" otteniamo una massa leggermente più bassa di quella dell'atomo originario: è il così detto "difetto di massa". Ma nella teoria della relatività di Albert Einstein è previsto che una quantità di massa può scomparire solo se compare in sua vece una corrispondente quantità di energia e la corrispondenza è data dalla più famosa formula della fisica moderna, $E=mc^2$, cioè energia uguale alla massa per il quadrato della velocità della luce nel vuoto. In altri termini, massa ed energia possono essere visti come due aspetti della stessa 'cosa'.

D'altra parte, dato che 'c' è, in qualsiasi contesto ci si voglia mettere, una velocità molto grande (300.000 km al secondo), è evidente che basta un piccolissimo "difetto di massa" per ottenere una grande quantità di energia.

Ma da dove viene fuori questo 'difetto di massa' e dove ritroviamo l'energia equivalente? Per rispondere alla prima domanda trovo utile usare il paragone del grappolo d'uva: infatti anche se pesiamo un grappolo d'uva e poi confrontiamo questo peso con quello dei chicchi staccati dal raspo e messi tutti insieme sul piatto della bilancia, ritroviamo un difetto di massa, che è naturalmente pari proprio al peso del raspo, e cioè di ciò che teneva insieme il grappolo. Accade lo stesso nella fissione: per tenere insieme il pesante atomo di uranio, per esempio, ci voleva una certa energia che ora, una volta frantumato l'atomo, si è resa libera e non ci appare più come massa.

La risposta alla seconda domanda è altrettanto semplice. Le parti in cui l'atomo pesante si divide non "nascono" ferme: è pur sempre una esplosione. Esse vengono proiettate nello spazio con velocità diverse e, in particolare, le più piccole, in generale neutroni, possono avere una grande velocità e quindi una grande energia, che cedono all'ambiente circostante riscaldandolo e, eventualmente, innescando altre fissioni in altri atomi.

L'uranio che si trova in natura non fa spontaneamente tutto questo, perché e sostanzialmente composto dall'isotopo 238, relativamente stabile, e non dal 235, che è

invece più disponibile a fissionarsi. Quindi il primo passo è arricchire la miscela di uranio aumentando la presenza in percentuale dell'isotopo 235.

E qui, naturalmente sorge un problema: se la concentrazione è tale che i neutroni prodotti da ogni reazione, nel tempo che impiegano ad attraversare tutta la massa di combustibile (uranio), sono in grado di indurre la fissione di più di un altro atomo di uranio (reazione a catena), allora la reazione può autosostenersi o addirittura diventare esplosiva. A questo punto le due strade si separano, intendo quella per la produzione di uranio per alimentare le centrali nucleari e quella per produrre bombe. Mentre per la seconda abbiamo bisogno di un uranio molto arricchito, tanto che, per farlo esplodere, possa bastare una ulteriore concentrazione aggiuntiva (vogliamo infatti che l'esplosione avvenga a comando e non spontaneamente) – prodotta magari con una compressione meccanica dovuta a un esplosivo tradizionale, per la prima ci basta che la concentrazione sia tale da poter governare la reazione a catena inserendo dei materiali in grado di assorbire neutroni, che si chiamano "moderatori". In questo modo possiamo accendere e spegnere, per così dire, la reazione a nostro piacimento.

Naturalmente questa descrizione è sommaria e molto semplificata; ci sono una infinità di altri aspetti da prendere in considerazione, ma in ogni caso penso sia sufficiente a spiegare questo punto: in un reattore nucleare a fissione, gli unici attualmente esistenti, la massa di combustibile (uranio) presente nel reattore ha una concentrazione tale da poter produrre una reazione a catena che però noi controlliamo, introducendo della barre di "moderatori".

Sorprendentemente anche nella fusione di atomi molto leggeri in atomi più pesanti si trova un difetto di massa. Per esempio, dalla fusione di un atomo di deuterio (isotopo di peso atomico 2 dell'idrogeno) e un atomo di trizio (isotopo di peso atomico 3 ancora dell'idrogeno) si ottengono un atomo di elio 4 ed un neutrone. Anche in questo caso facendo il bilancio si ritrova un difetto di massa. Stavolta la metafora del grappolo d'uva non ci aiuta molto a comprendere quello che succede. Resta il fatto che, evidentemente, l'energia che occorre per tenere insieme i due protoni e i due neutroni nel nucleo dell'atomo di elio 4 è minore di quella necessaria per tenere insieme i due nucleoni (un protone e un neutrone) nell'atomo di deuterio e i tre nucleoni (un protone e due neutroni) nell'atomo di trizio. Naturalmente l'energia corrispondente al difetto di massa si ritrova nel neutrone, sotto forma di energia cinetica dello stesso: ben 14.1 MeV.

Il fatto è che per indurre un atomo di deuterio a fondersi con uno di trizio, occorre che essi giungano a interagire a distanza molto ravvicinata, vincendo le forze di natura elettrica che naturalmente si opporrebbero ad una tale promiscuità. La soluzione è quella di dotare queste particelle di una tale velocità da trasformarle in veri e propri proiettili che superano le barriere repulsive e, eventualmente, si "fondono". Ciò significa che bisogna portare il gas di deuterio e trizio ad altissime temperature, la temperatura essendo nient'altro che la misura della velocità media quadratica delle

particelle. A queste temperature il miscuglio di deuterio-trizio non è più un gas nel senso tradizionale del termine, perché tutte le sue particelle hanno perso almeno gli elettroni periferici, e quindi sono cariche elettricamente. Un tale gas viene denominato "plasma", il quarto stato della materia, dopo solido, liquido e gassoso, ed è, per intenderci, la materia di cui sono fatte le stelle, che proprio dalle reazioni di fusione che avvengono al loro interno ricavano l'energia irradiata nello spazio.

Non è difficile immaginare che un gas di tale tipo non possa essere contenuto da pareti materiali: le stelle fanno uso della loro grande massa e confinano il plasma mediante la forza di gravità. Noi sulla Terra possiamo contare solo sulle forze elettromagnetiche. Come pure non è difficile immaginare che il plasma non abbia molta voglia di farsi confinare: è altamente instabile.

Questo è il grande tema della fusione termonucleare controllata: come contenere con pareti immateriali (forze), in uno spazio limitato, un plasma a temperature elevatissime, per il tempo necessario affinché un ragionevole numero di reazioni di fusione possano avvenire e produrre quei neutroni veloci che portano con sé la loro energia.

Da qui in poi, dalla produzione dei neutroni, fissione e fusione procedono allo stesso modo: artificiale ulteriore concentrazione per la bomba – per le prime bombe all'idrogeno fu usata una bomba atomica per innescarle - e controllo, riscaldamento del fluido, turbina e generatore elettrico, per il reattore a fusione, come per quello a fissione. La differenza con la fissione sta nel fatto che nella fusione il combustibile è fuori dalla camera di combustione, cosa che è intrinsecamente impossibile nella fissione, e viene aggiunto a piacimento usando un "rubinetto", proprio come in un motore a scoppio.

La forza del falso nella storia

La dichiarazione del Presidente Juan Perón, come si è detto, mosse le acque, e tutte le ricerche connesse alla fusione nucleare ripresero vigore. In quegli anni, in occidente, gli esperimenti più avanzati erano tutti di tipo *pinch*, una speciale configurazione di campi magnetici che produceva una "strizione" della colonna di plasma, favorendone la compressione e quindi una sorta di confinamento. Gli inglesi, che avevano già una certa esperienza in questo campo, nel 1953 iniziarono la costruzione della loro Macchina Z, un *pinch* toroidale che usava un debole campo magnetico lungo l'asse del toro per stabilizzare il plasma.

Negli Stati Uniti il presidente Truman, agli ultimi anni del suo mandato, sollecitò Lyman Spitzer a proseguire nelle sue ricerche sullo Stellaretor, finanziando il Progetto Matterhorn, nucleo iniziale dal quale nacque nel 1961 l'attuale *Princeton Plasma Physics Laboratory*. Lo Stellaretor è un *pinch* toroidale nel quale una speciale struttura delle bobine produce delle linee di campo magnetico elicoidali lungo tutto l'anello di plasma.

Ma, naturalmente, anche la ricerca militare ne ebbe un ulteriore impulso: è del novembre 1952 la prima bomba all'idrogeno (fusione, quindi) fatta esplodere sull'a-

tollo di Enewetak, e solo un anno dopo, il 12 agosto 1953, i sovietici fecero esplodere la loro bomba H, dimostrando di aver completamente colmato il ritardo (!) rispetto all'avversario occidentale.

In Unione Sovietica, però, la ricerca per la fusione termonucleare controllata aveva seguito altre strade. V.D. Shafranov[6], uno dei grandi nomi della ricerca sovietica in questo campo, racconta che tutto è cominciato con una lettera inviata nel 1948 al Comitato Centrale del Partito Comunista dell'Unione Sovietica da un oscuro sergente di 22 anni, Oleg Alexandrovich Lavrentiev, in servizio presso le truppe di stanza a Sakhalin. In essa il giovane elencava alcune sorprendenti idee sulla fisica nucleare: in primo luogo proponeva di realizzare una bomba H usando una bomba atomica per innescarla, cosa che puntualmente poi si è fatta, sia negli Stati Uniti (1952) che in Unione Sovietica (1953), e poi avanzava alcune originali osservazioni sul confinamento elettrostatico (mirrors) di un plasma. A.D. Sakarov, che ebbe tra le mani la lettera, ne fu colpito, tanto che fece in modo di ottenere che il giovane sergente avesse un trattamento di favore e gli fosse consentito di avere il tempo di elaborare completamente le sue sorprendenti idee. Così commentò ai suoi colleghi, di quello che oggi si chiama Kur*chatov Institute*, la sua sorprendente scoperta con queste parole: "*Credo che sia necessario discutere in dettaglio il progetto del compagno. Indipendentemente dai risultati di una tale discussione, bisogna riconoscere la creatività dell'autore*".

Il 29 luglio del 1950 Lavrentiev inviò a Mosca, tramite posta militare segreta, un plico contenente i risultati dei suoi studi[7]. E fu ancora Sakarov il suo interlocutore che, molto più tardi, nelle sue memorie racconta:

> *"Rimasi enormemente colpito dalla originalità ed audacia di quelle idee, prodotte in modo indipendente e molto prima che cominciassero a essere pubblicati articoli su quei temi (...) Le mie prime vaghe idee sul confinamento termomagnetico cominciarono a formarsi leggendo quelle carte e scrivendo una relazione su di esse (...) Il lavoro di Lavrentiev fu un impulso formidabile ad approfondire gli studi sul confinamento termomagnetico del plasma ad alte temperature che stavamo realizzando io e Tamm"*

Stiamo parlando del Tokamak, il sistema di confinamento del plasma per la produzione di energia da fusione più largamente usato attualmente, sul quale si concentrano oggi tutti gli sforzi e le speranze di successo. Voglio solo ricordare che Lavrentiev, di origine contadina e figlio di un impiegato e di una infermiera, all'epoca aveva solo fatto gli studi fino al 7° grado, pressappoco le nostre medie, e poi era andato in guerra. Naturalmente, poco dopo questi eventi, Lavrentiev fu congedato dall'esercito e richiamato a Mosca, per interessamento speciale di Lavrentiy Beria, prima alla Università di Mosca (giusto il tempo di dargli una laurea in Fisica, immagino!), e poi al futuro Kurchatov Institute.

Il ruolo di Lavrentiev nella ricerca sulla fusione termonucleare è stato a lungo misconosciuto, fino al 2001, anno in cui il giornale Uspekhi Fizicheskikh Nauk (Advances in physics science) pubblicò i documenti che lo riguardavano, contenuti negli archivi del Presidente della Federazione Russa e fino ad allora segretati[8]. Ma ancora oggi non si capisce completamente perché Oleg Lavrentiev abbia avuto un trattamento così discriminatorio[9].

Atoms for peace

Nel dicembre del 1953 il presidente degli Stati Uniti Dwight D. Eisenhower tenne, all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, un celebre discorso, passato alla storia con il titolo "Atoms for Peace", nel quale proponeva uno sforzo internazionale per la ricerca sull'uso pacifico dell'energia nucleare. Certo la recente esplosione della bomba H sovietica pochi mesi prima avrà probabilmente influenzato i toni del discorso di Eisenhower, ma ci sono punti che fanno intravvedere una sincera preoccupazione. Dice il presidente: "*Non è sufficiente togliere l'arma atomica dalle mani dei militari, va messa nelle mani di coloro che sanno adattarla alle arti della pace*".

E questo, detto da un generale, peraltro il "vincitore"' della terribile guerra appena terminata, dà da pensare.

Il mondo della scienza, ancora sotto shock per la drammatica conclusione della guerra, accolse con entusiasmo la proposta, e fu rapidamente organizzata una grande conferenza internazionale sull'uso pacifico dell'Energia Nucleare, che si tenne a Ginevra nel 1955 e che viene ricordata come la Prima Conferenza di Ginevra, ma anche con il titolo "Atom for peace", su espressa indicazione di Eisenhower.

Il Presidente della Conferenza, il fisico indiano Homi Bhabha, nel suo discorso ufficiale si spinse fino a predire che nei successivi venti anni gli scienziati sarebbero riusciti a "… *liberare energia della fusione termonucleare in un modo controllato*". Mai previsione fu più azzardata, e risultò più prematura: ancora oggi, a quasi settant'anni da quei giorni, è difficile fare una previsione più attendibile.

In effetti almeno inizialmente la collaborazione fu solo di facciata, specialmente tra i due blocchi e specialmente da parte dell'Unione Sovietica: si pensi che del lavoro portato avanti dai sovietici fin dal 1951 sulla configurazione Tokamak e dei risultati sperimentali ottenuti poi a partire dal 1955, si ebbe notizia in Occidente solo nel 1958, anno della Seconda Conferenza di Ginevra.

Gli anni 60 videro il trionfo della configurazione Tokamak, dal russo TOroidalnaya KAmera MAgnitnaya Katushka, cioè macchina a camera toroidale e avvolgimento magnetico, ideata da Sakarov e Tamm e ispirata dalle osservazioni, come abbiamo visto, di Oleg Lavrentiev. In effetti, però, solo nel 1968, a valle della conferenza di Novosibrsk, l'Occidente prese sul serio i risultati che i sovietici avevano già comunicato in altro modo. In quella occasione infatti, quando gli inglesi, - che avevano una certa suscettibilità sul tema a causa di un loro precedente "incidente"[10] - continua-

rono a dimostrare scetticismo nei riguardi dei dati sulla temperatura elettronica del Tokamak T-3, L.A. Artsimovich, che capeggiava la delegazione, li invitò ad andare al *Kurchatov Institute* a misurare con i loro strumenti la temperatura degli elettroni con la tecnica di scatterig Thomson, recentemente messa a punto nei laboratori inglesi. La cosa fece naturalmente molto scalpore: era la prima volta che degli scienziati occidentali venivano invitati in un laboratorio sovietico, e non per una visita di cortesia ma per lavorarci. Fu questo il momento in cui l'auspicata "glasnost" della Prima Conferenza di Ginevra, cominciò concretamente ad affermarsi.

Da allora, dopo il T-1 (1958) e il T-3 (1968) del *Kurchatov Institute*, molti Tokamak sono stati costruiti nel mondo, e ognuno di loro ha dato il suo contributo alla ricerca nel settore. Ne cito solo alcuni: Alcator (MIT, Boston, 1974), PLT (Princeton, 1978), TFTR (Princeton, 1982), JET (Culham, Inghilterra, ma progetto Europeo, 1983), JT-60 (Giappone, 1988), FTU (ENEA, Frascati, 1989), Alcator C Mod (MIT, Boston, 1991), T-15 (*Kurchatov Institute*, 1988 e 2019 nel *upgrade* alla versione T-15MD). E poi ci sarà ITER, nel 2025, a Caradashe, in Francia, ma è, come già detto, un progetto internazionale.

Gli anni '70: grande è bello

Gli anni settanta segnarono una svolta nelle modalità di sviluppo della ricerca in questo campo. Nei due decenni precedenti, quando si prospettava l'idea che fosse necessario pensare alla realizzazione di un'altra macchina si ragionava in questo modo: prima si fissavano gli obiettivi, tipicamente dei parametri che indicano la qualità del confinamento, come, per esempio, il cosiddetto tempo di confinamento dell'energia, definito come rapporto tra l'energia cinetica (cioè termica) contenuta nel plasma e la potenza globalmente persa dal plasma stesso attraverso vari meccanismi; poi si analizzava la dipendenza di tali parametri dalle caratteristiche geometriche ed elettromagnetiche degli esperimenti stessi e si cercava di dedurre un andamento da poter plausibilmente estrapolare al futuro esperimento. In questi casi si parla di "scaling" dei risultati dei precedenti esperimenti.

Orbene, tutti gli esperimenti fino ad allora realizzati dicevano che l'intuizione iniziale di Sakarov e Tamm era esatta e che l'intensità del campo magnetico toroidale era di fondamentale aiuto per la stabilità dell'anello di plasma. Ma un intenso campo magnetico toroidale (campo d'induzione magnetica B, a voler essere pignoli), per ragioni che sarebbe lungo spiegare qui, ma che essenzialmente attengono alla tenuta meccanica delle spire che creano il campo, indirizzerebbe la scelta verso dimensioni più ridotte dell'esperimento.

Negli anni settanta, però, cominciò a circolare un diverso modo di ragionare: visto che il nostro obiettivo finale è costruire un reattore che produca energia, cerchiamo di ideare esperimenti che siano in quella linea e che ci consentano, tra l'altro, di fare una diagnostica più accurata. Se si pensa soltanto a tutto il sistema di raffred-

damento, o meglio di prelievo dell'energia termica prodotta, e di schermatura che un reattore certamente richiederà, si capisce subito che questo "scaling all'inverso" porta a grandi dimensioni della macchina.

Questo contrasto tra parametri estensivi (dimensioni) e parametri intensivi (campo B) si manifestò chiaramente in fase di progettazione del JET (*Joint European Torus)*. Arrigo Sestero lo racconta in un articolo dall'allusivo titolo "Storia (scientifica e non solo) della configurazione Tokamak".

In breve successe che, in vista del futuro esperimento, che doveva anche sottolineare l'ingresso dell'Europa, come tale, nella comunità della Fusione, si decise di nominare una commissione che individuasse i parametri di macchina che potevano consentire l'impiego più proficuo delle risorse a disposizione. La commissione lavorò a lungo e seriamente e stilò un documento conclusivo nel quale si indicava, tra l'altro, un campo toroidale B di 5 tesla. Quando si passò poi al gruppo di progetto, quest'ultimo, per i motivi indicati in precedenza, ridusse il campo toroidale a 2,8 tesla e aumentò conseguentemente le dimensioni dell'esperimento. Dopo un acceso dibattito il gruppo di progetto ebbe il sopravvento e la macchina fu progettata e costruita a 2,8 tesla. In fase di avanzata costruzione però ci fu un ripensamento: il campo toroidale era troppo basso. Ma a quel punto il massimo che si poté ottenere, con modifiche compatibili con il già costruito, fu di raggiungere 3,5 tesla. Sestero commenta con queste parole[11]:

> *"Il JET a 3.5 tesla ha prodotto nella sua lunga vita un'interessante messe di risultati. Alla luce delle vicende sopra ricordate, tuttavia, non possiamo evitare che un insidioso dubbio si insinui nella nostra mente. Dubbio che è traducibile nella seguente domanda: quanti altri più avanzati meriti avrebbe forse potuto conquistarsi sul campo una macchina di pari impegno scientifico ed economico, ma progettata sin dall'inizio secondo le indicazioni originali della commissione di studio? Naturalmente, non lo sapremo mai. Ma non possiamo fugare un vago senso di malinconia al pensiero che, forse, è stata mancata un'importante occasione..."*

Come ben si capisce, il mondo scientifico si divise in due parti: i sostenitori dei parametri intensivi (in verità una parte decisamente minoritaria, ma capitanata da un formidabile "combattente", il prof. Bruno Coppi[12] del MIT, un astrofisico all'origine dei successi delle macchine ALCATOR) e quelli dei parametri estensivi che hanno decisamente vinto e dettato le linee per gli esperimenti futuri che sono attualmente in costruzione (ITER).

Con questa vittoria la ricerca per la fusione termonucleare controllata è entrata definitivamente nella "Big Science" e in un contesto di totale collaborazione internazionale.

La collaborazione internazionale e la "Big Science"

Sono passati sessantacinque anni dalla previsione del Presidente della Prima Conferenza di Ginevra, Homi Bhabha, e ancora non si vede la luce. Certo, l'ottimismo di quei giorni portò a sottovalutare la complessità del problema, e la difficoltà dell'obiettivo, ma basta questo a spiegare un così grande ritardo? Io non credo e penso che bisogna tener conto anche di altri fattori

La costruzione del JET, dalla data della decisione a quella del primo plasma, ha richiesto 10 anni (1973 -1983), il TFTR ne ha richiesti 8, ma non era una collaborazione, era un progetto solo americano. ITER è stato deciso nel 2005, anche se le scelte di progetto erano state prese prima, nel 1988, e si prevede di completarlo nel 2025: venti anni. In effetti sono imprese di ingegneria colossali, ma alla complessità del progetto si aggiungono altri fattori.

In primo luogo una certa instabilità della committenza, che è costituita evidentemente da stati ed enti governativi, che generalmente non sono mossi soltanto dalla volontà di sviluppare un progetto utile all'umanità. Questo può comportare ritardi, per esempio dei finanziamenti, o addirittura abbandoni. Come appunto nel caso di ITER, che è partito come progetto mondiale, in quanto vi partecipavano stati di tutti i continenti, e che nel 1999 ha perso gli Stati Uniti, poi rientrati nel 2003. Le due date acquistano il loro pieno significato se si mettono in relazione a due eventi accaduti a cavallo del nuovo millennio: disfacimento dell'Unione Sovietica e nascita e consolidamento della Federazione Russa, naturale sua erede.

Un altro aspetto caratteristico delle grandi imprese internazionali è che a volte crescono magari anche più del dovuto e in questo c'è anche una responsabilità di noi ricercatori, che vediamo sempre di buon occhio maggiori possibilità di lavoro. Abbiamo visto prima il caso del JET, ma si potrebbero fare altri esempi. Una conseguenza immediata di questa crescita è che la "Big Science" toglie risorse ed ossigeno a quella che, in contrasto, potremmo chiamare "Little Science", che pure è vitale per lo sviluppo della conoscenza.

C'è poi da considerare che le grandi collaborazioni internazionali generalmente tagliano fuori i privati, con le loro competenze e le loro risorse. Già la fusione nucleare ha sempre avuto dei grandi nemici, per evidente contrasto d'interesse, nelle "Sette Sorelle", non so se sono ancora sette, ma noi chiamavamo così le grandi compagnie petrolifere. Per questo motivo l'anno scorso ho accolto con interesse la notizia che la Società di spinoff del MIT, Commonwealth Fusion Systems (CFS), aveva stretto un accordo con ENI per produrre in 15 anni (!) una centrale elettrica a fusione termonucleare controllata. Poi non se ne è saputo più niente. Ma non si può mai dire, visto che sembra ci siano dietro Bill Gates, Jeff Bezos, Jack Ma, Mukesh Ambani e Richard Branson.

Mentre invece so per certo che sta andando avanti l'accordo ENEA- ENI per la costruzione del Divertor Tokamak Test (DTT), che non pretende di essere un altro

esperimento di fusione, ma solo una macchina per testare alcuni componenti fondamentali del futuro reattore.

Che questa sia la giusta strategia lo si capisce guardando la distanza temporale tra ideazione e realizzazione di questi grandi esperimenti: bisogna progettare, con le conoscenze del momento, una macchina che andrà in funzione dopo venti anni! Un maggior aiuto collaterale non fa male.

È opinione comune che il ruolo del generale Leslie Groves sia stato fondamentale per il successo del Progetto Manhattan. Questo è un tratto caratteristico della "Big Science", specialmente in ambito internazionale. Nasce così una nuova figura di scienziato-manager che ha un ruolo determinante nel successo del progetto. Se però accade che le abilità di tale figura di raccordo si limitano magari a quelle linguistiche, nel senso che parla correntemente tre o più lingue, o politico-diplomatiche, allora il colloquio con la componente scientifico-tecnica rischia di interrompersi, con grave danno dell'intero progetto.

Un altro aspetto che complica le cose, in collaborazioni internazionali di tale portata, è la compensazione *spese/vantaggi*, nel senso che si cerca, giustamente, di fare in modo che ogni partecipante abbia dei ritorni proporzionati al contributo dato. Se questo poi diventa "*Tu hai la presidenza ed io mi prendo la macchina"*, questo certamente non va bene. Ma anche se si limita solo a condizionare la scelta della ditta che realizza certe commesse, che magari non è la più adatta, anche questo va evitato.

Ma, in ogni caso, la collaborazione internazionale è indispensabile in queste grandi imprese e non solo per l'entità delle risorse materiali e umane necessarie o per l'incertezza intrinseca del risultato, o ancora per l'interesse che tutta l'umanità ripone nei risultati stessi. È necessaria perché, se anche dovesse fallire nel suo scopo specifico (ma non è mai successo), ugualmente non sarebbe un fallimento: avrebbe comunque formato ricercatori provenienti da un gran numero di paesi, addestrandoli a collaborare per il raggiungimento di un obiettivo comune.

E di un tale spirito di collaborazione mai come oggi si sente un gran bisogno!

Bibliografia

Bondarenko B.D. 2001. The role of O A Lavrent'ev in the formulation of the problem and initiate research on controlled thermonuclear fusion in the USSR. Physics-Uspekhi, 171(8), 886.

de Solla Price D.J. 1963. *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press.

Shafranov V.D., Bondarenko B.D., Goncharov G.A., Lavrent'ev O.A., Sakharov A.D. 2001. On the history of the research into controlled thermonuclear fusion. Physics- Uspekhi, 44, 835-843.

Note

1. de Solla Price, Derek J. 1963. *Little Science, Big Science*. New York: Columbia University Press.

2. Chicago Pile 1 (November 18, 1942), The Atomic Heritage Foundation.
3. Marziale Lib. IV. Ep. 44
4. Umberto Eco, "La forza del falso nella Storia", Università La Sapienza di Roma, Innaugurazione Anno Accademico 2000-2001
5. Shafranov, On the history of the research into controlled thermonuclear fusion, Physics-Uspekhi 44 (8) 835-865 (2001)
6. Shafranov, On the history of the research into controlled thermonuclear fusion, Physics-Uspekhi 44 (8) 835-865 (2001)
7. Proposta OA Lavrent'ev, mandata al Comitato Centrale del Partito Comunista il 29 luglio del 1950 (http://ufn.ru/ru/articles/2001/8/t/)
8. Bondarenko B.D. 2001. "The role of OA Lavrent'ev in the formulation of the problem and initiate research on controlled thermonuclear fusion in the USSR", UFN 171, 886.
9. Valentine Gatash, Kharkov, "Top Secret Physicist Lavrentiev", Proceedings of the science, 29/08/2003.
10. Arrigo Sestero, Il Nuovo Saggiatore, vol. 21 2005 n. 1-2
11. Arrigo Sestero, ivi.
12. Coppi B., De Menna L. et al. 1979. *Theory of Magnetically Confined Plasmas*, Oxford: Pergamon Press, p.247.

Emanuela Guidoboni

Pozzuoli: terremoti e fenomeni vulcanici nel lungo periodo. Limiti della definizione attuale di pericolosità

Abstract
The Phlegrean area is the most active and dangerous volcanic complex in Europe. Seismic damage there tends to be caused both by earthquakes connected with local volcanic activity, and by non-local events, generally in the Apennines. It is thus far from easy to define the overall hazard level of the area. One may underestimate, given the greater evidence of volcanic than seismic activity; while there is also an intrinsic difficulty about predicting eruptive activity which may, in turn, generate major tremors. The two activities, seismic and volcanic, are treated separately for preference, and the two research communities, seismologists and volcanologists, draw their one independent conclusions. This disciplinary issue arises in the case of Pozzuoli. The aim of this contribute is to show how the historical approach using written sources informs us of important specific scenarios of the past, charting their impact on inhabited areas that differed radically from today's situation on which such impact assessments somehow need to be "superimposed". The historical sources describe events that really happened as tsunamis, ground elevation, volcanic chasms opening, earthquakes prior to and after the 1538 eruption, effects by Apennines epicentres. These events can be precisely located in today's territory: from this we can create mixed, seismic and volcanic chronological sequences showing the complex hazard potential of the Phlegrean area for the future, quite apart from geophysical models and simulations.

Introduzione
Questa nota nasce da alcune considerazioni sulla pericolosità sismica e vulcanica di Pozzuoli, ubicata sul bordo nord-orientale dei Campi Flegrei, che è il sistema vulcanico a più alto rischio d'Europa e allo stesso tempo è un'area tra le più densamente abitate del Paese. La letteratura sui Campi Flegrei è quasi sterminata e continua a presentare contributi scientifici di indubbio interesse e valore specialistico. Tuttavia tali contributi, che sviluppano temi specifici, sono spesso lontani da una visione complessiva della realtà territoriale e dalla conoscenza degli impatti già subiti che emergono dalla storia. Si preferisce lasciare che siano le due comunità di ricercatori, sismologi e vulcanologi, a trarre separatamente le indicazioni di pericolosità di loro specifica competenza. In questo modo i caratteri naturali propri di questo particolare

ambiente geologico non emergono chiaramente e soprattutto non si diffondono nella cultura diffusa.

La definizione di pericolosità sismica che emerge dalla mappa dell'INGV, come per tutte le mappe di pericolosità, è finalizzata a fornire agli ingegneri i parametri da applicare alle nuove costruzioni, in relazione alla probabilità di accadimento di determinati valori di scuotimento attesi entro specifiche finestre temporali. Tali parametri, importanti per la sicurezza di nuovi edifici e opere, non esauriscono il problema di una valutazione più complessiva della *pericolosità*, che si avvicini al senso comune di azzardo[1] e di rischio. Inoltre, come indicano alcuni esperti, nelle aree vulcaniche la mappa di pericolosità sismica attuale tende a sottostimare gli effetti di sorgente in termini di accelerazioni attese. In queste aree i terremoti hanno magnitudo limitata, ma ipocentri molto superficiali; si ricorderà il caso del terremoto di Ischia del 21 agosto 2017, che ebbe magnitudo 4,0 e una profondità focale inferiore a 2 km e che causò due morti per un crollo, oltre a numerosi altri crolli, dissesti e lesioni, sia pure limitate a una piccola area.

Negli ultimi anni, la sismicità dell'area Flegrea è stata vista in costante aumento, forse in parte anche come effetto della maggiore densità delle reti di monitoraggio. Fino al 2009 erano state registrate circa 15 scosse all'anno; le scosse sono aumentate e dal 2016 al 2017 sono state 130; nel 2018 sono state 272 e nel corso del 2019 quasi 600. Sono tutti segnali coerenti con lo stato di "agitazione" (*unrest*) di questa area vulcanica. Oltre a subire deformazioni del suolo, l'area è sede di una intensa e continua attività fumarolica. I risultati di studi effettuati usando diverse metodologie suggeriscono che la camera magmatica è ubicata a profondità relativamente bassa, circa 5 km, e ha notevoli dimensioni. Il comportamento passato e lo stato attuale della Caldera dei Campi Flegrei indicano che essa è un vulcano ben attivo e che potrà fare eruzioni in futuro. Pertanto la Caldera dei Campi Flegrei è, come avvertono con chiarezza molti studi vulcanologici, altamente pericolosa, anche per possibili tsunami generati da esplosioni vulcaniche sottomarine (Isaia et al., 2009; Paris et al., 2019).

Dal 2012 l'area dei Campi Flegrei è considerata a livello giallo, ossia quello di attenzione. Il sollevamento complessivo del suolo è di 0,7 cm/mese; complessivamente dal 2004 l'area si è sollevata di oltre 57 centimetri.

L'effetto più probabile dell'aumento delle scosse registrato in questi anni, sia per numero, sia per intensità, è un aumento della velocità del sollevamento (Troise et al., 2019). Ci dobbiamo quindi aspettare sequenze di scosse più numerose e di intensità crescente dovute all'attività vulcanica locale? Ma potrebbero anche accadere, indipendentemente dal vulcanismo flegreo, altre scosse dovute a terremoti di origine appenninica. Che cosa succederebbe?

Nel 2019-20 l'attenzione si è concentrata sulla situazione della conca di Agnano, che è la sorvegliata speciale. È nota la situazione della Solfatara, chiusa dopo lo sprofondamento che nel settembre 2017 costò la vita a tre turisti. Richiede attenzione

anche la situazione in via Pisciarelli, a ridosso della Solfatara, dove la morfologia ha subito importanti cambiamenti negli ultimi dieci anni.

Tantissimi sono gli aspetti di grande interesse scientifico dell'area, tuttavia questa nota si limita a un solo punto di osservazione, quello di Pozzuoli, per mettere in luce la pericolosità sismica e congiuntamente vulcanica di questo centro abitato.

Il territorio comunale di Pozzuoli forma un'unica conurbazione con Napoli, alla cui area metropolitana appartiene; secondo i dati ISTAT del 2018 oggi ha oltre 81.000 abitanti residenti, in leggera flessione rispetto al 2011. Pozzuoli aveva 11.190 abitanti nel 1861 e ne contava circa 2.000 all'inizio del Cinquecento, il secolo che ha visto l'incremento dell'attività sismica e vulcanica culminata nel 1538 con l'eruzione del Monte Nuovo. Complessivamente Pozzuoli è il comune napoletano che ha segnato nel tempo il maggiore incremento demografico, una dinamica sociale connessa anche alla situazione di pericolosità del sito: infatti, un incremento della popolazione si è registrato dopo i bradisismi degli anni 1979 e 1982-84, con la dislocazione dei residenti e la costruzione di nuove aree abitative nella frazione di Monterusciello, che da sola oggi ha oltre 30.000 abitanti.

Pozzuoli, come è noto, è un luogo di antiche e numerose memorie storiche; tuttavia le fonti scritte che qui interessano sono solo sporadicamente disponibili prima XV secolo, mentre per i secoli successivi si conservano informazioni sugli effetti locali dei fenomeni geodinamici, con un dettaglio abbastanza soddisfacente per poterne trarre alcune conclusioni.

La presente ricognizione sulla sismicità storica e sui fenomeni vulcanici di Pozzuoli utilizza in modo prioritario lo studio di Guidoboni e Ciuccarelli (2011), finalizzato alla comprensione della crisi vulcanica del 1538 e dei suoi precursori, fino ai forti terremoti del 1582. Per gli effetti sismici successivi, accaduti tra la fine del XVI e il XX secolo si fa qui riferimento al *Catalogo dei Forti Terremoti* (CFTI5Med, Guidoboni et al., 2018) e al *Catalogo parametrico dei terremoti in Italia* (CPTI, 2015); per i fenomeni vulcanici dopo il XVI secolo si fa riferimento alla letteratura scientifica.

Per favorire un bilancio critico della serie storica qui presentata, lo stato delle conoscenze è suddiviso in tre periodi, disomogenei dal punto di vista informativo: il periodo antico, il periodo che va dal basso medioevo alla fine del XVI secolo, e quello fra il XVII al XX secolo.

Il quadro generale delineato è sintetizzato in una sequenza cronologica continua, che comprende sia i terremoti, sia i fenomeni vulcanici di Pozzuoli. Pur richiedendo approfondimenti e nuove ricerche, questa panoramica può già dare un'idea dei limiti insiti nell'attuale definizione di *pericolosità*.

Il "maremoto" di Puteoli del II secolo d.C.

Per il periodo antico sono state catalogate e pubblicate oltre 2.490 epigrafi riguardanti P*uteoli* [1], a testimonianza dell'importanza di questa città nella vita economica e

culturale del tempo. Ma solo un'epigrafe ricorda un fenomeno naturale per noi oggi d'interesse: è l'iscrizione CIL X 1640[2], che fa riferimento all'anno 139 d.C., ovvero al tempo dell'imperatore Antonino Pio (86-161 d.C.). Questo il testo:

> *Imp(erator) Caesar divi Hadriani fil(ius) / divi Traiani Parthici nepos / divi Nervae pronepos T(itus) Aelius / Hadrianus Antoninus Aug(ustus) Pius, / pont(ifex) max(imus), trib(unicia) pot(estate) II, co(n)s(ul) II, / desig(natus) III, p(ater) p(atriae), opus pilarum vi / maris conlapsum a divo patre / suo promissum restituit.* (CIL X 1640- 1641 = ILS 336 = EDR094073, Horster 2001).

Come si desume dal testo, Antonino Pio, dando seguito alla promessa fatta a suo padre (adottivo), l'imperatore Adriano (*a divo patre suo promissum*), nel 139 d.C. restaurò o ricostruì (*restituit*) la famosa *opus pilarum* (Salvatori, 2008), ossia i pilastri monumentali che si ergevano nel porto di *Puteoli*, crollati per la "forza del mare" (*vi maris conlapsum*).

Il porto di Pozzuoli è raffigurato nelle famose fiaschette vitree, veri e propri ricordini turistici del III-IV secolo d.C.[2], conservate oggi in vari musei d'Europa, fra cui quelli di Odemira, in Portogallo, Praga e Merida. Dalla ricostruzione ideale di quelle immagini incise emerge il profilo del porto con le sue *pilae,* dopo il restauro/ricostruzione del 139, in Figura 1. Il porto di Pozzuoli era famoso per il molo, lungo oltre 370 metri; aveva un porticato, due archi di trionfo, alte colonne e altri edifici, ed era per la città una specie di passeggiata monumentale, un'attrazione turistica del mondo tardoantico.

Nell'epigrafe sopra citata il crollo delle *pilae* è messo in relazione diretta con la "forza del mare". Di che fenomeno si trattò? Gli autori che si sono occupati di questa epigrafe hanno tradotto *vi maris* con "mareggiata", da ultimo Camodeca (2017): un termine generico e forse riduttivo, considerando gli effetti causati. Fu un maremoto di origine sismica? O una burrasca particolarmente violenta?[3]

Gli edifici del porto sono datati dagli archeologi all'età augustea, quindi il crollo avvenne quando questa costruzione non era fatiscente o in abbandono. Di tale crollo, allo stato attuale delle conoscenze, possiamo affermare che accadde probabilmente negli ultimi mesi di vita di Adriano, poiché egli morì a Baia nel luglio del 138 d.C.: forse impossibilitato a intervenire subito, espresse il desiderio che il restauro fosse realizzato dal suo successore, cosa che Antonino Pio fece subito dopo.

Il litorale di Pozzuoli subì poi progressivi abbassamenti di natura vulcano-tettonica, tanto che verso la fine del V e inizio del VI secolo il porto non fu più utilizzabile e gli abitanti furono costretti a lasciare i quartieri portuali della città e a stabilirsi sull'altura, dove sorge la Rocca, l'attuale Rione Terra, divenuto il cuore storico della città.

Dopo questo evento, per molti secoli non si trovano informazioni scritte sui fenomeni geodinamici di Pozzuoli, che riprendono solo dal basso medioevo.

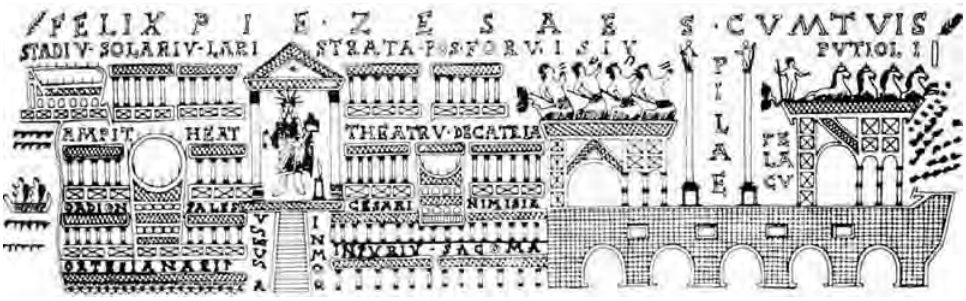


Fig. 1 – Pozzuoli, fronte del porto: schema di figurazione ricostruita sulla base delle fiaschette vitree del III-IV sec. d.C. Le pilae crollate – citate nell'epigrafe CIL X 1640 – sono indicate nel lato destro della figura, e riguardano la parte superiore del porticato, che nell'insieme sosteneva delle statue monumentali. [1]

Dal medioevo alla fine del XVI secolo

Nell'attuale letteratura vulcanologica è conservato il riferimento a una eruzione dell'area Flegrea accaduta nell'anno 1198 (Scandone et al., 2010; Giacomelli e Scandone, 2012). Si tratta di una informazione non basata su fonti, ma su tarda storiografia erudita napoletana, ed è un errore nato dalla trascrizione di una data o da altri fraintendimenti testuali a partire dal XVI secolo. Nessuna fonte medievale ricorda questa data né come terremoto, né come eruzione. Benché il caso sia stato da anni discusso e pubblicato (Guidoboni, 2010; Guidoboni e Ciuccarelli, 2011), questa falsa eruzione compare ancora nel Catalogo mondiale delle eruzioni dello Smithsonian Institution [3], e come terremoto è stato inserito[4] nel *Catalogo Parametrico dei Terremoti in Italia* (CPTI, 2015), con effetti di VI grado MCS.

Dopo questo falso evento, il CPTI passa direttamente a elencare le scosse della crisi del XVI secolo, quindi con più di tre secoli di silenzio. Ma il silenzio completo dell'attività sismica sembra non esserci stato, perché alcuni accenni a terremoti sentiti a Pozzuoli nel Trecento e nel Quattrocento sono riportati nel trattato *De terremotu. Libri Tres* dell'umanista fiorentino Giannozzo Manetti (1396-1459), scritto nel 1457[5]. Questo trattato ha avuto la sua prima edizione critica solo nel 2012, a cura di D. Pagliara, che tuttavia non ha risolto i numerosi problemi ancora aperti relativi ai terremoti elencati. Fra questi, ci sono tre eventi riguardanti Pozzuoli, attualmente non elencati nei Cataloghi (CPTI, 2015; CFTI5Med, 2018) e quindi allo stato attuale della ricerca "sconosciuti": sono i terremoti datati da Manetti agli anni 1353, 1354, 1454. In riferimento a questi tre eventi Manetti scrisse la stessa frase: *Subsequenti deinde anno, alter terremotus Puteolos invasit atque id oppidum paulisper vexavit* "Nell'anno seguente un altro terremoto colpì Pozzuoli e scosse la città per qualche tempo". Come valutare queste scarne informazioni?

Manetti, nel *Libro III* del suo trattato, documentò gli effetti del grande "terremoto" del dicembre 1456 che aveva colpito in modo rovinoso la Campania, in realtà una crisi sismica con almeno quattro diversi terremoti (Guidoboni e Comastri, 2005; Fracassi e Valensise, 2007). La preziosa descrizione degli effetti del 1456 di Manetti è preceduta dal *Libro II*, un catalogo di terremoti accaduti in area mediterranea dal mondo antico al 1455, che doveva fare da introduzione storica allo scenario sismico del 1456, per dimostrare la continuità e la "normalità" dell'accadimento dei terremoti nella storia. È in questo contesto che Manetti ricorda le tre date 1353, 1354, 1454 senza citare le opere consultate, né queste tre date sono riportate da altre opere di area napoletana finora note. Sappiamo che Manetti curò sempre moltissimo la sua biblioteca personale, che gli permetteva di consultare con grande facilità testi di letterati e di storici antichi e medievali, ma nulla sappiamo dei testi locali a lui contemporanei, che forse poté consultare al di fuori della sua biblioteca.

L'uso della stessa frase per descrivere i tre eventi fa sospettare una certa frettolosità dell'Autore. Si può forse ritenere che l'evento del 1353 sia attendibile, e che la data 1354 sia una ripetizione inserita in un contesto cronologico un po' confuso, da cui emergono alcuni grandi terremoti di altre aree geografiche. Per quanto riguarda la data 1454, non si può neppure escludere che Manetti fosse venuto a conoscenza diretta di una sequenza sismica fortemente risentita a Pozzuoli in quell'anno, in cui egli già risiedeva a Napoli. Nell'insieme non ci sono elementi per ritenere spuri questi tre terremoti per il solo fatto che non sono attestati da altre fonti. Ritengo che allo stato attuale delle conoscenze le tre date possano essere ragionevolmente inserite nella serie storica di Pozzuoli sulla base dell'autorevolezza dell'Autore, pur con qualche ragionevole dubbio.

Diverso è il caso riguardante gli effetti a Pozzuoli del grande terremoto del 1456, riportato da Manetti. Egli ebbe probabilmente sotto mano documentazione ufficiale e la sua attestazione sulla mancanza di danni significativi a Pozzuoli e in tutta l'area Flegrea è da considerarsi fededegna e per di più, in questo caso, confermata da altre fonti coeve.

Dagli ultimi decenni del XV secolo al 1582 la descrizione della sismicità risentita a Pozzuoli è basata su fonti autorevoli, utilizzate da Guidoboni e Ciuccarelli (2011): si tratta di fonti diplomatiche di sicura attestazione, in quanto carteggi scritti "a caldo", subito dopo i terremoti accaduti, oltre ad alcune cronache, fra cui quella del notaio napoletano Giacomo della Morte, noto come Notar Giacomo (Garzilli, 1875), fonte diretta per gli anni 1466 –1511, anno in cui termina la cronaca, e i "Giornali" di Giuliano Passero, autore napoletano di una cronaca riguardante gli anni 1443-1511. Quest'opera rimase manoscritta fino alla tarda edizione del 1785 (Passero, 1785). Descrizioni degli effetti sismici a Pozzuoli sono forniti anche da Cola Anello Pacca (1534-1587), autore napoletano di un *Discorso dei terremoti*, una sorta di catalogo rimasto incompiuto e ancora manoscritto, tuttavia denso di informazioni e

descrizioni assai utili perché scritte da un contemporaneo del posto. Non da ultimo sono degne di attenzione anche le testimonianze di Marcello Bonito (Bonito 1691), relativamente agli anni in cui fu testimone diretto dei terremoti sentiti a Napoli e a Pozzuoli. Per i secoli successivi, ossia dalla fine del Seicento alla fine del Novecento, non mancano fonti autorevoli di informazione sugli effetti a Pozzuoli: sono qui utilizzate le informazioni del CFTI5Med (2018), che hanno per base cronache, giornali, bollettini sismici e letteratura scientifica.

Pozzuoli: serie storica dei terremoti e dei fenomeni vulcanici

Di seguito sono riportate le attestazioni sui fenomeni sismici e vulcanici risentiti a Pozzuoli, in questo ordine: data, grado di intensità degli effetti sismici, secondo la scala MCS, sentiti a Pozzuoli; quando le fonti ricordano anche altre località interessate è indicato il nome del luogo e il grado di intensità; segue l'indicazione dell'area epicentrale e la Magnitudo, se nota.

Salvo indicazioni diverse, le informazioni sono tratte da fonti diplomatiche e *Privilegi reali*, citate nell'analisi storica di Guidoboni e Ciuccarelli (2011). Per la vicinanza a Napoli e per la maggiore disponibilità di informazioni riferite da testimoni che scrivevano dal capoluogo, in alcuni casi si è ritenuto di estendere anche a Pozzuoli gli effetti causati da terremoti locali, ossia dell'area Flegrea: in questi casi, un punto di domanda segnala l'attribuzione del grado di intensità degli effetti a Pozzuoli.

138 d.C. prima di luglio, maremoto?
La "forza del mare" (vi maris) causò a Pozzuoli il crollo di una parte monumentale del porto, denominata opus pilarum (Epigrafe CIL X 1640).

V-VI secolo abbassamenti
L'area del porto di Pozzuoli subì un lento abbassamento, tanto che già all'inizio del VI secolo il porto non fu più utilizzabile e gli abitanti furono costretti a lasciare i quartieri bassi e a stabilirsi sull'altura, dove sorge la Rocca, l'attuale Rione Terra.

1353/1354 VI Campi Flegrei?
Secondo Manetti, un terremoto "assalì" Pozzuoli e scosse con forza (*vexavit*) la città per qualche tempo (*De terremotu, Liber* II, 175).

1454 VI Campi Flegrei?
Secondo Manetti, un terremoto "assalì" Pozzuoli e scosse con forza (*vexavit*) la città per qualche tempo (*Liber* II, 180).

1456 5 dicembre V-VI Sannio-Irpinia, M~7
Secondo Manetti, Pozzuoli, assieme ad altre località dell'area Flegrea e diversamente da Napoli, subì pochi danni, e ciò fu considerato quasi sorprendente (*Liber III,* 146).

1468 26 maggio IV?, Napoli IV Campi Flegrei
La scossa, fortemente sentita a Napoli, fu probabilmente sentita anche a Pozzuoli.

1470 gennaio–settembre 1472 VII Campi Flegrei
Per quasi tre anni l'attività sismica causò danni a Pozzuoli, accompagnata da un aumento delle emissioni gassose nella Solfatara; fu danneggiata anche la vegetazione. Fa riferimento a questo periodo di intensa sismicità un *Privilegio* di Ferdinando I d'Aragona del 1472, conservato all'Archivio di Stato di Napoli.

1475 11 agosto IV?, Napoli IV-V Campi Flegrei
Fu sentito a Napoli un tremito, "*tremolizzo*", secondo Notar Giacomo (p.130), che durò un *credo*, circa 20 secondi. Non essendo note altre informazioni in un'area più ampia, si può ragionevolmente ipotizzare che questa attività sismica avesse origine nei Campi Flegrei.

1496 8 novembre IV?, Napoli IV Campi Flegrei
Scosse sentite a Napoli (Notar Giacomo, p. 212).

1498 7-19 ottobre V-VI Campi Flegrei
Terremoto molto sentito a Pozzuoli, dove fece alcuni danni. Lo attestano due lettere di ambasciatori, dirette a Francesco II Gonzaga e a Ludovico Sforza, del 22 ottobre.

1498 20 ottobre VII Campi Flegrei
La forte scossa causò notevoli danni a Pozzuoli. L'informazione è basata su documentazione diplomatica degli Sforza e dei Gonzaga; il terremoto è ricordato anche da Notar Giacomo (p. 225).

1499 18 marzo IV-V? Napoli IV-V Campi Flegrei
Due forti scosse furono sentite a Napoli a distanza di circa un'ora; spaventarono la popolazione al punto che furono fatte due processioni, una alla chiesa di Santa Barbara e l'altra all'Annunziata. Non si hanno informazioni dirette per Pozzuoli, ma è ragionevole ritenere che l'attività sismica fosse stata risentita.

1503 - 1511 sollevamento
È attestato un sollevamento durato sei o sette anni, che si accentuò negli anni 1509-1511. L'estensione del sollevamento fu tale da fare emergere una grande quantità di suolo che divenne luogo di attività antropiche. L'area, precedentemente occupata dal mare, fu rivendicata dagli abitanti di Pozzuoli per la costruzione di nuove case, perché le loro abitazioni erano quasi crollate o inagibili a causa dei ripetuti terremoti degli anni precedenti. L'analisi diretta dei documenti originali non consente di valutare l'estensione o di localizzare con precisione l'area del sollevamento del 1503 -1511.

1503 4 novembre IV-V? IV-V Napoli Campi Flegrei
È la cronaca di Notar Giacomo (p. 265) a ricordare con precisione questa forte scossa.

1505 18 maggio VII, Agnano VIII, Napoli III-IV Campi Flegrei
A Pozzuoli ci furono danni notevoli; ad Agnano alcuni crolli causarono un morto.

A Napoli fu sentito un "*tremolizzo*" paragonato a "*carrette che corressero*" (Notar Giacomo, p. 277). Orsi et al. (2004) ritengono importante questo terremoto perché si originò nel settore nord-est della Caldera, dove accadde nel 1538 l'eruzione che generò il Monte Nuovo.

1508 25 gennaio IV-V?, Napoli IV-V Campi Flegrei
Furono sentite a Napoli tre forti scosse di terremoto "*tanto possente che ogni volta durava un'avemaria e più*" (Notar Giacomo, p. 307). Attestano questo terremoto anche alcune lettere diplomatiche a Francesco II Gonzaga.

1508 25 aprile VIII, Campi Flegrei
Forte scossa che causò danni a Pozzuoli: è attestata da corrispondenza diplomatica a Francesco II Gonzaga e dal *Privilegio* concesso a Pozzuoli dal viceré di Napoli.

1511 sollevamento, " mare dissicatum"
Il fenomeno del sollevamento, definito nei documenti reali "*mare dissicatum*", divenne così importante che il 23 maggio 1511 il viceré di Napoli concesse a Pozzuoli l'area che si stava prosciugando, riconoscendola come "*territorio statale*".

1520 28 gennaio VI-VII, Napoli V Campi Flegrei
Forti scosse a Pozzuoli con danni diffusi; a Napoli, panico nella popolazione. Lo attesta una lettera diplomatica inviata a Napoli alla Marchesa Isabella d'Este Gonzaga.

1534 8 novembre – evento dubbio

1536 7 agosto V?, Napoli IV-V, Campi Flegrei
Il terremoto fu sentito fortemente a Napoli.

1536 settembre-dicembre III-IV, Campi Flegrei
A Pozzuoli è ricordata una sismicità continua, senza danni espliciti.

1537 gennaio-febbraio III-IV , Campi Flegrei
A Pozzuoli è ricordata una sismicità continua.

1537 14 febbraio VII-VIII, Campi Flegrei
Una forte scossa causò danni rilevanti a Pozzuoli: è attestata da corrispondenza diplomatica a Cosimo I de' Medici, il 24 febbraio dello stesso anno.

1537 marzo - 1538 marzo III-IV, Campi Flegrei
A Pozzuoli fu sentita per un anno sismicità continua, tanto che la popolazione si era quasi assuefatta e convinta che non sarebbe successo nulla di particolarmente grave.

1538 20 aprile VI, Napoli VI, Campi Flegrei
Frequenti terremoti causarono a Pozzuoli e a Napoli alcuni danni; fu osservato l'incremento dell'attività della Solfatara.

1538 giugno - settembre sismicità continua, Campi Flegrei
Progressiva intensificazione delle scosse, non solo a Pozzuoli, ma anche a Napoli: sono ricordate da cinque a dieci forti scosse al giorno.

1538 29 settembre VIII - Eruzione del Monte Nuovo

È l'ultima eruzione dei Campi Flegrei, dopo un periodo di quiescenza durato circa 3.000 anni, che originò il cono del Monte Nuovo. Questa eruzione è considerata dai vulcanologi una delle più piccole dei Campi Flegrei. Dai dati storici, in questo caso molto precisi, si evince che l'attività durò una decina di giorni, con l'emissione, secondo le stime, di circa 0,025 km^3 di magma. Questa eruzione produsse un'onda di espansione laterale e flussi piroclastici, spinti in un raggio di circa 1 km intorno al centro di eruzione. L'eruzione fu preceduta da notevoli deformazioni del suolo, da forte attività sismica e dall'apertura di diverse bocche vulcaniche e spaccature in aree oggi densamente abitate.

L'eruzione del Monte Nuovo fu molto famosa in tutta Europa e segnò anche un'estesa riflessione teorica sui fenomeni vulcanici; per la descrizione dettagliata dei fenomeni e sulle fonti che li descrivono, si rimanda a Guidoboni e Ciuccarelli (2011). Il sollevamento complessivo del Monte Nuovo fu di circa 90 m. L'eruzione del 1538 causò diverse modifiche al sito. L'abitato di Tripergole scomparve con i suoi numerosi edifici, comprese le tre strutture termali, utilizzate durante tutto il medioevo, che furono totalmente distrutte dall'eruzione. Altre installazioni termali furono gravemente danneggiate nei pressi di Pozzuoli. Il lago Averno, che prima dell'eruzione era collegato al mare da un passaggio, da cui penetrava l'acqua marina, rimase completamente isolato dal mare. Alla fine dell'eruzione i contemporanei notarono un considerevole avanzamento della costa. Le ceneri e l'enorme sconvolgimento danneggiarono i campi e contaminarono l'acqua nei laghi Averno e Lucrino.

Dopo la crisi, la situazione sociale di Pozzuoli apparve gravissima: gli abitanti avevano abbandonato il luogo e si erano riversati a Napoli, perché gli edifici di Pozzuoli (case, palazzi e chiese) erano completamente inabitabili e rovinati. La terra era "così tremolante", ossia con sismicità continua, che faceva temere che il mondo finisse (Carteggio Gonzaga, in Guidoboni e Ciuccarelli, 2011). Fu osservata anche un'estesa fratturazione dei suoli: si erano aperte bocche vulcaniche nell'area compresa fra Pozzuoli e Napoli.

Per quanto riguarda il danno causato dalle scosse, che precedettero e accompagnarono l'eruzione, sappiamo che cinque anni dopo degli incaricati episcopali fecero una ricognizione sul posto. Risultò che molte chiese di Pozzuoli erano completamente rovinate o danneggiate in modo grave: dei muri portanti erano in parte crollati e molti tetti erano caduti sotto l'accumulo di cenere e materia vulcanica. Secondo tale documento, tutte le chiese di Pozzuoli erano divenute inagibili e solo in pochi casi si era trovata un'area libera per continuare le funzioni religiose. La ricostruzione richiese molto tempo.

1564 luglio V-VI, Napoli V, Campi Flegrei

Due terremoti a Pozzuoli nel mese di luglio, a distanza di una settimana; il secondo è ricordato più forte e molto sentito anche a Napoli. Pacca (sec. XVI) dà un'immagine molto realistica della sismicità in corso: "*È stata la città di Pozzuoli quasi continovamente molestata dai terremoti; de i quali molti sono stati di poca forza*

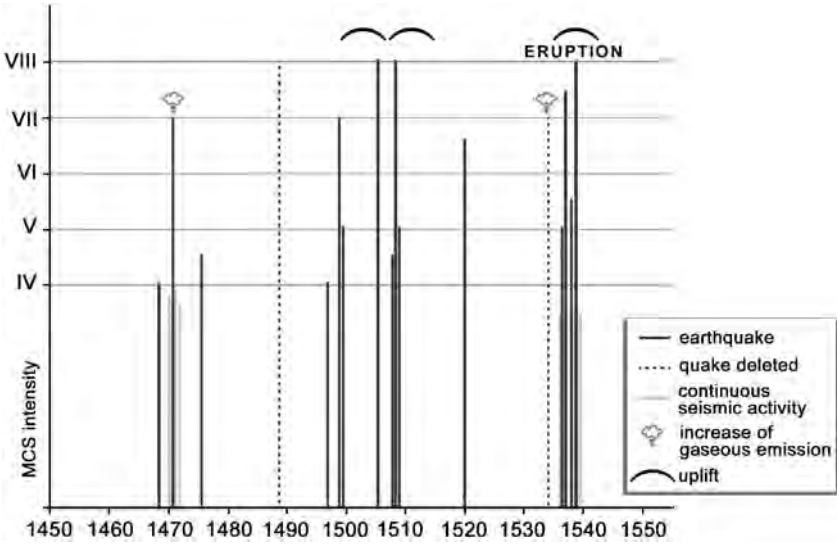


Fig. 2 – Andamento della sismicità con origine nei Campi Flegrei e sollevamenti attestati a Pozzuoli dal 1468 al settembre 1538, quando accadde l'eruzione che formò il Monte Nuovo (da Guidoboni e Ciuccarelli, 2011).

e perciò di quelli non si tien conto; ma nell'anno del Signore 1564 vi successe un movimento d'importanza che tutta la scosse; né cessò; anzi l'altra settimana poi sopravvenne l'altro di tanto empito, che la città di Napoli ancora tutta fu commossa, ma non seguì alcun danno.".

1566 1-6 maggio IV-V, Napoli V, Campi Flegrei
Due forti scosse, "*grandissimo empito*" secondo Pacca, furono sentite a Pozzuoli; la seconda è ricordata come più forte a Napoli.

1568 27 dicembre VI, Napoli V, Campi Flegrei
Forte scossa sentita a Pozzuoli; a Posillipo, una parte del masso all'ingresso della cosiddetta Grotta di Lucullo si ruppe e cadde; la scossa fu forte a Napoli.

1570 30 aprile, 1 maggio, 17 giugno VI-VII, Napoli V Campi Flegrei
Le scosse causarono alcuni danni agli edifici di Pozzuoli, compreso l'Ospedale dei Poveri dell'Annunziata. Dopo circa un mese e mezzo, il 17 giugno, ci fu un altro forte terremoto, che causò danni a Pozzuoli "Rovinarono molti edifici" (Bonito, 1691, p. 707). Queste scosse furono fortemente sentite a Napoli e causarono grande panico.

1575 29 novembre IV-V Campi Flegrei
Forte scossa sentita a Pozzuoli.

1580 9 giugno IV-V, Napoli IV Campi Flegrei
Forti scosse sentite nei giorni 9 giugno, 27 luglio, 24 settembre e 27 novembre tennero in apprensione la popolazione di Pozzuoli e di Napoli, ma non fecero danni.

1582 aprile 16 VII Campi Flegrei
Danneggiate case a Pozzuoli e panico degli abitanti. Da corrispondenza diplomatica veneziana si evince un quadro di effetti piuttosto grave. Il viceré di Napoli intendeva stabilirsi per un mese a Pozzuoli per le cure, ma il timore della viceregina e delle dame fu tale che cambiò progetto. In un dispaccio diplomatico scritto a Napoli e diretto a Venezia si scrisse che *"[il terremoto] fu così horrendo che oltre l'haver aperto et maltrattato quasi tutte le case di quella città [Pozzuoli], la povera gente tutta confusa se ne uscì discalza dalle habitationi loro, andando per le strade con le croci in mano, gridando misericordia misericordia*".

1582 5 e 10 giugno VIII, Napoli VI Campi Flegrei
Nella mattina del 5 giugno una forte scossa colpì Pozzuoli, causando crolli parziali in diverse abitazioni e seri danni a chiese e palazzi, inclusa la residenza del duca Camillo Pignatelli. Ci furono sei o otto morti e molti feriti. La scossa fu fortemente sentita a Napoli, dove nei giorni precedenti erano state avvertite diverse scosse (Dispaccio diplomatico da Napoli per Venezia). Il 10 giugno un'altra forte scossa causò ulteriori danni a Pozzuoli: l'Ospedale dell'Annunziata, già danneggiato nel 1570, e il monastero della chiesa di San Francesco subirono crolli quasi totali. Secondo Bonito (1691, p. 721-22), le forti scosse spaccarono la pavimentazione di cisterne sotterranee e causarono ingenti perdite d'acqua; fu danneggiato anche l'acquedotto denominato Formale, causando una penuria d'acqua per gli abitanti. Nel 1583 gli abitanti di Pozzuoli edificarono una piccola chiesa dedicata a San Gennaro, sul luogo ritenuto del suo martirio, vicino alla Solfatara, identificata dagli abitanti come luogo di origine della sismicità locale.

1583-1690
Per più di un secolo non sono ricordati terremoti a Pozzuoli, secondo quanto scrive Bonito (1691), attento testimone diretto della sismicità di Pozzuoli e di Napoli.

1694 8 settembre VI, Irpinia-Basilicata, M 6,8
Il terremoto, il cui epicentro è distante più di 100 km da Pozzuoli, danneggiò la fabbrica dell'allume, soprattutto il condotto che portava acqua alle caldaie.

1732 29 novembre V, Irpinia, M 6,6
Il terremoto a Pozzuoli fu sentito fortemente e non causò danni.

1805 26 luglio VI, Molise, M 6,6
Il terremoto causò all'abitato di Pozzuoli danni non gravi, non meglio specificati.

1851 14 agosto IV-V, Basilicata, M 6,4
A Pozzuoli furono sentite due scosse (ore locali 14:20 e 15:40); non ci furono danni.

1857 16 dicembre V, Basilicata, M~7
A Pozzuoli il terremoto fu sentito in modo forte.

1883 28 luglio IV-V, Casamicciola – Ischia, M 5,7
A Pozzuoli la scossa fu molto sentita; vibrarono i vetri e le persone si spaventarono.

1910 7 giugno V, Irpinia-Basilicata, M 5,7
La scossa durò circa 10 secondi e fu avvertita dalla maggior parte della popolazione di Pozzuoli; molti uscirono in strada spaventati.

1915 13 gennaio IV-V, Marsica, M 7
La forte scossa fu sentita da tutta la popolazione e causò grande panico.

1930 23 luglio [VI] VII , Irpinia, M 6,7
Pozzuoli nel 1930 aveva una popolazione di 27.144 abitanti (ISTAT del 1931). La scossa fu percepita della durata di 30 secondi e causò danni. Secondo i primi telegrammi e le relazioni specifiche, le case lesionate furono 87; altre relazioni scientifiche del tempo indicano che fu danneggiato circa il 20% dell'abitato (Guidoboni et al., 2018). In ragione di questi danni, la stima di VI grado del CFTI5Med appare un po' riduttiva e il grado VII può essere ritenuto più realistico. La popolazione si riversò nelle piazze e nei luoghi aperti in preda al panico.

1953-1968 abbassamento del suolo
Secondo le rilevazioni dell'Istituto Geografico Militare, IGM, il suolo a Pozzuoli e nell'area Flegrea si stava abbassando di circa 1,5 cm /anno (Gasparini, 2013).

1962 21 agosto VI, Irpinia, M 6,1
Non sono note descrizioni degli effetti a Pozzuoli. La valutazione riportata nel CFTI5Med (Guidoboni et al., 2018) è ripresa dalla letteratura sismologica del tempo.

1969-1972 sollevamento di circa cm 180, sismicità continua
La crisi bradisismica di quegli anni destò molta sorpresa negli abitanti d Pozzuoli, che contava circa 60.000 residenti. Secondo misurazioni effettuate dell'IGM l'area sollevata comprendeva l'abitato di Pozzuoli, con un picco a est del Rione Terra. La notizia generò panico e i vulcanologi non seppero dare risposte sull'evoluzione del fenomeno. Il Prefetto di Napoli decise di evacuare il Rione Terra, allora in cattivo stato di conservazione, con edilizia altamente vulnerabile. Per dare una risposta di sicurezza agli abitanti sfollati dal centro storico di Pozzuoli, fu edificato il nuovo quartiere Toiano.

1980 23 novembre [VI] VII Irpinia, M 6,7
Pozzuoli nel 1980 aveva 69.860 abitanti. Il terremoto causò danni diffusi: nel territorio comunale le unità edilizie danneggiate furono 369; le persone rimaste senzatetto furono 1.178 (1,5%); ci fu un morto. Danni notevoli furono rilevati nel rione Terra, in particolare nell'area di via Portanova, già in gran parte evacuata nel 1970 in seguito ai dissesti causati dai fenomeni bradisismici; furono danneggiati anche numerosi edifici ecclesiastici, palazzi e ville monumentali. In ragione di questi danni, la stima di VI grado attribuita nel CFTI, ripreso dal CPTI, è riduttiva e il grado

VII può essere ritenuto più realistico. La popolazione si riversò nelle piazze e nei luoghi aperti in preda al panico.

1981 14 febbraio V, Monti di Avella (Appennino Campano), M 4,8
A Pozzuoli molta paura, nessun danno.

1982–1984 IV-V, sollevamento di circa cm 182
Sismicità strumentale sostenuta e due scosse più forti. Panico tra gli abitanti.

1983 4 ottobre VI, Solfatara, M 4
A Pozzuoli ci fu molto panico fra la popolazione, che voleva abbandonare le case. Negli anni successivi si concretizzò il piano per l'edificazione di nuove aree abitative. Si costruì il quartiere Monterusciello, che oggi da solo conta più di 30.000 residenti.

1984 7 maggio V, Appennino abruzzese, M 5,8
A Pozzuoli la gente spaventata si riversò in strada.

1989 bradisisma - sollevamento

1994 bradisisma - sollevamento

1997 bradisisma - sollevamento

2000 bradisisma - sollevamento

2002 1 novembre IV, Molise, M 5,7
Scossa sentita molto distintamente a Pozzuoli, panico negli abitanti.

2004-2018 sollevamento
Prosegue il sollevamento dell'area, che in questi anni si è alzata di oltre cm 57,5.

Conclusioni

Complessivamente ritengo che ci sia una scarsa percezione complessiva di quello che potrebbe succedere a Pozzuoli se si ripetessero terremoti locali e appenninici, oltre a fenomeni vulcanici come in passato. Pozzuoli ha subito negli ultimi cinque secoli 11 terremoti di intensità maggiore o uguale al grado VII, di cui tre di grado VIII; sollevamenti del suoli di consistente portata, un'eruzione importante nel 1538 e attività sismica prolungata.

È interessante osservare che la popolazione dell'area Flegrea, secondo i risultati di un questionario (Barberi et al., 2013), manifestava più paura e preoccupazione per l'attività del Vesuvio che per la caldera vulcanica sulla quale vive. Da notare che il questionario, preparato e redatto da vulcanologi, non prendeva in considerazione la sismicità locale né quella appenninica.

Si potrebbe osservare che proprio la divisione disciplinare fra sismologi e vulcanologi rende non immediata la stima complessiva dell'azzardo di Pozzuoli. Come valutare il rischio a cui è esposta questa città? La pericolosità sismica si esprime oggi con un indice numerico all'interno di un quadro probabilistico, finalizzato ai tecnici delle costruzioni e manca di elaborazioni probabilistiche più complesse; la pericolosità vulcanica non ha a disposizione una scala specifica e non si sa se e come i caratteri abitativi e l'intero contesto tettonico regionale entrino nelle valutazioni di rischio.

A mio parere, la definizione attuale di *pericolosità* presenta nel caso di Pozzuoli tutti i suoi limiti, e non è un caso unico: ci sono altri paesi e città con questa duplice connotazione sismica e vulcanica, basti pensare a Ischia, alla stessa Napoli, a Catania, per non citare che i casi più rilevanti. Le valutazioni di pericolosità stentano a essere percepite nella loro allarmante complessità e non solo fra la popolazione: manca infatti un tavolo comune da cui far scaturire, a valle della ricerca scientifica, nuove strategie informative e nuove impulsi per la prevenzione.

Dobbiamo limitarci a un criterio di buon senso da applicare alla definizione di *pericolosità*, oggi solo tecnica e lontana dal senso comune? Ritengo che manchi un elaborato specifico, con dati storici, geologi, sismici e vulcanici, in grado di restituire un'immagine complessiva e di quantificare in modo sintetico l'azzardo a cui sono esposti centri abitati come Pozzuoli. Solo un approccio multidisciplinare potrebbe quantificare gli indicatori naturali e antropici da mettere in connessione, utili per una stima realistica della situazione. L'approccio multi-hazard, che si sta affermando, non sembra ancora del tutto in grado di cogliere l'intera gamma di problemi, che richiedono modellazioni probabilistiche nuove e complesse. Tutto ciò non è realizzabile senza apporti multidisciplinari specialistici (fra cui quello dei matematici, spesso i grandi assenti) e soprattutto senza una domanda sociale e culturale di sicurezza. È una prospettiva nuova, su cui lavorare per una cultura del rischio che vada oltre periodiche indicazioni d'allarme e si basi sulle conoscenze che la comunità scientifica nel suo insieme può mettere a disposizione.

Ringraziamenti
Per lo scambio di idee su questa nota desidero ringraziare Elisa Guagenti, Politecnico di Milano e Gianluca Valensise, INGV.

Bibliografia
Barberi F., Davis M.S., Isaia R., Nave R., Ricci T. 2013. Volcanic risk perception in the Campi Flegrei area. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 254, 244-258.

Bonito M. 1691. *Terra tremante ovvero continuatione de' terremoti dalla creatione del Mondo fino al tempo presente*. Napoli: Parrini and Mutii (Forni, Sala Bolognese, 1980).

Camodeca C. 2017. La munificenza di Adriano: costruzioni e restauri di opere pubbliche nelle città d'Italia. Newsletter di archeologia, CISA, 8, 23-46.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G.,Valensise G. 2018. *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. CFTI5Med. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. CPTI 2015 versione 2.0. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

CFTI5Med 2018 = Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Sgattoni G.,Valensise G. 2018. CFTI5Med, *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500)*. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

CPTI 2015 = Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani* (CPTI15), versione 2.0. Roma: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Fracassi U., G. Valensise. 2007. Unveiling the sources of the catastrophic 1456 multiple earthquake: Hints to an unexplored tectonic mechanism in southern Italy.Bulletin of the Seismological Society of America, 93(3), 725-748.

Garzilli P. (a cura di). 1845. *Cronica di Napoli di Notar Giacomo*. Napoli: Stamperia Reale. (Anastatic Reprint, Sala Bolognese 1980).

Gasparini P. 2013. Il bradisismo del 1970. Ambiente Rischio Comunicazione, 5, 31-35.

Giacomelli L., Scandone R. 2012. History of the exploitation of thermo-mineral resources in Campi Flegrei and Ischia, Italy. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 209, 19-32.

Guidoboni E. 2010. *History and Volcanology: dialogue overdue? The case of a false eruption in medieval Italy*, EOS, American Geophysical Union, 91(26), 231-32.

Guidoboni E., Comastri A. 2005. *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*. Bologna: INGV-SGA.

Guidoboni E., Ciuccarelli C. 2011. Campi Flegrei Caldera: historical revision and new data on seismic crises, precursors and the Monte Nuovo eruption (from the 12th century to 1582 AD). Bullettin of Volcanology, 73, 655-677.

Horster R., Rolf H.-G. 2001. *Unterrichtsentwicklung, Grundlagen, Praxis, Steuerungsprozesse*. Weinheim: Beltz.

Isaia R., Marianelli P., Sbrana A. 2009. Caldera unrest prior to intense volcanism in Campi Flegrei (Italy) at 4.0 ka B.P.: Implications for caldera dynamics and future eruptive scenarios, Geophysical Research Letters, 36(21), L21303.

Manetti Giannozzo (sec. XIV). *De terremotu,* edizione di D. Pagliara, 2012. Firenze: SISMEL Edizione del Galluzzo.

Orsi G., Di Vito M.A., Isaia R. 2004. Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei Caldera. Bullettin of Volcanology, 66, 514-530.

Pacca C.A. (sec. XVI). *Discorso dei terremoti*. Biblioteca della Società di Storia Patria di Napoli, *Fondo Sismico*, manoscritto VII.A.3.

Paris R., Ulvrova M., Selva J., Brizuela B., Costa A., Grezio A., Lorito S., Tonini R. 2019. Probabilistic hazard analysis for tsunamis generated by subaqueous volcanic explosions in the Campi Flegrei caldera, Italy, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 379, 106-116.

Passero Giuliano. 1785. *Cittadino napoletano o sia prima pubblicazione in stampa, che delle Storie in forma di Giornali, le quali sotto nome di questo Autore sinora erano andate*

manoscritte (1443-1511) ora si fa a sue proprie spese da Vincenzo Maria Altobelli libraro napoletano. Napoli: Vincenzo Orsino.

Salvatori M. 2008. Il porto dell'antica Puteoli: evoluzione dell'ingegneria marittima in età romana. Atti del II Convegno di Storia dell'Ingegneria (a cura di S. D'Agostino), Napoli, 7-8-9 aprile 2008, I, 431-440.

Scandone R., D'Amato J., Giacomelli L. 2010. The relevance of the 1198 eruption of Solfatara in the Phlegrean Fields (Campi Flegrei) as revealed by medieval manuscripts and historical sources. Journal of Volcanology and Geotherm. Research, 2010,.189(1-2), 202–206.

Troise C., De Natale G., Schiavone R., Somma R., Moretti R. 2019. *The Campi Flegrei Caldera unrest: discriminating magma intrusions from hydrothermal effects and implications for possible evolution,* Earth-Science Reviews, 188, 108-122.

Webgrafia

[1] Epigraphik-Datenbank Clauss / Slaby http://www.manfredclauss.de/it/index.html
[2] www.archeoflegrei.it
[3] https://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=211010

Note

1. Sul termine "azzardo" sono tornata più volte, perché nei contesti di comunicazione mi sembra più adatto di "pericolosità" (che in ambito sismico ha un'accezione solo tecnica). Il termine "azzardo" deriva dall'arabo *a-zahr*, che significa "dado", "sorte", radice di *hazard* nel linguaggio sismologico internazionale.
2. Epigrafe CIL X 1640- 1641 = ILS 336 = EDR094073.
3. Sono in corso studi del CNR-ISAC per comprendere le dinamiche geofisiche delle burrasche particolarmente forti, simili a quella abbattutasi sulle coste della Liguria il 29 ottobre 2018, che fece registrare oscillazioni dai sismografi non dovute all'urto delle onde sulla riva, ma causate dal moto ondoso in mare aperto.
4. Erroneamente inserito, perché per questo evento il CPTI 2015 rimanda a Guidoboni e Ciuccarelli, (2011), in cui si ritiene che l'evento sia un falso, sia come eruzione, sia come terremoto.
5. Dalla biografia di Manetti si evince che dal 1451 egli ebbe incarichi diplomatici per la repubblica di Firenze che lo portarono a Venezia, a Roma e a Napoli. È in questa ultima città che Manetti si stabilì nel 1454, dopo un umiliante processo subito a Firenze con l'accusa di tradimento, e a Napoli morì nel 1459.

Salvatore D'Agostino

Ingegneria Strutturale e conservazione del patrimonio architettonico

Abstract
By looking into the theory of conservation, this paper examines the relationship between structural engineering and architectural heritage. The serious issues pertaining seismic risk are also analysed together with the cultural and normative developments, which took place in the last decades. In this respect, it is also discussed the position of Magistracy and its thorny complications with regard to the idea of possible safety. Finally, a more incisive debate between engineering and society is encouraged, as well as a new radical reform of the Mibact is to be hoped for. The Ministry should indeed become the one and only referee for the conservation of the historical building heritage.

Introduzione
Negli ultimi decenni la definizione di bene culturale si è notevolmente arricchita inglobando da un lato tutti i manufatti della storia materiale, dall'altro estendendosi ai molti aspetti della cultura moderna, dal cinema al paesaggio. In questo così ampio contesto un'attenzione particolare merita il patrimonio costruito storico, oggetto, negli ultimi due secoli, di dibattute teorie e di interventi spesso invasivi. Sul piano teorico, tale dibattito si articola nel binomio Conservazione-Restauro: sono termini spesso visti come contrapposti, ma che, in effetti, rappresentano due aspetti peculiari di un'unica visione culturale.

Un immediato chiarimento del termine conservazione può derivare dall'equivalente inglese "preservation", conservazione cioè delle qualità materiali dell'oggetto nella loro consistenza originaria.

Il senso della conservazione dei monumenti si ritrova già in epoca romana con l'editto del Senato che condannava a morte chi avesse danneggiato la Colonna Traiana e ancora nel Rinascimento con la lettera di Raffaello a Leone X (Di Teodoro, 2003); così come la tutela per il paesaggio veniva imposta da Sisto V nel 1587 per conservare la pineta della città di Ravenna, proprio per il "decoro della città" (Emiliani, 1979). Peraltro il concetto di conservazione si arricchisce con il mutare del senso profondo della storia. Essa infatti è stata concepita nell'antichità come racconto di avvenimenti quasi sempre teso a magnificare l'opera di personaggi illustri. Questo

processo assumeva talvolta il ruolo di "damnatio memoriae" quando si intendeva occultare o distruggere l'opera di un personaggio. Così è avvenuto presso gli antichi egizi, così è avvenuto a Roma con la distruzione della Domus Aurea.

Solo più tardi la storia si è sviluppata come lo studio critico delle vicende umane nel corso dei secoli. Basti citare i nomi di Ludovico Antonio Muratori e di Giambattista Vico. Molto più recentemente Mark Bloch (1949) ha definito la storia "scienza dell'umanità", nel senso che l'indagine storica tende ad analizzare in senso critico il percorso dell'uomo. Inoltre, la storia ha ampliato i suoi confini a ogni attività umana. In tal modo ogni documento di tale attività si configura come monumento, nel senso di testimonianza.

La conservazione come tutela si estende quindi a tutto ciò che possa contribuire alla conoscenza del percorso umano. Si conservano così le carte di archivio, come gli antichi utensili, i monumenti come il paesaggio.

Il senso della storia si dilata e ci avvolge: ogni documento che possa illuminare il percorso dell'uomo rende permanente e più ricca la conoscenza; esso va conservato, non solo nel senso di tutelato, ma proprio preservato nella sua consistenza materiale e, per quanto possibile, nella sua autenticità originaria.

Fra le tante storie si sviluppa la storia materiale, quella della consistenza materica dell'oggetto, sia nella sua costituzione, sia nella sua continua evoluzione. In tal modo il monumento, sia esso dipinto, scultura, edificio, si configura quale documento di una storia complessa che in sé accomuna molteplici valori, da quello estetico a quello culturale, da quello sociale a quello materiale. L'oggetto si manifesta come monumento di archivio di storia materiale e, in tale visione, ogni manufatto umano può diventare oggetto di ricerca scientifica. Dalla metà del novecento, si sono andate sempre più sviluppando l'archeometria, e, più recentemente, la storia materiale del costruire e dell'edificare. Queste storie e queste ricerche non si contrappongono all'archeologia o alla storia dell'arte e dell'architettura, ma le arricchiscono di contenuti sul piano della conoscenza scientifica che è, ancora una volta, conoscenza storica.

Conservazione e Restauro

Il restauro ha in effetti un'antica tradizione acquisita nel campo dei beni oggi definiti storico-artistici.

Il restauro, inteso spesso come integrazione veniva in antico affidato agli stessi artisti; si ricordano i tanti interventi sulle statue mutili, e in particolare quello di Della Porta sull'Ercole Farnese che riprodusse una gamba, poi sostituita con l'originale ritrovato. È solo dalla metà del '700 che la figura del restauratore comincia a distinguersi da quella dell'artista.

A Pietro Edwards viene affidato nel 1778 dalla Repubblica Veneta il restauro delle pubbliche pitture ed è proprio Edwards a fissare una serie di criteri che richiamano alla storia materiale e sottolineano il rispetto per l'autenticità.

Egli scrive:

"Finalmente si impegnino a non usare sui quadri ingredienti che non si possano levare, ma ogni cosa necessariamente adoperata sarà amovibile da quella dell'arte ogni qual volta si voglia (evviva la reversibilità!)……che alcun professore neppure con buona intenzione di migliorare l'opera levi cosa alcuna dall'originale o vi aggiunge qualche parte del proprio, né ponga o levi iscrizioni (evviva l'autenticità!)" (Conti, 1981).

Ecco quindi che conservare e restaurare quasi si identificano.
E ben più recentemente, Devoto Oli riporta questa definizione:

"Restauro: operazione tecnica intesa a reintegrare i particolari, compromessi o deteriorati, e ad assicurare la conservazione di un'opera d'arte o di oggetti considerati artistici o di pregio". E ancora: "Restaurare: rimettere nelle condizioni originarie un manufatto o un'opera d'arte, mediante opportuni lavori di riparazione o reintegro".

A queste definizioni aderisce pienamente la cultura dei beni archeologici e storico-artistici: essa trova piena conferma nelle parole di Roberto Longhi:

"l'interiorità dell'opera figurativa non si può apprendere che da quella unica estrinsecazione fisica originale dove proprio i materiali fisici si sono resi siffattamente "intrinseci" da non poter essere mai ricomposti né riprodotti altrove in quella forma, neppure, come è ben noto, dall'autore stesso, figuriamoci se dal restauratore ordinario. Al quale pertanto non sarà mai rimproverato abbastanza la tremenda responsabilità che gli incombe di fronte alle opere d'arte, l'obbligo cioè di non alterare o diminuirle di un atomo, per nessuna ragione" (Conti, 1981).

E ancora Cesare Brandi:

"Il restauro costituisce il momento metodologico dell'opera d'arte, nella sua consistenza fisica, e nella sua duplice polarità estetica e storica, in vista della sua trasmissione al futuro" (Conti, 1981).

Purtroppo agli inizi degli anni '60 del secolo scorso si manifesta una drammatica svolta indotta dallo sviluppo industriale. Le industrie chimiche sollecitano l'adozione dei loro materiali sintetici, la tecnica e il comportamento dei materiali antichi sono sempre meno noti, sia ai restauratori, che raramente hanno ormai una forma-

zione da artisti, sia a ispettori e direttori dei lavori sui quali grava spesso il disprezzo idealista per la manualità e per la materialità dell'opera d'arte (rispetto all'immagine, se non alla fotografia, da cui si fanno le attribuzioni) e che, come tutti, sono bombardati da assuefazioni e immagini diffuse dai mass media (Conti, 1981). Sembra quasi la premonizione delle mostre digitali.

A questa visione culturale si ispirano ancora oggi, sebbene con crescenti difficoltà, il restauro e la conservazione dei beni storico-artistici, mentre il restauro architettonico presenta più complesse particolarità per le molteplici vicende che caratterizzano la vita del costruito storico.

L'opera di architettura progettata viene realizzata da un coacervo di esecutori che comunque la interpretano; la sua esecuzione richiede spesso tempi lunghi, interruzioni e successive reinterpretazioni. Nei secoli esigenze liturgiche e sociali la riconfigurano; così chiese paleocristiane sono state trasformate in romaniche, chiese gotiche in monumenti barocchi, mentre esigenze sociali e danni bellici hanno indotto ristrutturazioni di palazzi e fortificazioni. Tutto ciò è parte integrante delle vicende storiche attraversate e pertanto il manufatto si configura ancor più come monumento-documento di un complesso percorso storico le cui diverse fasi hanno lasciato eloquenti testimonianze. Ciò ha indotto contrapposti atteggiamenti culturali che hanno caratterizzato la storia del restauro architettonico negli ultimi due secoli.

In sintesi due teorie, colorate nel tempo da diverse sfumature, si sono frontalmente contrapposte. La prima sostenuta da Viollet-Le-Duc (1814-1879), la cui posizione, sinteticamente definita dall'affermazione "*Restaurer un* èdifice *c'est le retablir dans un* ètat *complet, qui peux n'avoir jamais esisté*" (Boito, 1886). fu ampiamente applicata nel restauro di Notre Dame, dove l'architetto francese ripristinò sia la costruzione sia l'apparato scultoreo con molti rifacimenti in stile e inserì tra la navata principale e il transetto una guglia in ghisa alta quarantacinque metri. Sempre a Viollet-le-Duc si deve la totale ricomposizione della cittadina di Carcassonne, trasformata in una "splendente" cittadina medioevale. Questa teoria ha influenzato la cultura di molti architetti fino a oggi: per essi il monumento antico si configura come una natura artificiale ovvero un'occasione per intervenire, per lasciare il proprio segno.

In completa opposizione alla teoria di Viollet-Le-Duc è la posizione di John Ruskin (1819-1900), scrittore e intellettuale inglese appassionato di pittura ed architettura, che professò l'idea della rovina romantica e decadente. Una posizione di radicalismo estremo, infatti per Ruskin non solo è chiara la distinzione tra conservazione e restauro, ma mentre la prima deve essere limitata a interventi strutturalmente necessari a contenere il degrado, il secondo si presenta come una vera e propria contraffazione del monumento.

Tutta la storia del restauro architettonico e archeologico si è mossa tra queste due posizioni con sfumature diverse tra il "com'era, dov'era" e la riconfigurazione più o meno libera del monumento.

In tempi recenti Roberto Pane così scriveva:

"malgrado le raccomandazioni che noi facciamo circa i limiti di rigoroso rispetto dell'autenticità del monumento [...] malgrado tutto [...] il restauro è un intervento creativo per cui è necessario che il restauratore sia un uomo di gusto e uomo capace di fantasia creativa" (Garzillo, 2006).

Non si intende fare qui la storia del restauro architettonico, ma solo dare il senso di alcune delle principali teorie e sottolineare come esse abbiano il più delle volte mirato a reinterpretare il monumento più che conservarne la sua storia materiale e culturale e quindi a salvaguardarne l'autenticità.

La nuova scienza del costruire e l'avvento dei materiali industriali

Tra la seconda metà dell'800 e i primi decenni del '900 si è verificata nel mondo del costruire la più grande rivoluzione che l'umanità abbia mai vissuto fin dalla più remota antichità. Infatti, per millenni si era verificata una profonda continuità nella concezione costruttiva, nell'uso di materiali tradizionali e nella pratica di tecniche di edificazione che, pur nella evoluzione delle regole dell'arte e degli stili architettonici, caratterizzarono l'opera degli architetti e dei costruttori fino agli inizi del XIX secolo.

Dopo la lunga stagione della trattatistica sette-ottocentesca, negli ultimi decenni del XIX secolo viene definitivamente formalizzata la nuova Scienza delle Costruzioni, che trova la sua naturale applicazione in quella "architettura del ferro" che caratterizza l'innovazione di quel periodo. Quasi parallelamente si sviluppa la tecnica del calcestruzzo armato (Iori, 2001) che rapidamente viene interpretata analiticamente dalla nuova Tecnica delle Costruzioni.

Si è determinata, in questo felice connubio, la più grande rivoluzione costruttiva che abbia segnato il percorso millenario della civiltà del costruire. Le costruzioni in muratura, che avevano caratterizzato per sei millenni la cultura del costruire e dell'abitare diventano rapidamente obsolete, mentre la nuova concezione costruttiva caratterizza l'innovativa evoluzione dell'ingegneria.

Il XX secolo si identifica così per l'avvento di una nuova civiltà del costruire e dell'abitare. Infatti, parallelamente all'avvento dei nuovi materiali industriali e alla nascita dell'industria edilizia, si sviluppa anche l'impiantistica tecnica con le riconfigurazioni e riqualificazioni degli impianti igienici prima, elettrici e termotecnici dopo.

In questo slancio innovativo le costruzioni in muratura vengono abbandonate a una modesta pratica di manutenzione o, il più delle volte, a interventi di ristrutturazione che tendono a trasformarle secondo i dettami della nuova concezione costruttiva. Sia nelle Facoltà di Architettura che in quelle di Ingegneria scompare ogni inse-

gnamento sulle costruzioni in muratura, sulle antiche regole dell'arte e sull'uso dei materiali tradizionali e delle relative tecniche. Solo dopo i sismi della seconda metà del '900 viene ripristinato lo studio delle costruzioni in muratura, ma in maniera del tutto incongrua, senza tener conto dell'antica concezione costruttiva né delle regole dell'arte ma tentando di reinterpretare il costruito in muratura secondo la logica della meccanica razionale e della moderna tecnica delle costruzioni.

Tutto ciò ha avuto due gravi conseguenze: l'assoluta ignoranza dei nuovi tecnici della cultura costruttiva antica, delle regole dell'arte, dei materiali tradizionali e delle tecniche costruttive, e l'illogica pretesa di intervenire sull'architettura antica con l'introduzione di protesi realizzate con i materiali industriali, cercando di piegare il comportamento statico delle costruzioni in muratura ai dettami della nuova Tecnica delle Costruzioni, più in particolare a quella delle strutture intelaiate. Ciò ha indotto interventi largamente invasivi che, non trovando alcun fondamento teorico nella Scienza delle Costruzioni, sono state individuate con l'ambiguo nome di "consolidamento". Tutto ciò rappresenta un duro colpo alla conoscenza materiale dell'architettura antica e purtroppo tale pratica si è estesa anche alla conservazione del costruito archeologico, tradendo in tal modo il concetto che ogni monumento è di per sé un monumento documento dell'archivio di storia materiale, oggetto di ricerca scientifica e storica. In definitiva si può affermare che la cultura materiale del costruito storico non è più parte integrante della moderna cultura del costruire; non lo è per la formazione dei tecnici e delle maestranze, non lo è per la conoscenza dei materiali e delle tecniche tradizionali. In questo contesto culturale il patrimonio costruito storico si configura, nel rapporto con il costruito moderno, come archeologico nel senso che esso non appartiene più alla moderna civiltà del costruire. Ciò ha peraltro un immediato riscontro sulle pratiche di restauro architettonico, che prescindendo dalla storia materiale e dalla concezione del tessuto costruttivo antico, non si sono opposte alle diffuse pratiche di consolidamento (D'Agostino 2003).

Dopo il sisma dell'Irpinia-Basilicata degli anni 1980-81, queste problematiche cominciano a essere percepite dalla cultura più avvertita e si concretizzano sia nell'azione del Comitato nazionale per la prevenzione dei monumenti dal rischio sismico, istituito dall'allora Ministero per i Beni Culturali e dal Dipartimento della Protezione Civile, sia dall'Associazione per il recupero del Costruito, l'A.R.Co., che raccolse istanze maturate nelle Università e negli Enti di tutela.Il Comitato elaborò Raccomandazioni e Direttive, promosse e finanziò importanti ricerche che dettero un significativo impulso allo studio della concezione costruttiva antica, ai materiali ed alle tecniche tradizionali (CNPPCCRS, 1986; 1989).

L'A.R.Co. ha con continuità promosso numerosi convegni ed elaborato alcuni documenti. Gli atti dei Convegni costituiscono un'importante fonte per la documentazione degli interventi di restauro costruttivo su numerosi, importanti monumenti, ma danno anche conto del dibattito culturale svoltosi negli ultimi decenni.

È proprio su questo abbrivio che nel 1992 è stato fondato il Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali dell'Università di Napoli Federico II, primo in Italia a proporre una revisione critica della lunga vicenda del consolidamento e, nel contempo, a promuovere una teoria della conservazione del patrimonio costruito fondata sul rispetto della storia materiale, riconoscendo in ogni elemento di tale storia un documento di ricerca scientifica. Tale visione culturale investe non solo la Scienza e la Tecnica delle Costruzioni nel loro rapporto con il costruito storico, ma molti settori scientifici dell'ingegneria e dell'architettura cosicché, unitamente alla rifondazione di una cultura materiale dell'antico, si riconosca nella manutenzione programmata e nella salvaguardia ambientale e microclimatica di ogni monumento l'unico strumento valido alla sua conservazione nello spirito della massima possibile integrità.

Conservare: una teoria storico-scientifica

Alla luce dell'analisi e delle considerazioni esposte, negli ultimi decenni, si è venuta formulando una teoria della conservazione che si articola nei seguenti punti:

1. affidabilità della costruzione antica;
2. degrado naturale e degrado antropico;
3. miglioramento;
4. conservazione del monumento di storia materiale;
5. principio del minimo intervento;
6. manutenzione programmata.

Questi concetti sono stati più volte sistematicamente illustrati e discussi (D'Agostino, 2017). Ci si soffermerà solamente sul "miglioramento" e sulla "manutenzione programmata" che hanno presunti risvolti giuridici e sociali.

Il concetto di miglioramento

L'analisi storica mostra come il miglioramento sia stato da sempre un concetto intrinseco della storia del costruire. La costruzione monumentale antica veniva concepita e realizzata come un organismo spaziale, spesso molto complesso, di durabilità infinita rispetto alle condizioni di regime e poco vulnerabile in condizioni eccezionali quali i ricorrenti eventi sismici. In questi casi il monumento poteva subire scuotimenti e danni, ma più raramente crolli, quasi sempre limitati e spesso dovuti, ieri come oggi, a precarie condizioni di manutenzione. Si provvedeva a migliorare la costruzione sia eliminando i danni subiti, sia con interventi mirati i quali non alteravano la concezione originaria della costruzione, bensì ne miglioravano il comportamento statico (D'Agostino, 2007). Pertanto, il miglioramento si realizzava mediante interventi di sottofondazione, ripresa delle murature, incatenamenti, e così via, ma anche talvolta eliminando aperture e dissimmetrie, come dimostra qualche sporadica analisi storica che ha affrontato questo problema (Strazzullo, 1991).

Il concetto di miglioramento nella sua teorizzazione originaria fu enunciato dal D.M. 24.01.86 [1] e rappresentò un notevole avanzamento rispetto alle confuse leggi e circolari emanate nel precedente decennio, a seguito degli eventi sismici del Friuli e della Campania-Basilicata, e più in particolare alla famigerata Legge 219 del 1981 [2], che sanciva drasticamente provvedimenti tanto distruttivi quanto impropri per la conservazione del patrimonio storico. Il D.M. 24.01.86 indica, al punto C9, cinque condizioni da rispettare per applicare il metodo del miglioramento statico a una costruzione storica. Tali condizioni furono dettate da un obiettivo strategico fondamentale: conservare l'integrità materiale del manufatto storico. Le cinque condizioni mettevano in chiaro principi essenziali che gli organi di tutela sarebbero tenuti a imporre. Inoltre, investivano direttamente le scelte progettuali, e pertanto tali scelte presupponevano, ieri come oggi, l'avallo degli organi di tutela dal quale sarebbe derivata l'opportunità del miglioramento statico o la necessità dell'adeguamento. Infatti il punto C9 del citato decreto recita:

> *"È fatto obbligo di procedere all'adeguamento a chiunque intende: a) sopraelevare o ampliare l'edificio; b) apportare variazioni di destinazione che comportino, nelle strutture interessate dall'intervento, incrementi dei carichi originari superiori al 20%; c) effettuare interventi strutturali rivolti a trasformare l'edificio mediante un insieme sistematico di opere che portino ad un organismo edilizio diverso dal precedente; d) effettuare interventi strutturali rivolti ad eseguire opere e modifiche per rinnovare e sostituire parti strutturali dell'edificio, allorché detti interventi implichino sostanziali alterazioni del comportamento globale dell'edificio stesso; e) effettuare interventi strutturali rivolti a reintegrare l'organismo edilizio esistente nella sua funzionalità strutturale mediante un insieme sistematico di opere".*

È ben evidente che tali condizioni sono intrinseche a ogni criterio di tutela e pertanto si consentiva il miglioramento, senza ricorrere a verifiche analitiche, per tutti gli interventi di conservazione sui beni tutelati.

Questa corretta impostazione metodologica fu pienamente condivisa dal Comitato Nazionale per la Prevenzione Sismica del Patrimonio Monumentale dell'allora Ministero per i Beni Culturali, che contemporaneamente al citato Decreto ministeriale sviluppò una serie di Raccomandazioni che articolavano per la prima volta un discorso tecnico-culturale sulla conservazione del patrimonio storico, in un momento nel quale la cementificazione post sismica dilagava. Proprio al fine di arginare i danni irreversibili indotti dalle varie ricostruzioni post-sismiche e di fornire un supporto metodologico agli enti di tutela, lo stesso Comitato elaborò, nell'ormai lontano 1989, delle Direttive che costituiscono ancora oggi un valido testo per arginare le usuali prassi di consolidamento che non hanno alcun fondamento scientifico (CNPPCCRS, 1986; 1989).

Tutt'altro discorso meritano le recenti Linee Guida per l'applicazione al patrimonio culturale della normativa tecnica di cui all'ordinanza P.C.M. 3274/2003, elaborata dal Dipartimento della Protezione Civile di concerto con il Dipartimento per i Beni Culturali e Paesaggistici del MIBAC. Purtroppo, pur riconoscendo la diversità della costruzione antica e la validità dell'antica cultura costruttiva antisismica, nelle Linee Guida è ribadito che non si può "*in ogni caso prescindere da un'analisi strutturale, finalizzata a tradurre in termini meccanici e quantitativi il comportamento accertato sulla costruzione*". In definitiva si sancisce la quantificazione analitica dello stato di conservazione del monumento attraverso una verifica elaborata mediante programmi di calcolo nei quali le condizioni statiche del monumento vengono individuate mediante convenzionali coefficienti. Successivamente, predisposto un progetto di interventi, si modificano i coefficienti corrispondenti e si valuta l'efficienza statica raggiunta mediante nuovi coefficienti, individuando in tal modo il miglioramento raggiunto che ovviamente si manterrà ben al disotto dei parametri di adeguamento. È ben evidente che in tal modo al progettista spetta l'onere della scelta del miglioramento raggiunto attraverso parametri meccanici che spesso da un lato possono non rispecchiare compiutamente le reali condizioni del monumento e dall'altro richiederebbero un dibattito preventivo con gli organi di tutela sulle scelte fatte sia per l'analisi del monumento, sia sulla definizione analitica dell'intervento di miglioramento.

È evidente quanto ciò sia utopistico e come la mera consegna degli elaborati al competente Genio Civile sia poco più di un adempimento burocratico per l'individuazione, a futura memoria, delle responsabilità. Inoltre, è da sottolineare, che le normative dell'ingegneria si susseguono ormai con ritmi pressoché decennali, per cui l'intervento eseguito può dimostrarsi inadeguato rispetto alle successive normative.

Il calcolo strutturale, nei suoi più variegati aspetti, proprio perché estraneo al mondo dell'architettura antica va inteso come strumento di sicura utilità che il progettista deve saper utilizzare per giungere a conclusioni autonome che suggeriscano interventi atti a ricomporre, per quanto possibile, l'antico organismo spaziale, di nuovo sicuro e affidabile, così come è avvenuto per tutti i secoli della sua lunga storia. In tal modo il progettista assume su di sé tutta la responsabilità dell'intervento, come sempre è avvenuto per i grandi architetti del passato e per i maestri costruttori. Ciò richiede una scelta oculata del progettista che dovrebbe essere pienamente affidabile come ha sempre preteso l'antica committenza. Oggi, purtroppo, ben altre sono le vie che accreditano le diverse professionalità e ciò in parte giustifica l'arido imperativo normativo a tutto discapito della conservazione.

Fortunatamente però, l'ultima normativa sismica (Rugarli, 2018) rivede a fondo l'impostazione precedente e mentre purtroppo non considera una classe di costruzioni specificatamente dedicata ai beni tutelati, limita il miglioramento per detti edifici

a un coefficiente di miglioramento pari allo 0,1 e cioè in effetti a un significativo intervento di manutenzione straordinaria e pertanto a una visione culturale simile a quella promossa a suo tempo dal citato Comitato sismico.

Purtroppo a ciò si oppone una distorta visione giuridica diffusa dalle recenti sentenze della Cassazione (Guariniello, 2016) che sanciscono i seguenti principi:

– ogni costruzione va adeguata anche agli eventi sismici eccezionali;
– il concetto di miglioramento viene vanificato;
– l'assenza di risorse finanziarie non è più giustificativa;
– i vincoli di carattere culturale e artistico non possono limitare l'obbligo di sicurezza.

Seguendo tali principi dovrebbero chiudere la maggior parte degli edifici pubblici oltre che a moltissime scuole, chiese, musei e ospedali.

In effetti la Corte di Cassazione pretenderebbe il completo adeguamento con un coefficiente di miglioramento pari all'unità, cosa tecnicamente impossibile.

Tutto ciò è indice di una profonda discrasia della società italiana: da un lato il senso della sicurezza possibile, come dimostrano incendi, alluvioni, incidenti stradali e incidenti sul lavoro, dall'altro la pretesa di una sicurezza assoluta scientificamente non perseguibile.

È necessario pertanto che l'Ingegneria promuova un dialogo cogente con la società, e reimposti in modo diverso il grave problema della tutela dell'edilizia esistente e quindi dei cittadini.

La manutenzione programmata

La manutenzione programmata è un antico concetto per la conservazione del patrimonio costruito. Infatti, i grandi proprietari immobiliari hanno sempre esercitato una continua manutenzione ordinaria che di rado richiedeva interventi di manutenzione straordinaria. Più recentemente, grandi complessi conventuali, monumentali e archeologici, disponevano di artigiani dediti alla manutenzione del complesso: l'esempio attuale di maggior prestigio è costituito dalla fabbrica di S. Pietro. Prima che una diffusa mercificazione distruggesse molti valori della nostra società, lo Stato, attraverso il Genio Civile, provvedeva con continuità alla manutenzione ordinaria non solo dei suoi beni, ma anche di molti complessi ecclesiastici. Allo stato attuale, purtroppo, questa sapiente pratica è del tutto tramontata privilegiando un processo speculativo fatto di interventi straordinari affidati a imprese e progettisti esterni che tendono, per ovvi motivi economici, a dilatare gli interventi. L'amministrazione pubblica, sempre più sguarnita e talvolta collusa con le imprese, non riesce a esercitare un controllo efficace, a tutto discapito della conservazione del patrimonio storico. In effetti si è creata una profonda discrasia tra una cultura diffusa in tutto il Paese a sostegno della manutenzione programmata e la prassi corrente dei lavori pubblici.

Uno dei danni più gravi indotti dall'industria edilizia è stata la distruzione pressoché totale di quell'artigianato diffuso che era una caratteristica culturale del Paese. Fortunatamente questa tendenza sembra lentamente attenuarsi e si riscontrano sempre più spesso laboratori artigianali che, oltre a una indipendenza economica, sono fonte di gratificazione culturale, e ciò proprio nei mille borghi che caratterizzano la peculiare ricchezza dell'Italia.

Eppure la manutenzione è una pratica condivisa in tutta l'Europa. In particolare si ricorda il progetto strategico diffuso in Belgio e denominato Monumentwacht: squadre di personale qualificato svolgono regolari ispezioni specie sul costruito storico eseguendo anche piccole ma fondamentali operazioni di manutenzione ordinaria: pulizia delle grondaie, diserbo, controllo delle coperture.

Un grande progetto nazionale, finanziato dallo Stato e dai privati, arricchirebbe culturalmente il Paese e ne promuoverebbe l'economia.

Il patrimonio costruito tra speculazione e profitto

L'Italia è un paese teoricamente privilegiato in quanto l'art. 9 della sua Costituzione sancisce che "*La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico-artistico della Nazione*". A questa limpida e chiara affermazione non corrisponde affatto la politica dei Beni Culturali in Italia, anche se questi sono stati oggetto di attenzione e studi da parte della cultura del Paese, mentre la politica ha profondamente disatteso le aspettative.

Il Ministero dei Beni Culturali, istituito da Giovanni Spadolini nel 1974, è stato sempre tenuto in una ben scarsa considerazione dalla politica: infatti, in quarantaquattro anni si sono susseguiti ben venticinque ministri con una permanenza media di meno di due anni e ciò ha indotto il prepotere della burocrazia amministrativa. Solo il ministro Franceschini ha diretto il Ministero per quasi quattro anni e ha inciso sulla sua struttura con una riforma che prende il suo nome. Questa riforma, anche se non manca di alcuni meriti come la riqualificazione di alcuni particolari siti e di alcuni grandi musei, in sostanza tende a privilegiare valorizzazione e fruizione a scapito della tutela, nume tutelare appunto della conservazione. Eppure fin dagli anni '60 l'impegno della cultura italiana si è sempre schierato in favore della conservazione, della tutela e quindi della manutenzione programmata. Uno dei successi più rilevanti è stata la Legge Galasso del 1985 che istituì il vincolo di tutela su tutto il territorio nazionale avente particolari caratteristiche naturali e dispose inoltre la redazione di piani paesaggistici o di piani urbanistico-territoriali. Più tardi lo stesso Ministro è tornato sistematicamente sull'argomento (Galasso 1996; 2006). Tanti altri studiosi hanno costantemente difeso il patrimonio culturale in particolare Settis (2002; 2005; 2010), Montanari (2013), D'Agostino (2009); nonché Associazioni, quali la Bianchi Bandinelli e l'A.R.Co. Tutti questi studiosi sono concordi nel ritenere la "manutenzione programmata" il grimaldello che assicura la maggiore possibilità di sopravvi-

venza del costruito storico nella sua duplice accezione di monumento-documento e di archivio di storia materiale oggetto di ricerca scientifica. La teoria esposta privilegia anch'essa la "manutenzione programmata" e richiede una visione culturale partecipata, impegnando in una strategia multidisciplinare Enti di tutela, progettisti e imprese esecutrici. Nell'attuale momento storico ciò è particolarmente difficile, in quanto la committenza dispone spesso di scarse risorse che la costringono a eseguire lavori parziali che si susseguono talvolta a notevole intervallo di tempo. Gli Enti di tutela vengono quasi sempre coinvolti in complesse gare di appalto: ne nascono spesso faticosi e incongrui compromessi; peraltro, le Soprintendenze non sono attrezzate per fronteggiare il "ritornello" dell'assoluta sicurezza, in particolare in zone a rischio sismico, sbandierato dai progettisti. Infine, le imprese, strutturate sull'edilizia contemporanea, e soggette all'industria edilizia per quanto attiene ai materiali, alle finiture e all'impiantistica, hanno di fatto perduto quell'approccio artigianale e quella manualità che dovrebbero caratterizzare i lavori di conservazione e restauro, (D'Agostino, 2017).

Non manca qualche isola felice come il recente restauro dell'area archeologica dell'antica Ercolano, sponsorizzata dal "Packard humanites institute" con sedici milioni di euro in dieci anni., con il quali sono stati correttamente restaurati e resi fruibile i due terzi dell'area archeologica. Inoltre, è stato realizzato un importante complesso di infrastrutture: una uscita dell'autostrada Napoli-Salerno, due parcheggi di cui uno per i privati e l'altro per i bus turistici e una moderna ed efficiente biglietteria. Analogamente si procede nel grande progetto Pompei, finanziato dall'Unione Europea con cento milioni. Non mancano però tristi episodi come la presunta anastilosi al Tempio della Pace al Foro Romano.

Bisogna auspicare l'Utopia che, lentamente, si trasforma in realtà.

Il MiBAC dovrebbe assurgere al ruolo di Istituzione importante al pari dei Ministeri dell'Economia, del Lavoro e delle Infrastrutture e dovrebbe munirsi di una specifico Dipartimento di Protezione Civile, cosciente della estrema delicatezza della fasi di emergenza nei Beni Culturali. E' indispensabile che il Ministero sia profondamente riqualificato con la partecipazione della cultura scientifica, assumendo fisici, chimici, geologi e ingegneri i quali, diffusi come funzionari di Soprintendenze e adeguatamente formati, possano esercitare compiutamente la funzione di tutela confrontandosi con progettisti e imprese. Non solo, ma al MiBAC dovrebbe afferire tutto il patrimonio costruito vincolato, senza l'interferenza del Ministero delle Infrastrutture. Fortunatamente è una Utopia che comincia ad essere un auspicio come affermato dal relativo documento dell'ultimo Convegno ARCo (8 e 9 marzo 2019), condiviso da prestigiose Associazioni

La vita è sempre confronto e lotta, ci si augura che i decenni futuri siano caratterizzati da un imperativo ritorno alla storia e che le prossime generazioni siano in grado di conservare la storia materiale dell'architettura antica, patrimonio ormai archeologico, che richiede un vigile studio e una dedizione esemplare.

Acronimi

CNPPCCRS: Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico

Bibliografia

Bloch M. 1949. *Apologie pour l'histoire ou mètier d'historien*. Paris: A. Colin.

Boito C. 1886. I nostri vecchi monumenti: Conservare o restaurare? Nuova Antologia, 87, 483.

CNPPCCRS. 1986. Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale e tipologia specialistica in zone sismiche, circolare 18 luglio 1986, n. 1032. In: R. Ballardini, *Il restauro Architettonico nella ricostruzione del Friuli*, 1990, 32-34. Fagagna: Arti grafiche Friuliane.

CNPPCCRS. 1989. Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di miglioramento antisismico e "manutenzione", nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica. In: R. Ballardini, *Il restauro Architettonico nella ricostruzione del Friuli*, 1990, 35-47. Fagagna: Arti grafiche Friuliane.

Conti A. 1981. *Conservazione, falso restauro*. In: *Storia dell'Arte Italiana*, 10, 64; 103; 104; 108. Torino: Einaudi

D'Agostino S. 2003. Dalle regole dell'arte alla scienza delle costruzioni. Atti del Convegno Scienziati-Artisti, 209-226. Napoli: Electa.

D'Agostino S. 2007. Il concetto di miglioramento e la sua evoluzione nella valutazione della sicurezza del patrimonio architettonico. Atti del Convegno Nazionale A.R.Co. "Quale sicurezza per il patrimonio architettonico?", Mantova 30.11-2.12, 57-69. Roma: Nuova Argos Editore.

D'Agostino S. (a cura di). 2009. Raccomandazioni per la redazione di progetti e l'esecuzione di interventi per la conservazione del costruito archeologico. Napoli: Cuzzolin Editore.

D'Agostino S. (a cura di). 2017. *Ingegneria e Beni Culturali*. Bologna: Il Mulino.

Di Teodoro F.P. 2003. *Raffaello, Baldassarre Castiglione e la lettera a Leone X*. Bologna: Minerva.

Emiliani A. 1979. I materiali e le istituzione. In: *Storia dell'Arte Italiana, 1, Questioni e metodi*, 125. Torino: Einaudi.

Galasso G. 1996. *Beni e Mali culturali*. Napoli: Editoriale Scientifica.

Galasso G. 2006. *La tutela del Paesaggio in Italia*. Napoli: Editoriale Scientifica.

Garzillo E. 2006. Normopatia, disincanto della carta di Venezia. Op. cit., 127, 5-16.

Guariniello R. 2016. *Terremoti obblighi e responsabilità. Gli insegnamenti della Cassazione*. Milano: Wolters Kluwer Italia.

Iori T. 2001. *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*. Roma: Edilstampa S.r.l.

Montanari T. 2013. *Le pietre e il popolo. Restituire ai cittadini l'arte e la storia delle città italiane*. Torino: Einaudi.

Rugarli P. 2018. *Norme Tecniche per le Costruzioni 2018*. Roma: EPC.

Settis S. 2002. *Italia S.p.a. L'assalto al patrimonio culturale*. Torino: Einaudi.

Settis S. 2005. *Battaglie senza eroi. I beni culturali tra istituzioni e profitti*. Torino: Einaudi.

Settis S. 2010. *Paesaggio, Costituzione, Cemento. La battaglia per l'ambiente contro il degrado civile*. Torino: Einaudi.

Strazzullo F. 1991. *Restauri del duomo di Napoli tra '400 e '800*. Napoli: Fondazione Corsicato.

Webgrafia

[1] https://www.legislazionetecnica.it/system/files/fonti/allegati/11-6/53333/DM26011986.pdf
[2] https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1981/05/18/081U0219/sg

Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli

Sostenibilità del vincolo geotecnico nella storia dei monumenti

Abstract
Exposed to an often hostile environment, monumental buildings gradually or abruptly turn into ruins, remains, rubble and dust. In the face of ruin, the human environment assumes attitudes of consternation, dismay, contemplation, which over time turn into admiration and even pleasure; the attitudes reserved for reconstruction interventions are respect, protection, safeguard, relocation, but also dispossession, vandalism, abandonment, and even Schadenfreude. After a catastrophe, which threatens the survival of a monument, the demand for reconstruction associated with the formula as it was and where it was prevails, often accompanied by the utopian pledge it shall last forever. The site in which a monument was conceived, including its foundations, is almost always a constraint that conditions every act of reconstruction. For such a constraint, which is often implicit in the original site selection, the expression ground constraint with an extension to the figurative sense is proposed. The fate of the monuments, typically erected under the umbrella of sustainability, remains largely entrusted to man, in the optimistic confidence that to the noble end man is able to train himself with appropriate education.

Il Monumento

Monumenti ed edifici monumentali sono importanti costruzioni naturali o artificiali che, per qualche caratteristica intrinseca, artistica o per pregio acquisito, gli uomini considerano irripetibili testimoni del passato. Un monumento si impone per significato storico o si erge nel territorio con caratteri notevoli per dimensioni, compattezza o vivacità, come in Figura 1. Monumenti ed edifici monumentali hanno in comune i caratteri della *monumentalità*, vocabolo che designa a un tempo bellezza architettonica, proporzioni, armonia nel rapporto con il paesaggio, rassicurante robustezza a garanzia di lunga sopravvivenza e, non di rado, quella solennità caratteristica dei mausolei, che deriva dalla tridimensionalità in un sito solitario.

Fra gli insiemi di costruzioni esistono complessi monumentali che si distinguono per la storia e/o per particolari avvenimenti; anche i siti privi di costruzioni, nei quali si riconosce l'opera dell'uomo, possono avere caratteri monumentali, come le cave di materiali da costruzione, i cimiteri rupestri e alcuni singolari pendii. La definizione comprende costruzioni e insiemi di costruzioni, cittadine e quartieri storici, rocche, rupi, balze e si estende dal suolo al sottosuolo.

Fig. 1 – Il monumento a Mazzini innalzato a Roma in occasione del centenario della Repubblica Romana, 1949.

Fig. 2 – Un cippo che ricorda la strage compiuta dalla mafia il 1° maggio 1947 a Portella della Ginestra, Palermo.

Il sito

Ogni monumento è collocato in un luogo, all'aperto o in sotterraneo, che del monumento diviene parte integrante. Questo luogo è a volte lo stesso monumento, come i siti delle battaglie che hanno segnato il destino di popoli; là sorgono cippi, obelischi, lapidi, che si trasfigurano nelle immagini di romantici poeti. Alcuni siti sono divenuti storici, perché teatro di stragi come in Figura 2, eccidi, stermini, esecuzioni come in Figura 3, meta di commoventi rievocazioni. Il sito nel quale un monumento è stato concepito, ivi compreso il terreno nel quale giacciono le sue fondazioni protette dal terreno, costituisce un vincolo che in caso di crollo condiziona ogni atto di ricostruzione.

Fig. 3 – Il monumento a Giordano Bruno è rimasto nel Campo de Fiori, Roma, dove "l'infame rogo arse", nonostante le istanze di rimozione.

La monumentalizzazione

La qualifica di monumento a una costruzione o a un sito viene attribuita convenzionalmente in considerazione di uno o più caratteri, quali età, dimensioni, singolarità, storia e uso; molti caratteri sono singenetici, in quanto quelle costruzioni furono concepite come monumenti; in altri casi la qualificazione è stata attribuita successivamente, come al Colosseo, e alcuni edifici sono classificati monumentali dopo la costruzione. Questo processo di innalzamento al titolo, che si propone di indicare *monumentalizzazione*, è legato a fenomeni o episodi ai quali il sito è asso-

ciato. Ad alcune plaghe del territorio la natura sembra aver conferito l'aspetto di singolari costruzioni che per la loro imponenza sono state definite monumentali anche nei toponimi e nelle descrizioni poetiche, come in Figura 4. Il processo si spinge al punto che alcuni monumenti sono oggetto di trasfigurazioni da parte di disegnatori o di fantasiosi pittori; né mancano esempi di finzioni architettoniche. Con la trasposizione al figurato è stata attribuita la qualifica monumentale anche a immortali costruzioni poetiche, come nella retorica carducciana in occasione dell'inaugurazione di un monumento a Virgilio nei pressi di Mantova, 1884: "*Il monumento sorse, ma non di picciol campo, sì nella estensione dei secoli; il monumento sorse, ben altro che di marmo pario; voi lo sapete, è la Eneide.*".

Fig. 4 – Un'immagine dell'imponente complesso naturale denominato "Monument of the Lost World" nel Black Hill Natural Park, S.D., USA.

L'ambiente

Le azioni che derivano dall'ambiente nelle sue componenti naturale, come in Figura 5, e antropica prendono gradualmente il sopravvento sul peso e sui carichi accidentali, i cui effetti sui monumenti sono spesso scontati. L'esperienza rivela che l'aliquota dell'azione ambientale che fa capo all'uomo è la principale responsabile della rovina, che non di rado accelera proprio in occasione di interventi di restauro.

Fig. 5 – "... Vento che macchia e rode l'arenaria e il cuore dei telamoni lugubri, riversi sopra l'erba ..." (Salvatore Quasimodo, Strada di Agrigentum).

Le componenti

Ogni monumento è composto di una struttura in elevazione sorretta da una struttura fondazionale immersa nel terreno, caratteristica del sito nel quale il monumento è stato eretto e dove è esposto all'ambiente che ivi prevale; con le sue componenti (struttura, fondazione, terreno, ambiente) il monumento costituisce un sistema e tale deve essere considerato a fronte di ogni umano atteggiamento. Il legame al suolo resta fondamentale, come simbolicamente in Figura 6.

Fig. 6 – Con la gamba della Vittoria imprigionata nel marmo Michelangelo sembra voler rappresentare l'indissolubile legame del Monumento al suolo.

Le trasformazioni

Ogni monumento o sito storico, monumentale o monumentalizzato, è soggetto nel corso della vita ad azioni di ogni genere. Le trasformazioni riguardano la destinazione e gli interventi antropici. La *storia* dei monumenti è in queste trasformazioni, delle quali resta traccia nel sistema o in alcune sue parti, come in Figura 7.

Fig. 7 – Nel complesso dello Spasimo, Palermo, restano tracce delle trasformazioni nel tempo (chiesa, granaio, armeria, teatro, lazzaretto, ospizio, ospedale).

La *dislocazione* è nell'atto che si compie, spesso a dispetto di autorevoli pareri, con il trasferimento in un sito differente dal contesto fisico e culturale nel quale il monumento ebbe origine. Monumenti di diverse civiltà (babilonese, egiziana, greca, romana, …), come obelischi, colonne, epitaffi, trafugati e trasferiti come trofei dalle *colonie*, si ergono oggi nelle piazze di Europa. Molti monumenti, pur originariamente fondati in siti diversi, hanno subito la sorte di quei reperti trafugati durante le guerre in modi non dissimili da quelli che si definiscono furti di opere d'arte. Nel nuovo contesto i monumenti perdono gran parte di quel carattere che avevano prima della distruzione del vincolo.

Sul trasferimento di monumenti commemorativi, come le tombe dei Grandi, si accendono dibattiti. Non di rado prevalgono decisioni originate da ideologie che tradiscono ogni insegnamento storico. Alcuni monumenti storici vengono abbattuti a furor di un popolo deluso dall'effimero personaggio che essi rappresentano.

L'atteggiamento

I monumenti sono sempre caratterizzati da uno stretto rapporto con l'uomo, del quale hanno accompagnato nel tempo vicende liete e tristi. Perciò la fruibilità da parte dell'uomo è condizione indispensabile per apprezzare la monumentalità. L'ammirazione che si prova dinanzi a un monumento trova così la sua giustificazione in una numerosa classe di fattori legati alla costruzione e all'ambiente e si spiega proprio con i caratteri che distinguono la monumentalità.

Il processo di evoluzione di una costruzione verso l'invecchiamento l'uomo contempla assumendo atteggiamenti diversi, che, al decrescere dell'*indice di artificialità*, dall'iniziale *terrore* passano a *costernazione, sgomento* e *sbigottimento* come si coglie nella Figura 8; sentimenti, che mutano in *ammirazione* e *godimento*. L'ammirazione si spinge fino alla rappresentazione simbolica dei ruderi.

Fig. 8 – Sgomento dinanzi alla rovina della Cattedrale di Noto il 13 marzo 1996.

Il complesso di reazioni che l'uomo assume nei confronti di interventi di restauro in situazioni di crescente degrado si descrive con i vocaboli *rispetto*, *tutela*, *salvaguardia*, *trasferimento* e simili. Accanto a questi atteggiamenti positivi si constatano comportamenti degenerati indicati nella letteratura *incuria*, *spoliazione*, *vandalismo*, *sciacallaggio*, *profanazione*, *abbandono* e, perfino, *Schadenfreude*. Su questi si costruisce l'ansia per la ricerca dei presunti colpevoli di un'incuria che dura da tempo; a volte quest'ansia di punire, pur comprensibile, sembra quasi oscurare ogni intervento a lungo termine che a quella ricerca finisce per essere posposto.

Alle precedenti emozioni sono correlati gli atteggiamenti che si constatano nel momento in cui, dopo la rovina, si deve entrare nel concreto dei problemi più propriamente ingegneristici e architettonici. Le reazioni "salvaguardare" o "ricostruire" rispecchiano il conflitto tra la tendenza alla conservazione e l'ansia di rinnovamento; proposte contrarie si incrociano e dividono gli animi.

Vi sono casi nei quali si chiede con insistenza di rimuovere le macerie immediatamente; in altri, quelle macerie restano in sito per molti decenni, come dopo il terremoto in Irpinia nel 1980. Alcuni ruderi sopravvivono a lungo, come avanzi che testimoniano l'accaduto; in altri casi si decide per una ricostruzione immediata e fedele all'originaria struttura. La difficile opera può richiedere decenni di arduo lavoro di ricomposizione dei frammenti. Per opere minori o non universalmente note il restauro avviene per piccoli lotti, dopo molti secoli di abbandono; nel maggior numero di casi, specie per piccole opere quasi dimenticate, si dovrà attendere.

Nel settembre 2019 si è appreso che l'Unesco contribuirà alla ricostruzione della Moschea di Mossul distrutta con atto terroristico nel 2017.

La compostezza che uomini e donne manifestano nei riguardi delle forze naturali (eruzioni, terremoti, inondazioni), si confronti con il comprensibile livore di chi subisce feroci e ingiustificate aggressioni quando l'aggressore non è la natura, ma lo stesso uomo. Questa rabbia si legge sui volti di gente che con anziani e bambini assiste impotente all'azione delle ruspe sulle sue baracche senza offrire alternative a chi in quegli effimeri ricoveri ha trovato rifugio.

Con mausolei e monumenti, che il viandante ammira, gli abitanti di un paese onorano i loro Caduti che vedono scolpiti nella pietra.

Il vincolo

Come tutte le costruzioni, i monumenti sono ancorati al terreno sul quale furono eretti, e sono esposti all'ambiente fisico e umano con il quale istituiscono un indissolubile rapporto. Questo vincolo, del quale è garante la fondazione, offre al monumento anche protezione dall'ambiente e ne condiziona il destino.

La fondazione vincola, dunque, il monumento al sito, sul quale questo fu eretto; ma, a quel sito il monumento è vincolato anche perché colà avvennero fatti memorabili, che ne giustificano l'inamovibilità; questo vincolo può avere origine dal rispetto per l'ultima volontà di un uomo o dall'autorevolezza di un severo monito, come quello scolpito sulla tomba di Shakespeare, che invita il viandante a non rimuovere le ossa da quel luogo.

Fig. 9 – Con il piede dell'Aurora Michelangelo sembra trasmettere l'immagine della deformata impressa al suolo dalla fondazione di una costruzione.

Questo forte vincolo fisico e/o figurato, spaziale e/o temporale, non di rado implicito nella scelta originaria del sito, è *geotecnico*, perché, come quello fonda-

Fig. 10 – Il Memoriale Italiano fu voluto, progettato e collocato nel Blocco 21 del campo di Auschwitz dall'Aned (Associazione nazionale ex deportati nei campi nazisti), grazie alla collaborazione di Lodovico Belgiojoso, Primo Levi, Nelo Risi, Pupino Samonà, Luigi Nono e altri. In dispregio alla verità storica, il vincolo al Campo di sterminio nazista, in ricordo della liberazione compiuta dall'Armata Rossa il 27 gennaio 1945, è stato spezzato con il trasferimento del Memoriale alla periferia di Firenze.

zionale, radica permanentemente al suolo ogni costruzione. Il significato dell'aggettivo si intende esteso al legame figurato che si istituisce tra l'intera costruzione e il sito al quale questa fu destinata a perenne testimonianza di un avvenimento storico.

Il vincolo, inteso in senso così ampio, rende il monumento inseparabile dal luogo che ne giustifica l'esistenza. Esso resiste al trapianto e destina un reperto archeologico al sito nel quale fu rinvenuto e al quale è legato; non di rado quel reperto viene collocato in un museo allestito nel luogo che ne ha rivelato il significato.

Alla deformata impressa da una fondazione al terreno può ispirarsi chi voglia simboleggiare, come in Figura 9, il legame di un monumento al sito; non altrimenti un emigrato al *luogo natio*, il navigante al *punto ancora* di un porto, il Memoriale Italiano al Campo di sterminio di Auschwitz, Figura 10.

La ricostruzione

Dopo una catastrofe prevale la domanda di ricostruzione con la formula *come era e dove era*, in Figura 11, come nella prescrizione del Consiglio Comunale di Venezia a proposito del Campanile di San Marco crollato il 14 luglio 1902, secondo quanto

Fig. 11 – La riscoperta del panorama di Posillipo dalla copertura di un'ala del Palazzo Cellammare a Napoli, distrutta nella Seconda Guerra Mondiale e ricostruita sulle medesime fondamenta e con l'originaria muratura di tufo (foto R.J., 1949).

riferito da Daniele Donghi nell'ampio resoconto pubblicato nel Giornale del Genio Civile nel 1913:

"*... che il Campanile doveva sorgere nello stesso sito dell'antico e presentare all'occhio la stessa forma e colore, sebbene la struttura interna e le modalità di costruzione possano essere anche diverse, secondo la scienza moderna, che dia garanzie di maggiore durata ...* ; ai tecnici fu lasciata *la maggiore latitudine nella scelta dei sistemi migliori che la scienza insegna.".*

Alla ricostruzione basata sulla formula citata, giustificata per un monumento, si fa riferimento con leggerezza anche dopo catastrofi, in conseguenza delle quali un borgo è stato interamente distrutto.

Non di rado questa frettolosa promessa, gradita ai residenti, non può essere mantenuta, perché una più matura riflessione induce a preferire il doloroso trasferimento dell'intero abitato in un luogo più sicuro.

L'abbandono

Con l'abbandono si rinuncia definitivamente a ogni intervento di *salvaguardia* attiva. L'abbandono è un atto volontario, cioè intenzionale, che segue con ragionevolezza alla constatazione della irrecuperabilità o, talvolta, della trascurabile importanza dei resti; più spesso, tuttavia, avviene per l'incuria, della quale l'uomo è responsabile. Alcuni monumenti ben conservati sopravvivono nei serbatoi artificiali, silenti testi-

Fig. 12 – Ruderi di Craco, Basilicata, abbandonata dopo una frana nel 1963.

moni di un irreversibile passato; in altri, resti archeologici, ruderi o relitti rivedono la luce in occasione di periodiche manutenzioni.

Alcuni modi di abbandono rendono affascinante l'oggetto, che viene monumentalizzato. Quel turista che percorra l'Alta Val Venosta vorrà sostare sulla riva dell'Adige per ammirare il campanile della chiesa di San Valentino che sopravvive da 70 anni alle periodiche oscillazioni del livello dell'omonimo serbatoio artificiale; il viaggiatore che si spinge in Basilicata fino a scorgere la monumentale rovina di Craco abbandonata, in Figura 12, ne rimarrà sorpreso.

La sostenibilità

Il luogo nel quale un Monumento è stato concepito e ha vissuto con il terreno nel quale le fondazioni furono costruite costituisce, dunque, un *vincolo* che condiziona ogni atto di ricostruzione. La considerazione di questo legame insegna a concepire ogni costruzione con i materiali disponibili nel sito e a conformare le strutture al terreno con appropriato disegno della fondazione.

Con la *salvaguardia* la transeunte comunità dimostra attenzione e riguardo per le future generazioni. Questa sensibilità è implicita nell'attribuzione del titolo di monumento che una costruzione acquista. Nella valutazione della comunità quella costruzione merita perciò il rispetto e la cura necessarie a garanzia di una durata meno effimera di altre. Con la *tutela* la comunità affida, dunque, alle future

generazioni quel responsabile atteggiamento definito *sostenibilità*, che non sempre riserva all'ambiente naturale, come in Figura 13. Con questo generoso atteggiamento sopravvive la retorica dichiarazione *deve durare per sempre*, che spesso accompagna anche la ricostruzione di opere, forse troppo frettolosamente definite monumentali.

La sorte dei monumenti, tipicamente coperti dall'ombrello della sostenibilità, resta in gran parte affidata al sostegno di quell'aliquota ambientale, della quale l'uomo è responsabile, nell'ottimistica fiducia che con appropriata *education* questo sappia sempre meglio addestrare il suo atteggiamento al nobile fine della tutela.

Fig. 13 – La violenza umana sulla natura si riconosce nel M. Rushmore (S.D., USA), trasformato nel volto di quattro presidenti USA (foto R.J., 1953).

Education

Dinanzi all'inesorabile processo di disgregazione, nel quale la *natura naturata* va riprendendo il sopravvento sull'*artificiata*, gli uomini assumono atteggiamenti diversi; orrore, sgomento, smarrimento del primo momento si trasformano in sdegno, turbamento, costernazione, nostalgia, e nel tempo perfino in ammirazione e godimento suscitati dal fascino delle rovine. Ma con il progresso del degrado cresce responsabilmente la sollecitazione alla salvaguardia della rovina. Il vincolo comporta per la salvaguardia problemi singolari e quanto mai ardui.

Difesa e protezione domandano interventi, che, tuttavia, non sono necessariamente simmetrici. La difesa, che concerne i provvedimenti per correggere l'impatto di una costruzione sull'ambiente, non è quasi mai necessaria, perché i monumenti non minacciano l'ambiente; la protezione, invece, che mira ad aumentarne la capacità di fronteggiare le azioni esterne, è essenziale per la sopravvivenza. L'esperienza dimostra che gli interventi più produttivi sono quelli caratterizzati da *aggiustabilità*, *reversibilità* e *durabilità*, alla luce di un flessibile *metodo osservazionale*, che si propone in forma diversa, secondo la situazione.

La ricerca di una soluzione soddisfacente deve muovere dalla consapevolezza che quel sistema fisico ha una vita limitata. Gli interventi possono accrescere la vita residua solo per successivi continui aggiustamenti confortati da una permanente vigilanza e da un ragionevole uso delle risorse, sempre esigue, di cui l'uomo dispone, in una lungimirante visione strategica di un'*archeologia sostenibile*. Questa non potrà più proporre il dissennato e affannoso disseppellimento di tutto quanto la storia ha sepolto, ma dovrà mirare a garantire *safety, security* e *durability* all'esistente,

accompagnata dalla raccolta e dall'analisi della disponibile documentazione scientifica sugli oggetti sepolti, a beneficio delle future generazioni. Invero, in molti casi, una consapevole sostenibilità in vista di una generosa e ben documentata trasmissione intergenerazionale potrebbe ragionevolmente contrapporsi alla pur comprensibile curiosità scientifica, che procede con ostinazione a scavi, che espongono all'azione degli atmosferili resti, ruderi, avanzi, prima che i provvedimenti necessari per proteggerli dall'inesorabile rovina siano predisposti.

Fig. 14 – Tête a trois visages, Korlek, Cavan, époque préchrétienne, Pierre, Dublin, National Museum of Ireland (Duval P.M., Les Celtes, Gallimard, 1977).

Dopo una catastrofe prevale la pressante domanda di ricostruzione associata alla formula *come era e dove era*, alla quale si accompagna l'utopistica dichiarazione di *perenne durata* della nuova costruzione. Ogni decisione in proposito resta affidata alla saggezza di chi sarà capace di operare nel presente, ricordando il passato e mirando al futuro senza perdere la visione del *Monumento* come composto di parti inseparabili vincolate al sito nel quale l'opera è stata concepita.

Nella testa di rozza pietra dell'arte celtica conservata a Dublino, rappresentata in Figura 14, sono abbozzati tre volti nei quali sembra di poter ravvisare una triplice capacità: nel primo un atteggiamento intento al presente per scrutarne la complessità; il secondo può immaginarsi rivolto al passato per raccoglierne l'esperienza; il terzo volto mira al futuro per intuirne con immediatezza e ragionevolezza le mutevoli istanze.

Carmine Colella

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte seconda: Dalla chimica degli "assaggi" alla scienza e tecnologia dei materiali

Abstract

The second part of this study is focused on materials, which constitute the backbone of chemical knowledge in engineering schools. This subject was introduced by the Casati reform, immediately after the Italy's Unification (1861). The early denomination of the teaching course was "Docimastic chemistry", a sort of analytical chemistry, applied to the study of materials, to control their chemical composition at the beginning, during, and at the end of their use. Starting thirty years later there was a gradual change in the course content, which was centered on material constitution, properties and manufacturing. Accordingly, also the name changed, becoming "Applied chemistry (to building materials)". In the following years until present the course content has increasingly shifted towards the inner constitution of materials with the aim of understanding the relationships between structure, microstructure, properties and uses with consequent effects on materials design and evaluation of their durability. The name of the course has thus changed again, becoming "Materials science and technology".

This paper includes also some short biographical notes of the scientists, who contributed, either from a scientific and/or from a teaching point of view, to the development of this important cultural engineering area, i.e. Sebastiano De Luca, Francesco Mauro, Orazio Rebuffat, Maria Aloe and Riccardo Sersale.

Introduzione

Anteriormente alla costituzione dello Stato unitario, l'insegnamento negli istituti scolastici di ogni ordine e grado, e nella stessa università, seguiva, in Italia, orientamenti diversi da stato a stato e conseguentemente diverse erano l'organizzazione e la struttura degli studi.

Non costituiva eccezione l'istruzione tecnica superiore, presente nelle sedi con più antica tradizione, che provvedeva, tra l'altro, alla formazione degli ingegneri civili con modalità e programmi di studio notevolmente dissimili nei vari contesti, e spesso in mancanza di rigide strutture organizzative. Solo nel Regno di Napoli, nel corso del "decennio francese" e sul modello dell'École *d'Application des Ponts et Chaussées* di Parigi, era stata istituita una Scuola di Applicazione di Ponti e Strade

con l'impostazione di quello che oggi potremmo chiamare un corso di laurea, quindi con specifici programmi, docenti dedicati e un'adeguata organizzazione didattica.

Nella prima parte di questo studio (Colella, 2018) si è visto come la chimica, nel periodo preunitario, pur essendo frequentemente presente nei piani di studio d'Ingegneria, sia stata scarsamente considerata, sia per quel che concerne i programmi, ancorati sostanzialmente alla cultura di base, sia perché associata a discipline diverse (fisica, mineralogia, agronomia), che non ne facevano risaltare l'identità e il carattere distintivo. In aggiunta, seppure con qualche eccezione, l'affidamento del corso, a studiosi con competenze non specifiche della materia, non agevolò di certo la diffusione del sapere chimico fra gli aspiranti all'esercizio della professione di ingegnere civile.

A tutto questo pose rimedio, negli ultimissimi anni cinquanta dell'Ottocento, la cosiddetta legge Casati[1], che riformò completamente il comparto dell'istruzione. Proposta originariamente per il Regno di Sardegna, fu gradualmente adottata da tutte le "province" del neonato Regno d'Italia, venendo così a realizzare l'obiettivo di uniformare l'organizzazione degli studi di ogni ordine e grado per l'intera nazione.

Con riferimento agli studi universitari, l'art. 53 della legge recita, in particolare: «Alla Facoltà di Scienze Fisiche e Matematiche dell'Università di Torino sarà annessa una Scuola d'applicazione in surrogazione all'attuale Regio Istituto tecnico». Seguono gli insegnamenti previsti per la Scuola, fra i quali la Chimica docimastica, non prevista in alcun altro corso di laurea dell'università, quindi caratterizzante per gli studi d'Ingegneria.

In questo lavoro si è inteso affrontare, sulla base della documentazione storica, quale sia stata l'evoluzione della disciplina nel corso degli anni, in particolare nell'Università di Napoli, e come dalla stessa si sia giunti alla proposizione di discipline e programmi sempre più orientati verso la chimica applicata e la scienza e tecnologia dei materiali.

La Chimica docimastica e l'insegnamento di Sebastiano De Luca

L'attributo "docimastico", da gran tempo obsoleto e di non immediata accessibilità, evoca una chimica antica, esoterica, quasi al confine con l'alchimia. In realtà, provenendo dal greco antico δοκιμαστικός (esploratorio) e avendo una radice comune con il termine "docimasia" (= esame, prova), individua un insieme di pratiche di connotazione analitica, atte a soccorrere il tecnico (ingegnere civile o industriale) nel riconoscimento e nel controllo di materiali di interesse nel campo delle costruzioni. La disciplina, compresa nella grande famiglia della chimica applicata[2], aveva come principale oggetto di studio prodotti industriali, quali leganti aerei e idraulici, metalli e ceramici, ma includeva anche nozioni sulla chimica e la tecnologia dell'aria, delle acque e dei combustibili.

Il primo ad insegnare Chimica docimastica a Napoli fu Sebastiano de Luca (Colella, 2017). De Luca nacque a Cardinale, nella Calabria Ulteriore Seconda, il 4 novem-

bre 1820 in una numerosa famiglia di agiate condizioni economiche[3]. Compiuti gli studi superiori a Catanzaro, si iscrisse all'Università di Napoli, acquisendo una "cedola" in Farmacia, cioè si dispose a seguire le orme del padre, che nel suo luogo d'origine esercitava la professione di speziale. Ebbe a Napoli la ventura di seguire le lezioni di chimica che Raffaele Piria (1814-1865), il fondatore della scuola chimica italiana, teneva privatamente, in concorrenza con la chimica ufficiale. Ne rimase così favorevolmente colpito da decidere che quella sarebbe stata la disciplina-guida della sua vita scientifica e professionale. Ritornò nei luoghi d'origine nel 1843.

Sebastiano De Luca

Qui, oltre che esercitare la sua professione, si impegnò in politica, diventando uno dei capi del movimento antiborbonico del 1848. Per sfuggire al carcere - era stato condannato, contumace, a 25 anni di detenzione - riparò a Parigi, dove rimase fino al 1857 e dove entrò nel giro della grande chimica francese, instaurando rapporti con scienziati di vaglia, principalmente con Marcellin Berthelot (1827-1907), di cui divenne stretto collaboratore. La sua preparazione e la sua rinomanza crebbero, tanto che, quando, alla fine del 1857, a Pisa, in previsione della imminente scomparsa di Cesare Bertagnini (1827-1857), titolare di Chimica, minato dalla tisi, si dovette pensare ad un suo successore, la scelta cadde su De Luca. Ne fu forte propugnatore Piria, che peraltro era stato proprio a Pisa titolare della materia fino all'anno addietro, per poi trasferirsi a Torino. Seppure un po' riluttante, De Luca si trasferì nell'università toscana e vi rimase fino al 1862, quando, ancora una volta maldisposto, si trasferì a Napoli, sempre su pressioni di Piria, per coprire la cattedra di Chimica (poi Chimica generale), che era stata "liberata" nel 1860 con la forzata dismissione del titolare Antonio Presutti (1793-1878)[4]. De Luca restò a Napoli per il resto della sua vita, lasciandovi una rilevante impronta di docente impegnato e infaticabile e di eccellente ricercatore su una variegata serie di temi, anche in settori non squisitamente chimici. Nel biennio 1862-64 fondò l'Istituto chimico, creando le premesse per la nascita e la crescita della chimica napoletana; fu anche un imprenditore, perché per primo comprese l'importanza e sfruttò le risorse della Solfatara di Pozzuoli, che aveva acquistato insieme ai suoi fratelli. Fu anche per brevissimo tempo senatore del Regno. Morì a Napoli il 17 aprile 1880.

De Luca esplicò il suo magistero di docente, oltre che a Scienze, anche in altre facoltà ed istituzioni parauniversitarie. Insegnò fra l'altro, dal 1863, anche Chimica docimastica nella riformata Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri. Non abbiamo testimonianze dirette del suo corso, anche perché non fu autore di manuali sulla disciplina, ma ci soccorrono i programmi inclusi negli annuari dell'Università di Napoli. Di tale materia non vi erano precedenti esperienze a Napoli, né in altre sedi

universitarie. De Luca dovette quindi inventarsi un programma, che non poté che basarsi essenzialmente sulla chimica analitica, quindi nozioni di base per l'analisi chimica per via umida e per via secca, saggi qualitativi e quantitativi per la valutazione di elementi metallici e non metallici, saggi per la valutazione di impurezze in varie tipologie di prodotti, saggi sulle acque potabili e minerali, sui combustibili, sugli esplosivi, sui lubrificanti, sugli oli minerali e vegetali; ed inoltre valutazione di parametri fisici essenziali, quali, densità, temperatura di fusione ed ebollizione e così via.

Francesco Mauro e l'introduzione della Chimica applicata

Alla morte di De Luca, la cattedra di Chimica docimastica venne messa a concorso. Lo vinse il lucano Francesco Mauro (Colella e Masini, 2014), che prese servizio come ordinario al principiare del 1883, dopo aver insegnato la materia come incaricato nel precedente anno accademico.

Francesco Mauro era nato a Calvello, nel potentino, il 4 novembre 1850 in una ricca famiglia di proprietari terrieri. Dopo un'infanzia piuttosto movimentata, per il carattere ribelle e la poca volontà di studiare, intraprese a Napoli gli studi universitari di Scienze naturali, avendo come guida l'illustre mineralogista Arcangelo Scacchi (1810-1893). Si appassionò alla chimica e, in prossimità della laurea, interruppe gli studi per andare a lavorare nell'Istituto chimico dell'Università di Roma con Stanislao Cannizzaro (1826-1910) - chimico eminente, uno dei maggiori che il nostro Paese abbia avuto - diventandone allievo. Si laureò, non in Scienze naturali, bensì in Chimica, a Napoli, solo nel 1878, ma nel frattempo aveva acquisto notevole esperienza nella pratica analitica[5] e incominciava ad accumulare titoli scientifici (soprattutto nel campo dell'analisi delle acque potabili e in un settore molto innovativo, quello della chimica dei sali complessi di molibdeno, una direttrice di ricerca questa, che costituirà l'argomento principe di tutta la sua attività scientifica futura). Arrivò così rapidamente il tempo del concorso a cattedra. Dopo un primo prematuro tentativo, che non andò a buon fine, nel 1883 risultò vincitore, come detto, della cattedra di Chimica docimastica presso la Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri di Napoli. Avrebbe tenuto questa posizione per tutto il resto della sua breve vita. Morì infatti nel suo laboratorio, presumibilmente a causa di esalazioni di vapori tossici il 5 aprile 1893. Aveva sempre mantenuti ottimi rapporti con il suo mentore a Roma, dove continuò la sua attività di ricerca, pur continuando ad impegnarsi a Napoli, sia sul piano scientifico, che soprattutto nella didattica. Fu anche direttore della Scuola dal 1890. Nel corso della sua direzione molte decisive variazioni intervennero nell'assetto normativo e funzionale dell'istituzione. Ebbe molti

Francesco Mauro

riconoscimenti, fra i quali l'elezione a membro corrispondente della classe delle Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali dell'Accademia dei Lincei.

La letteratura riporta che Mauro, nello svolgimento del suo corso, «dalla Chimica docimastica era passato alla Chimica applicata ai materiali da costruzione, la quale si occupava non solo dello studio di tali materiali, ma anche di tutti quegli altri argomenti di chimica igienica[6] ed industriale, indispensabili per la cultura pratica dell'ingegnere» (Russo, 1967)[7]. In realtà, che ci sia stato già da subito un mutamento, un'evoluzione della disciplina rispetto a quella "tradizionale" di De Luca, è evidente già dal programma stampato nell'annuario, peraltro poco dettagliato e quindi non del tutto esplicativo, ma soprattutto da un riscontro testimoniale, cioè da un quaderno di appunti di uno studente (trattasi di tal Michele Selvaggi, che fu nel prosieguo ingegnere capo del Genio Civile in diversi capoluoghi di provincia italiani), che seguì il corso nell'A.A. 1884-85, il secondo dopo la chiamata di Mauro come ordinario della materia (Colella e D'Auria, 2016). C'è ancora un po' di chimica di base nella parte introduttiva, ma funzionale allo sviluppo applicato della disciplina, poi il percorso acquisisce la connotazione, che diventerà classica, con la disamina dei vari materiali di interesse per l'ingegnere. Ma la prova definitiva dell'adesione all'approccio materialistico l'ha fornita il recente ritrovamento di una copia di un manuale, di cui non vi era memoria nella letteratura corrente, che Mauro scrisse dopo qualche anno dall'inizio della sua docenza e che pubblicò appena qualche mese prima della sua scomparsa (Mauro, 1892). Si tratta di un testo manoscritto e litografato, come era frequente all'epoca per ridurre le spese di stampa, che raccoglie, ancora a cura di uno studente (il nome del quale non è viene menzionato), ma con l'evidente intervento del docente, la trascrizione delle lezioni tenute da Mauro nell'A.A. 1891-92, a sette anni di distanza dal corso, del quale ci è rimasta testimonianza tramite gli appunti di cui si è parlato più su.

Il volume, per sottolineare l'intento riformatore del docente, è significativamente intitolato "Lezioni di chimica applicata" e non di docimastica, come sarebbe stato logico, considerando la denominazione della cattedra di cui Mauro era titolare e della disciplina presente nel corso di studio. Il testo che si compone di 70 lezioni, corredate di circa 50 figure e di innumerevoli tabelle, tratta con adeguato approfondimento della costituzione dei principali materiali e prodotti di interesse ingegneristico – acque, combustibili, leganti, laterizi, metalli e coloranti – evidenziandone le proprietà e deducendone gli ottimali utilizzi, in uno con l'illustrazione dei fondamenti della loro produzione e/o approntamento a livello industriale.

Orazio Rebuffat, ovvero la Chimica applicata dalle aule al laboratorio

La morte di Mauro non pose particolari problemi per la sua successione come docente del corso, che fu naturalmente assegnato per incarico al suo collaboratore Orazio Rebuffat (Colella et al., 2013), vicedirettore, all'epoca, del Gabinetto di Chimica docimastica.

Orazio Rebuffat

Orazio Rebuffat era nato a Messina il 7 settembre 1862. Compiuti gli studi tecnici, si iscrisse al corso di laurea in Scienze naturali della locale università, conseguendo la licenza nel 1881. Fu qui che incontrò Agostino Oglialoro Todaro (1847-1923) (Colella e Zingales, 2014), all'epoca Direttore del Laboratorio di Chimica generale, che, apprezzando le capacità del giovane, ne intravide un promettente avvenire come ricercatore e docente. Così, quando Oglialoro si trasferì a Napoli, nel 1881, sulla cattedra di Chimica, che era stata di De Luca, il giovane Rebuffat lo seguì e ne diventò prima "preparatore" (1882) e poi "coadiutore" (1884). Si era nel frattempo iscritto al corso di laurea in Chimica, conseguendo il titolo nel 1885. Inizialmente condusse ricerche nel campo della chimica organica, ma nel 1887 cambiò interessi e prospettive, passando dalla Facoltà di Scienze alla Scuola di Applicazione per gl'Ingegneri, dove assunse l'incarico di vice di Francesco Mauro, Direttore del Laboratorio di Chimica docimastica. Come detto, nel 1893, con la morte repentina di Mauro, ne ereditò il corso. Nel 1896 acquisì la libera docenza della materia. Nel 1902, a seguito di positivo esito di concorso, ricoprì la cattedra di Chimica docimastica in quella che nel frattempo era diventata la Scuola Superiore Politecnica di Napoli. Insegnò la disciplina[8] come titolare fino al 1922, quando decise di trasferire la titolarità della cattedra sul corso di Chimica tecnologica inorganica[9], che teneva per incarico già da alcuni anni. Rebuffat venne collocato a riposo, per raggiunti limiti di età, nel 1935; l'anno dopo fu nominato professore emerito. Morì a Napoli il 5 aprile 1938.

Orazio Rebuffat, che per la sua attività di docente e ricercatore ebbe numerosi riconoscimenti accademici anche a livello internazionale, fu un uomo di variegata e ampia cultura, che, travalicando l'ambito scientifico, spaziava nell'umanistico e soprattutto nell'arte. Fu sperimentatore di notevole caratura, analista di grande perizia (come il suo maestro Mauro), didatta di notevoli capacità. Relativamente all'attività scientifica, con Rebuffat si realizza la transizione della Chimica applicata da materia d'insegnamento a oggetto della ricerca. Mauro, infatti, era stato sostanzialmente un chimico inorganico ed aveva avuto limitate esperienze scientifiche nella materia che insegnava (nel campo delle acque potabili). Situazioni analoghe si rinvengono in altre sedi universitarie, nelle quali il docente di Chimica docimastica (o applicata, che dir si voglia) era quasi sempre un incaricato, che coltivava i suoi interessi scientifici nell'ambito della disciplina di titolarità (quasi sempre la Chimica). Rebuffat, invece, indirizzò la sua ricerca nei settori tradizionali della chimica materialistica, sperimentando in ciascuno di essi: sull'aria, sulle acque, sui combustibili, sul legno, sulla gomma e in genere sulle materie prime, ma anche e soprattutto sui materiali ceramici

industriali e artistici e sui leganti aerei e idraulici, in cui raggiunse una rinomanza a livello internazionale.

Per quel che riguarda la didattica, Rebuffat è inevitabilmente debitore del suo predecessore. La disciplina che insegnò, come testimoniano i libri di testo pubblicati[10], ha un infatti un profilo che differisce poco da quello di Mauro (e dai programmi svolti in altre sedi universitarie in quel periodo). Si può quindi parlare di un consolidamento del nuovo programma materialistico, inaugurato da Mauro.

Maria Aloe: una vita per la Scuola

Quando Rebuffat decise di cambiare insegnamento, passando a Chimica tecnologica, la Chimica docimastica passò ad una giovane assistente Maria Aloe (Colella, 2019), che ne ricevette l'incarico a partire dall'A.A. 1923-24. La Aloe è stata una delle prime laureate in chimica dell'Università di Napoli e seconda solo alla Bakunin come insegnante nella Scuola Superiore Politecnica di Napoli.

Nata incidentalmente a Caprino Veronese l'11 ottobre 1894 (la famiglia proveniva quasi certamente dalla Sicilia), la giovane compì una parte dei suoi studi a Palermo, dove si immatricolò nel 1912-13 in Chimica e dove frequentò i primi tre anni di corso. Trasferitasi poi, al seguito della famiglia, a Napoli, qui si laureò nel 1917. Fu assistente, aiuto e libero docente di Chimica docimastica, poi, come detto, iniziò ad insegnare come incaricata la materia, che assunse la denominazione definitiva di Chimica applicata a partire dall'A.A. 1935-36. L'insegnamento come incaricata si protrasse per quarant'anni, fino all'A.A. 1963-64. La Aloe fu attiva anche nella ricerca, soprattutto come collaboratrice di Rebuffat fino alla fine degli anni '20. Sul finire del 1930, infatti, la studiosa, pur procedendo con la docenza della Chimica applicata, che si protrasse, come detto, quasi per l'intera vita, lasciò il ruolo di assistente universitario e intraprese la carriera di docente nelle scuole secondarie, specificamente nell'Istituto tecnico industriale "Alessandro Volta" di Napoli, dove insegnò Chimica, Analisi chimica generale ed Elettrochimica, fino alla pensione, decorsa dal 1958. Maria Aloe morì a Napoli il 10 maggio 1982. Non si era creata una famiglia, aveva dedicato tutta se stessa alla Scuola con passione e abnegazione. Fece parte di commissioni di esame all'università ben dopo il suo pensionamento, a dimostrazione ultima della missione di educatrice, cui si era votata per tutta la vita.

Maria Aloe

Svolse un corso di Chimica applicata nell'alveo tracciato dai suoi predecessori, ma ebbe il merito di approntare un manuale, a partire dal 1946, poi più volte aggiornato e arricchito rispetto a quelli pubblicati in precedenza, che fu molto apprezzato e sopravvisse per qualche anno alla stessa autrice.

Riccardo Sersale: l'ultimo interprete della Chimica applicata "classica"

Nel corso degli anni, in cui insegnò Maria Aloe, intervenne un fatto nuovo: la disciplina nel 1952-53 fu sdoppiata, distinguendo il corso per gli ingegneri industriali da quello degli ingegneri civili[11]. La Aloe mantenne l'incarico per gli industriali, mentre il nuovo corso andò ad Antonio Giannone (1911-1955), un allievo di Malquori, che lo tenne fino all'A.A. 1954-55[12]. L'insegnamento fu allora assegnato, nel 1955-56, a Riccardo Sersale, che fece così il suo esordio nella lunghissima carriera di docente in facoltà d'Ingegneria.

Riccardo Sersale era nato a Napoli il 14 aprile 1921 in una delle più antiche e nobili famiglie napoletane. Dopo gli studi medi, il giovane si iscrisse al corso di laurea in Chimica, acquisendone il titolo nel 1943. Iniziò quindi una collaborazione scientifica con l'Istituto di Chimica industriale della Facoltà d'Ingegneria, diretto da Giovanni Malquori (1900-1967), che diventerà il suo maestro. Nel 1948 diventò assistente, aiuto nel 1954, libero docente di Chimica applicata nel 1955. Nello stesso anno, come detto, iniziò il suo magistero di docente con la Chimica applicata e, contemporaneamente, con la Chimica industriale, magistero che sarebbe durato quasi quaranta anni. Nel 1962, vincitore di concorso, andò a ricoprire a Bari la cattedra di Tecnologia dei materiali e Chimica applicata. Rientrò a Napoli nel 1967, con la scomparsa del suo maestro, sulla cattedra di Chimica applicata, che conserverà fino al fuori ruolo nell'A.A. 1990-91[13]. Nel 1994 gli venne conferito il titolo di Professore emerito. Numerosi i riconoscimenti collezionati nel corso della sua lunga vita professionale, per i quali si rimanda al suo profilo biografico (Colella, 2015). Morì a Napoli il 6 aprile 2013.

Riccardo Sersale

L'attività didattica di Sersale si dispiegò nell'alveo contenutistico tracciato dai suoi predecessori, seppure con i dovuti aggiornamenti (il docente fu anche autore di monografie su "Silicio, composti e derivati", 1969, e "Materiali ceramici ordinari e speciali", 1975), consolidando le fondamenta del sapere materialistico, che è parte integrante della cultura dell'ingegnere. Ma Sersale fu anche, sulle orme di Orazio Rebuffat, un apprezzato studioso di Chimica applicata, autore di oltre trecentocinquanta memorie a stampa, accolte su riviste italiane ed estere nel settore delle relazioni fra costituzione chimica, struttura e proprietà di materiali e prodotti inorganici di interesse ingegneristico (Colella, 2015).

Conclusioni

Con l'affermazione e il consolidamento dell'insegnamento di Chimica applicata, si va verso l'introduzione della Scienza e tecnologia dei materiali, con la quale si con-

clude il percorso che ha portato la disciplina, originariamente introdotta dalla legge Casati, ad una decisa evoluzione, da un approccio macroscopico e fenomenologico nello studio dei materiali ad una disamina a livello strutturale e microstrutturale delle loro proprietà e del loro impiego.

È quanto si dirà nella terza parte di questo lavoro, in uno con la disamina degli "altri" corsi di chimica svolti in facoltà d'Ingegneria, non nella sua generalità, ma in contesti più settoriali (principalmente nell'ambito dell'Ingegneria chimica).

Bibliografia

Colella C. 2015. Riccardo Sersale. *Profili e Ricordi, Soc. Naz. di Scienze, Lettere ed Arti in Napoli*, N° 39, 61 pp.

Colella C. 2017. Sebastiano De Luca, riformatore della chimica napoletana agli albori dell'Italia unita. *Atti Accademia Pontaniana*, n. s., 65, 187-275.

Colella C. 2018. Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte prima: Dal decennio francese alla riforma Casati. Proceedings of the 3rd International Conference of History of Engineering (S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano eds.), Naples, April 23rd-24th, II, 257-266. Napoli: Cuzzolin.

Colella C. 2019. La Bakunin e poi? La chimica al femminile a Napoli nel primo Nove-cento. *Atti Accademia Pontaniana*, n. s., 67, 245-252.

Colella C., D'Auria M. 2016. *La Chimica Docimastica di Francesco Mauro*. Potenza: EditricErmes, pp. 28-37.

Colella C., Masini N. 2014. Francesco Mauro: la vita e le opere. In *Francesco Mauro, un chimico lucano* (a cura di M. D'Auria, C. Colella, N. Masini). Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane, pp. 57-86.

Colella C., Zingales R. 2014. Agostino Oglialoro Todaro, allievo di Paternò e mentore di Marussia Bakunin. *Atti Accademia Pontaniana*, n. s., 62, 139-161.

Colella C., Caputo D., Piscopo D. 2013. Orazio Rebuffat: l'educatore, il tecnologo, l'intellettuale. *Atti Accademia Pontaniana*, n. s., 61, 247-275.

Malquori G. 1939. Chimica Applicata. In *Un secolo di progresso scientifico italiano. 1839-1939*, Roma: Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Vol. II, pp. 379-392.

Mauro F. 1892. *Lezioni di Chimica Applicata*, Napoli: Lit. Velocior, pp.592 + 80.

Russo G. (a cura di) 1967. *La scuola d'Ingegneria in Napoli 1811-1967*. Napoli: Istituto Editoriale del Mezzogiorno, p. 243.

Sobrero A. 1877. *Lezioni di Chimica docimastica*. Torino: Ermanno Loescher, 952 pp.

Note

1. Si tratta del Regio D. L. 13 novembre 1859, n. 3725, dovuto a Gabrio Casati (1798-1873), ministro della Pubblica Istruzione del I governo La Marmora, il penultimo prima della proclamazione del Regno d'Italia. La legge entrò in vigore nel 1861.
2. "Chimica applicata" è una denominazione generica di un insieme di discipline, aventi come oggetto lo studio della natura, dell'origine, della costituzione e degli usi di sostanze e composti di interesse in vari settori applicativi, quali la medicina, la farmaceutica, l'agronomia ed altri (vedi, ad esempio, Sobrero, 1877).
3. Parecchi dei suoi nove fratelli, intrapresero solide carriere professionali. Il primo, in particolare, Francesco (1811-1875), fu un personaggio di rilievo assoluto, che ebbe un ruolo

significativo in non poche vicende che riguardano il nostro Risorgimento. Laureato in legge, fu insigne avvocato, partecipò, insieme a due fratelli, all'insurrezione del 15 maggio 1848, ebbe parte rilevante (e critica) nella vicenda del plebiscito di annessione del Mezzogiorno d'Italia al Regno di Sardegna, fu, infine, deputato al Parlamento dell'Italia unita e sodale di Francesco De Sanctis.

4. Si trattò di una fulminea operazione, messa in atto da Francesco De Sanctis, fresco direttore della Pubblica Istruzione nella compagine governativa del "dittatore" Garibaldi, che portò alla destituzione di gran parte dei cattedratici napoletani, ritenuti non degni di essere interpreti del prestigio e della storia dell'università napoletana.
5. Nei ricordi di molti colleghi la sua attitudine all'analisi viene spesso qualificata con attributi altisonanti, come "elegante" o addirittura "prodigiosa".
6. Il riferimento alla "chimica igienica" rimanda a due argomenti di grande interesse tecnico, ma di immediata ricaduta sociale: la salubrità dell'aria e la potabilità dell'acqua.
7. Per la verità la riforma dei programmi di quella che era ancora denominata Chimica docimastica non fu merito esclusivo di Mauro, perché la transizione verso la Chimica applicata riguardò più o meno nello stesso periodo quasi tutte le sedi universitarie, in cui esisteva una Scuola di Applicazione per gli Ingegneri. Anzi, a Torino Ascanio Sobrero (1812-1888), forte della sua pregressa esperienza di docente di Chimica applicata (alle arti) nelle Regie Scuole tecniche, aveva svolto un programma "materialistico" di Chimica docimastica già nel 1860, a partire dall'inizio della sua docenza nella Scuola di Applicazione. Sobrero fu anche autore di un manuale di Chimica docimastica, uscito nel 1877, verosimilmente il primo pubblicato in Italia, che è però un testo di pura narrazione, stenografato da due studenti alle sue lezioni, che contiene poche figure, nessuna tabella e nessuna formula chimica! Ben diverso dunque dal testo di Mauro. Secondo Malquori (1939) il primo ad introdurre la denominazione di Chimica applicata, invece di docimastica, fu Augusto Piccini (1854-1905) a Roma.
8. È opportuno precisare che, con il cambio del programma del corso, la disciplina fu sempre più frequentemente denominata Chimica applicata, perfino negli annuari dell'università. Nei primissimi anni del '900 le due denominazioni si alternarono o convissero, poi prevalse, anche ufficialmente, quella più aderente al nuovo spirito del corso.
9. Il corso di Chimica tecnologica (inorganica + organica) fu l'antesignano della Chimica industriale. Venne introdotto all'inizio del '900 quando nelle Scuole Politecniche fu istituita la sezione industriale, accanto alla tradizionale Ingegneria civile. Pur se formalmente diverso dalla Chimica applicata, di fatto ne includeva gran parte del contenuto.
10. Paradossalmente il nome della materia che insegnava era così poco significativo e intercambiabile che addirittura Rebuffat pubblicò nel corso di circa un ventennio tre testi in dispense manoscritti e litografati, che trattano argomenti praticamente identici, pur avendo titoli diversi: è dei primi anni '90 (comunque dopo la scomparsa di Mauro) un testo di "Chimica applicata", del '98 un corso di "Chimica per gli allievi della R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri" e del 1913 un manuale di "Chimica docimastica".
11. Nel 1960-61 il corso per civili cambiò denominazione, assumendo quella attuale di Tecnologia dei materiali e Chimica applicata. Dopo la docenza di Sersale, il corso fu affidato per incarico prima a Rosario Aiello (vedi anche nota 13) fino al 1967-68, poi a Bernardo Marchese (1928-2011), che lo tenne per incarico fino al 1974-75 e successivamente in qualità di professore ordinario fino al pensionamento. Marchese, che dette al corso un'interpretazione più aderente alla cultura dell'ingegnere civile, pubblicò nel 1972, un

apprezzato manuale, che recava lo stesso titolo del corso.
Nell'A.A. 1975-76 il corso di Tecnologia dei materiali e Chimica applicata fu sdoppiato, causa il notevole numero di studenti iscritto ad Ingegneria civile, ed il nuovo insegnamento andò a Gianlorenzo Valenti, che lo tenne fino a quando, nel 1990-91, si trasferì nell'Università della Basilicata come titolare della cattedra omonima

12. Antonio Giannone morì prematuramente nel 1955, quando aveva da poco vinto il concorso a cattedra di Chimica applicata (per civili) presso l'Università di Bari.
13. Per completezza di informazione occorre aggiungere quanto segue. Quando l'Aloe lasciò l'insegnamento per decorsi limiti di età, il corso di Chimica Applicata per ingegneri industriali venne affidato per incarico a Paolo Giordano Orsini (1926-1996) – un chimico fisico, poi titolare di Chimica prima all'Accademia Aeronautica di Pozzuoli (1964), poi a Ingegneria di Napoli (1971), prima di trasferirsi all'Università di Trento (1985) – che lo tenne per un biennio (1964-1966); venne poi insegnato per un anno (1967-68) da Giosafatte Mondelli, prima di essere ricoperto come cattedra da Riccardo Sersale.
Nell'A.A. 1972-73 il corso di Chimica Applicata fu triplicato, visto il gran numero di studenti, che lo frequentava. Riccardo Sersale tenne l'insegnamento per allievi ingegneri chimici, mentre gli altri due corsi, destinati ai meccanici e agli aeronautici e navali, vennero affidati per incarico. Il corso per meccanici andò a Rosario Aiello, che lo tenne fino all'A.A. 1974-75, prima di andare a ricoprire la cattedra di Chimica applicata presso l'Università della Calabria, poi passò a Carmine Colella, che lo tenne fino al 1985-86, quando si trasferì in cattedra all'Università de L'Aquila. Il corso per aeronautici e navali venne invece affidato a Vittorio Sabatelli (1930-1992), che lo tenne per incarico, prima di ricoprirlo come professore ordinario a partire dal 1980-81.

Claudia Tacchella

Matthew Baker (1530-1613) e la nascita dell'ingegnere navale

Abstract
The 17th century was a period of great development for England, which reached a leading role among the European powers. In a few decades the British navy underwent major changes due to the creation of the Royal Navy and the figure of Matthew Baker, a young Master Shipbuilder. Baker's contribution concerns the method of approach to shipbuilding and the birth of a new professional figure: the naval engineer. Baker opposed tradition based only on experience; in order to verify the nautical qualities of a ship in a "scientific" way, he believed it necessary to combine an in-depth study of mathematics and geometry with an understanding of the shipbuilder's construction process. As a result, Baker's work led to the realization of construction plans and the presence of the naval engineer in the shipyard, who became both the custodian of the science of shipbuilding and the real ship designer. Thanks to Baker, after a few years this new figure became part of the social elite of the English Crown as a link between the administrative part managed by the nobles and the work of the yard.

Introduzione
La costruzione navale ha vissuto, durante i secoli ma soprattutto nel Rinascimento, profondi cambiamenti nelle tecniche e nelle tecnologie costruttive, nell'uso dei materiali e nelle tipologie di imbarcazioni: un processo che è continuato fino ai giorni nostri. La sua storia è quindi costellata di innovazioni, invenzioni e personaggi che hanno portato allo sviluppo della costruzione navale in senso moderno. Tra i tanti personaggi che hanno attraversato questa storia, di fondamentale importanza è la figura di Matthew Baker (1530-1613), maestro carpentiere della Corona inglese sotto Elisabetta I (1533-1603). Egli, con le sue idee innovative in merito alla redazione del progetto navale, diede un contributo importante all'affermazione della *Royal Navy* come potenza marittima europea e a una trasformazione della figura cardine dei cantieri navali dell'epoca, il maestro d'ascia, che diventò in seguito ingegnere navale.

Le flotte europee del XVI secolo
Il XVI secolo si aprì in un clima di grande fermento generale: le scoperte geografiche spinsero, infatti, le potenze europee al desiderio di conquista delle nuove terre.

L'attenzione dei Ministeri della Marina fu volta alla formazione delle flotte navali, che dovettero necessariamente essere rivoluzionate poiché le vecchie imbarcazioni mediterranee si dimostrarono inadeguate a solcare gli oceani. La costruzione di nuove imbarcazioni per percorrere le rotte oceaniche sollevò nuove istanze ai costruttori navali: la necessità di sostenere viaggi a lunga distanza sopportando le difficili condizioni meteo-marine oceaniche comportava la realizzazione di navi più grandi e capienti. Nondimeno, le lunghe rotte richiesero navi sempre più veloci, con una maggiore potenza velica, e ben presto, per difendere le navi che percorrevano queste lunghe rotte, si rese anche necessaria l'introduzione dell'artiglieria pesante su più ponti. Ciò impose una rivoluzione delle forme consolidate nella tradizione costruttiva navale dei cantieri europei.

Una fra le prime potenze navali che sviluppò queste nuove navi fu quella spagnola. Sul finire del XVI secolo, infatti, Re Filippo II di Spagna (1527-1598), con l'intento di rimarcare la primazia della fede cattolica anche in Inghilterra e nel contempo arrestare la volontà di espansione della nascente potenza inglese, creò una flotta talmente imponente da indurre il sovrano a chiamarla *Invincibile Armada*. Tale flotta era composta da più di 130 imbarcazioni, con oltre 3.000 cannoni, quasi 9.000 marinai e più di 21.000 soldati, tanto che pare non vi fosse famiglia in Spagna che non avesse almeno un membro imbarcato. L'intera flotta si dice che contasse 32.000 persone e che costasse ogni giorno 30.000 ducati (Pine, 1878). Le imbarcazioni che formavano la flotta spagnola erano per la maggior parte caracche, navi strette e lunghe realizzate con strutture imponenti e pesanti per sostenere il peso dei numerosi cannoni imbarcati. Parallelamente al regno spagnolo, vi erano altre potenze che si stavano adoperando per creare potenti flotte, come la Francia, con l'intento comune di creare un'alleanza politico-militare per contrastare l'Inghilterra. La preparazione della flotta inglese iniziò relativamente tardi, il 1° novembre 1587, e ciò nonostante essa fu pronta in mare già il 20 dicembre dello stesso anno (Laughton, 1894). L'Inghilterra fu così in grado di contrastare il tentativo di invasione spagnola anche se, nonostante l'esito positivo che arrise alla flotta inglese nella battaglia navale di Gravelines il giorno 8 del mese di agosto del 1588, era chiaro che in termini di potenza militare la Spagna risultava ancora superiore rispetto all'Inghilterra. Difatti, delle 226 imbarcazioni inglesi che si riunirono per lo scontro, solo 34 erano effettivamente navi di proprietà della Regina, mentre le restanti appartenevano a privati cittadini.

L'Inghilterra aveva cominciato già dalla metà del '500 a espandere la sua rete commerciale verso le nuove rotte atlantiche e fu proprio durante il periodo Tudor (1485-1603, compreso il regno di Elisabetta I) che iniziarono a svilupparsi i cantieri navali. In particolare fu durante il regno di Enrico VIII (1491-1547) che si ebbe la massima espansione della marina inglese a livello sia territoriale che amministrativo, sebbene non si possa con certezza attribuirgli la creazione della *Royal Navy* intesa in senso moderno (Oppenheim, 1896). La rivalità con la flotta spagnola evidenziò

maggiormente l'importanza di possedere una potente marina sempre a disposizione; in riferimento a ciò si deve comunque considerare che le imbarcazioni inglesi perennemente in servizio nel 1588 erano meno di 60 unità, e comportarono solo in quell'anno un esborso di ben 91.000 sterline per il loro mantenimento in servizio (Loades, 1992). L'era elisabettiana (1558-1603), anche nota come "*the golden age*", e più in generale il periodo Tudor, fu quindi uno dei momenti di maggior sviluppo della costruzione navale anglosassone, sia in campo militare che mercantile.

La costruzione navale inglese

L'imbarcazione che dominò i mari nel XV secolo fu la caracca, che agli albori del '500 era ancora la tipologia predominante anche se durante quello stesso secolo, in Inghilterra fu sostituita dal galeone,. Era, ad esempio, una caracca la *Mary Rose* (1510), di 600 tonnellate, famosa perché colata a picco nel suo primo scontro contro la flotta francese, il 19 luglio 1545, e per il successivo ritrovamento del suo relitto, nel 1836, che fu recuperato nel 1970. La caracca era dotata generalmente di più alberi, armati con vele quadrate sul bompresso e sull'albero di maestra e vela latina sull'albero di mezzana, verso poppa; quest'ultima era di forma squadrata, innovazione rispetto alle precedenti poppe rotonde. La particolarità della caracca era di avere alti castelli sia a poppa sia a prua, per agevolare nel combattimento ravvicinato gli arcieri imbarcati a bordo e per attaccare il ponte nemico (Childs, 2009). Le imbarcazioni erano generalmente realizzate con il metodo di costruzione *carvel*, anche detto "*skeleton construction*", sviluppato nel Mediterraneo in epoca medievale e adottato anche nel nord dell'Europa dalla prima metà del XVI secolo, che soppiantò la costruzione *clinker* per tutti i tipi d'imbarcazioni, eccetto per quelle più piccole. Questo cambiamento era dovuto al fatto che attraverso il metodo *carvel* si realizzavano scafi dalle superfici continue, più lisce, e con una struttura più robusta, notevolmente più adatta a resistere ai grandi sforzi che l'imbarcazione doveva sopportare durante le traversate oceaniche. Seguendo il metodo *carvel*, la prima operazione svolta per la realizzazione di un'imbarcazione era la costruzione della chiglia; in seguito si procedeva disponendo l'ossatura trasversale, cioè la *costole* o *staminali*, e solo alla fine si applicava il fasciame che aveva la funzione di rivestimento dello scafo. Viceversa, il metodo *clinker* prevedeva la realizzazione prima dell'ossatura esterna, rinforzata successivamente dalle costole interne. Con il metodo *carvel*, quindi, lo scafo era modellato in base alla forma delle costole e la prima a essere realizzata era quella a centro nave, in coincidenza della sezione maestra; da questo staminale si determinavano le altre sezioni e dipendeva in parte l'efficienza strutturale della nave.

I maestri d'ascia, incaricati di gestire l'intero processo costruttivo che portava alla realizzazione della nave, vissero una profonda trasformazione del loro mestiere dal XVI al XVIII secolo. Agli albori del 1500, infatti, essi utilizzavano alcune regole non scritte di proporzione tra lunghezza, larghezza e altezza dello scafo, seguendo

una "*rule-of-thumb*", basandosi principalmente sulla loro esperienza, sul loro occhio allenato e sulla tradizione che si tramandavano gelosamente tra artigiano esperto e allievo. La praticità del loro lavoro e l'utilizzo solamente di alcuni dettami teorici fanno capire come la preparazione di tale figura professionale non comprendesse un'approfondita conoscenza delle matematiche e non richiedesse necessariamente neanche l'alfabetizzazione. Dato che non vi erano calcoli matematici a sostegno delle forme realizzate, se non un uso delle proporzioni basate su semplici calcoli aritmetici, e che le stime sulla quantità del materiale erano approssimative, non era insolito dover procedere alla correzione di alcuni elementi costruttivi delle navi successivamente al varo; uno di questi accorgimenti prendeva il nome di "*girdling*" (Westcott, 1948) e consisteva nell'aggiungere uno strato di tavolato al fasciame in corrispondenza della linea di galleggiamento in modo da aumentare la stabilità dell'imbarcazione. Senza dettami precisi, le imbarcazioni realizzate erano pressoché opere uniche e non identicamente ripetibili anche se simili. Il capitano George Waymouth (c. 1585-c. 1612), navigatore esperto e considerato un'autorità nella costruzione navale, criticò severamente i maestri d'ascia contemporanei affermando, nel suo manoscritto *The jewell of Artes* (1604):

> *"Yet could never see two ships builded of the like proportion by the best and most skilful shipwrights ... because they trust rather to their judgment than their art, and to their eye than their scale and compass."* (Oppenheim, 1896)
>
> [Trad.] *Non ho mai potuto vedere due imbarcazioni costruite con le medesime proporzioni realizzate dai migliori e più esperti maestri d'ascia ... perché essi si affidano più al loro giudizio che alla loro arte, e più al loro occhio che alla loro scala e ai loro compassi*.

La dimensione principale utilizzata per la realizzazione dell'imbarcazione era la larghezza della sezione maestra, a partire dalla quale erano calcolate la lunghezza e la profondità dello scafo, ed era quindi la sezione maestra che dava forma al corpo nave. Per determinarne la forma si procedeva realizzando un modello di legno a grandezza naturale. Data la fatica e la quantità di materiale impiegate per ottenere questi modelli, una volta terminati, li si conservava e li si adoperava per la realizzazione di tutte le altre sezioni dell'imbarcazione; si procedeva quindi per successive proporzioni apportando aggiustamenti in modo tale da ottenere il restringimento della carena e la forma che ne conseguiva a poppa e a prua.

Le operazioni per calcolare il restringimento delle sezioni e l'innalzamento rispetto alla chiglia, la cosiddetta *stella* di prua e di poppa, erano un'altra fase importante della costruzione navale. Vi erano diverse tecniche utili a questo fine, in particolare quella chiamata *mezzaluna*, utilizzata anche dai portoghesi, che la chiamavano *meia luna*, e dai cantieri inglesi, dove era detta *whole-moulding*. Questo metodo utilizzava

dei supporti geometrici tridimensionali per determinare le forme dello scafo e, anche in questo caso, i risultati erano stabiliti tramite il confronto con i modelli realizzati in scala 1:1 (Siegert, 2015). Non vi erano calcoli matematici a guidare la riduzione delle sezioni verso le estremità, ma si procedeva attraverso leggere graduazioni definite sulla base di regole e proporzioni, direttamente applicate sui modelli.

Queste operazioni, che avevano lo scopo di controllare e prevedere i risultati desiderati, precedevano le operazioni di costruzione di un'imbarcazione. Tuttavia, rimane difficile individuare una fase di progettazione pura intesa in senso moderno, che fosse quindi completamente separata dalla fase di costruzione, soprattutto considerando che l'intero processo di realizzazione di un'imbarcazione era gestito da un'unica figura, il maestro d'ascia. Si può perciò affermare che per quanto la realizzazione di una nave fosse composta di successive operazioni di studio, prova e realizzazione, il processo costruttivo rimaneva unitario e non scindibile nettamente in due distinte fasi.

I maestri d'ascia, sebbene principali personaggi del mondo frenetico e lavorativo del cantiere navale, non erano tuttavia semplici artigiani con rudi competenze pratiche. Al contrario, essi dovevano avere capacità di gestione e organizzazione del lavoro, oltre ovviamente alle conoscenze relative alla costruzione navale, che iniziava con la scelta del legname nei boschi e terminava con il varo della nave. Era anche compito loro sovraintendere all'allestimento di cantieri navali, pontili e scali. Proprio per questo erano al vertice della gerarchia interna al cantiere, con retribuzioni superiori rispetto agli altri artigiani navali, circa il doppio. Inoltre, giacché nel XVI secolo si rese necessario per la Corona inglese possedere una flotta sempre in attività, la figura del maestro d'ascia divenne ancora più importante: più era esperto e capace, migliore era il risultato ottenuto nel cantiere. Non è un caso, infatti, che nel 1605 lo *status* di questi esperti costruttori fu elevato a un rango superiore rispetto al semplice artigiano e ufficialmente riconosciuto come corpo indipendente nominato *Company of Shipwrights*. Anche economicamente la loro paga fu aumentata da 1 scellino al giorno, stabilito nel 1570, a 2 scellini e ancora, nel 1605, venne introdotta la "*exchequer pay*"[1], che la aumentava ulteriormente di 1 scellino al giorno (Westcott, 1948).

Matthew Baker, il personaggio

È in questo clima di grande fermento che si forma e si fa strada nel mondo dei cantieri navali Matthew Baker. Nato nel 1530 a Deptford, era figlio di James Baker, maestro d'ascia sotto Enrico VIII, che dimostrò la sua abilità come costruttore navale, essendo ricordato come il primo a introdurre, nelle navi inglesi, un sistema di boccaporti sulle murate per consentire di disporre anche l'artiglieria pesante nei ponti inferiori (Oppenheim, 1896). L'efficacia delle imbarcazioni pensate apposta per il combattimento, rispetto a quella delle unità adibite all'attività mercantile, permise a James Baker di diventare uno fra i primi *Master Shipwrights* (Perrin, 1874), ottenen-

do il brevetto il 20 maggio 1538. Questo titolo gli fu concesso dal re che, con la sua aggressiva politica di ricerca di un predominio in Europa, aveva capito l'importanza della marina e, attraverso l'assegnazione di una rendita annuale, assicurava alla Corona i servizi di competenti "architetti navali".

Matthew Baker iniziò il suo apprendistato nel 1544 (Knighton e Loades, 2011) come allievo del padre nei cantieri di Deptford e Woolwich. Durante gli anni 1550-51, Baker fu imbarcato sulla *Barke Aucher* (Hakluyt, 1599) e compì un viaggio nel Mediterraneo, dove osservò e apprese il metodo di progettazione e costruzione navale dei cantieri del sud Europa, tra i quali quelli di Genova e Venezia. Quando ritornò in patria, fu pronto a iniziare la sua carriera da maestro d'ascia (Blatcher, 2017). Una fra le prime imbarcazioni da lui realizzate fu la nave da guerra *Foresight*, di oltre 250 tonnellate[2] (Perrin, 1874), costruita a Deptford nel 1570, che imbarcava 160 uomini e circa 30 cannoni e che rispetto alle altre imbarcazioni dell'epoca aveva il castello di prua in posizione arretrata e uno scafo più affusolato e sottile, con la parte inferiore modellata per fornire una minore resistenza al vento; queste modifiche segnarono le linee guida per la progettazione delle imbarcazioni nella tarda era elisabettiana (Blatcher, 2017). Le sue brillanti doti di costruttore navale furono riconosciute dalla Corona inglese, che lo nominò capo del cantiere a Chatham e gli assegnò il titolo di primo *Royal Master Shipwright*, il 29 agosto 1572. Fu responsabile della ricostruzione di molte imbarcazioni realizzate sia per la Marina inglese, come la *Revenge* (1577) di 500 tonnellate e la *Vanguard* (1586) di circa 650 tonnellate, sia su commissione privata, come la *Bear* (1578), da 600 tonnellate, poi divenuta *Galleon Leicester* (Knighton e Loades, 2011). Nel 1578 Baker era ormai un affermato maestro d'ascia e iniziò a dirigere la manutenzione ordinaria della flotta stanziata nella parte del cantiere di Chatham che rientrava nei confini della città di Gillingham (Johnston, 1994). Nel 1588, Baker e suo fratello maggiore, Christopher, furono invitati a far parte di una commissione per progettare tre unità, insieme ad altre importanti figure come Sir John Hawkins (1532-1595), Richard Chapman (1520-c. 1592) e William Borough (1536-1599). Il risultato fu la realizzazione, nel 1589, di due pinacce, piccole imbarcazioni mercantili: la *Defiance* da 700 tonnellate e la *Guardland* (o *Garland*) da 500 tonnellate; fu realizzata anche una imbarcazione di 800 tonnellate, la *Merhonour*, assegnata come capitana della spedizione del 1596 per intercettare una grande flotta spagnola inviata contro l'Irlanda. La *Merhonour*, lunga 33,5 metri, larga 11,3 metri e con un'immersione di oltre 5 metri, ricostruita nel 1613 per rientrare nel modello del *race-built galleon* come avvenne per molte imbarcazioni inglesi agli inizi del XVII secolo con l'intento di ottenere una maggiore omogeneità nella flotta (Winfield, 2010), era considerata nel 1635 ancora come una delle unità più veloci della Marina inglese (Oppenheim, 1896).

Il 22 aprile 1605, sotto il regno di Giacomo I d'Inghilterra (1566-1625), l'importanza di Baker per la Corona come capo della 2*Art or Mystery of building and*

making of Ships" fu ulteriormente confermata dal titolo di *First Master* della appena fondata *Company of Shipwrights* (Perrin, 1874), formata da un *master*, quattro sovraintendenti e dodici assistenti. Matthew Baker morì all'età di 83 anni, ancora nel pieno dell'attività lavorativa, il 31 agosto 1613. Nel suo testamento datato 24 agosto 1613, Baker lasciò al suo amico John Well, oltre a numerosi documenti da lui redatti, una raccolta di scritti sulla costruzione navale che aveva iniziato a redigere nel 1572 circa (Knighton e Loades, 2011). Questo manoscritto fu acquisito da Samuel Pepys (1633-1703) nel 1664 e da lui intitolato *Fragments of Ancient English Shipwrighty*.

Una nuova progettazione, alle origini dell'ingegneria navale

In un'epoca in cui i maestri d'ascia poggiavano il loro lavoro sull'esperienza e sulla tradizione, la figura di Matthew Baker risultò rivoluzionaria. Le sue conoscenze di aritmetica lo portarono a criticare fermamente il modo di lavorare dei maestri d'ascia a lui contemporanei; egli sosteneva che le regole di proporzione e la fiducia cieca nell'esperienza erano da considerarsi insufficienti. Baker propose una nuova metodologia che, basandosi sull'applicazione delle matematiche e della geometria, permetteva di prevedere, con sempre maggior certezza, la possibilità di ottenere risultati ottimali nella progettazione navale. Questo suo cambiamento di approccio alla costruzione navale, non solo fu un passo in avanti verso una metodologia più "scientifica", ma permise di iniziare a tracciare quella linea che oggi divide in maniera chiara il momento della progettazione da quello della costruzione. Infatti, Baker, stabilì che il processo di progettazione, consistente nel piano dettagliato dell'imbarcazione, a sua volta basato su calcoli matematici e geometrici, doveva necessariamente precedere quello della costruzione, così come riportato nel suo compendio *Fragments of Ancient English Shipwrightry* (c. 1588), il cui scopo era proprio quello di dimostrare l'importanza e i vantaggi dell'applicazione della matematica e della geometria nelle fasi di studio della forma dell'imbarcazione. Ecco quindi che, grazie a questo nuovo approccio metodologico, la progettazione, prima momento indissolubile dalla realizzazione pratica degli elementi costruttivi di una nave, trova una sua propria identità, scindendosi dal mondo degli artigiani e collocandosi sulla carta attraverso la mediazione delle matematiche. È, infatti, su carta che sono eseguiti i calcoli matematici e rappresentati i modelli geometrici, con una attenzione diversa a problemi fino ad allora affrontati empiricamente. Questo cambio di paradigma fa sì che anche la figura del maestro d'ascia trovi una sua nuova identità, separata dal frenetico mondo del cantiere navale e collocata da lì in avanti in uno spazio chiuso e delimitato, come quello dello studio del progettista. Uno dei vantaggi più evidenti della progettazione su carta è il fatto di rendere la fase successiva della sperimentazione relativamente economica rispetto al passato: se precedentemente, per testare qualsiasi modifica, era necessaria la realizzazione di un prototipo, con Baker sono sufficienti un calcolo, un disegno e una analisi dei risultati conseguiti, risparmiando tempo e materiale prezio-

so. Lo stesso Baker utilizzò proprio il suo manoscritto *Fragments ...* per valutare, in maniera sistematica, la variazione di alcuni rapporti dimensionali, sperimentando diversi disegni della stessa sezione maestra di una nave, ognuna con un rapporto leggermente differente dagli altri (Baker, c. 1588).

Un altro aspetto della vita del maestro d'ascia radicalmente modificato da Baker fu l'insegnamento. Secondo la tradizione, la formazione professionale dell'apprendista costruttore navale si svolgeva direttamente nel cantiere navale e si basava principalmente su osservazione e imitazione delle operazioni svolte dal maestro all'opera durante le ore di lavoro, facendo della costruzione navale un'arte puramente pratica e fondata sulla trasmissione orale dei saperi. Con l'avvento della carta nel mondo del cantiere navale, l'allievo ebbe un nuovo mezzo a sua disposizione: il testo scritto. Questo strumento inoltre, prevedeva un tipo diverso e più elevato di preparazione, in quanto, per comprendere le informazioni riportate su carta, era necessario che l'apprendista fosse non solo alfabetizzato, ma che avesse anche conoscenze di base di aritmetica e padronanza delle tecniche di disegno. Il mondo pratico ed empirico dell'artigiano iniziò così ad allontanarsi sempre di più da quello del progettista, tanto che la figura del maestro d'ascia si elevò nella gerarchia del cantiere, verso il futuro architetto navale.

Un successivo riscontro si ebbe in termini amministrativi. Infatti, la realizzazione di tavole che rappresentavano le imbarcazioni da costruire fu molto apprezzata dagli ufficiali della Marina inglese che, non avendo necessariamente una preparazione pratica e tecnica sul modo di costruire un'imbarcazione, avevano comunque il compito di decidere quanti e quali finanziamenti stanziare per la realizzazione di una nuova unità. L'immediatezza comunicativa delle tavole disegnate riusciva, infatti, a colmare quelle lacune di nozioni specialistiche che potevano avere i *Lords* del *Navy Board*, e più in alto il *Privy Council*, riuscendo meglio a comprendere i dettagli tecnici della costruzione, le prestazioni desiderate e la valutazioni dei costi, permettendo perciò una valutazione più ponderata per decidere se avviare o meno la costruzione dell'unità in esame. Nel 1588 gli alti ufficiali della Marina inviarono una lettera ai tre *Royal Master Shipwrights*, Phineas Pett (1570-1647), Richard Chapman (1520-c. 1592) e allo stesso Baker, che richiedeva:

> "*The Plats [drafts] of the Ships, Galleasses and Crompsters that were lately determined to be built should be set out fair in Plats and brought to my Lord Admiral that her Majesty may see them.*" (Johnston, 1994)
>
> [Trad.] *Le Tavole di navi, galee e imbarcazioni da guerra che si è successivamente deciso di costruire dovrebbero essere mostrate ordinatamente in Tavole e portate al mio Lord Admiral in modo che sua Maestà possa vederle*.

Ancora, nel gennaio del 1612 il principe di Galles, Enrico Federico Stuart (1594-1612), che voleva stimolare la costruzione di navi in Irlanda, ordinò che i maestri

d'ascia si facessero partecipi di proporre diverse soluzioni di nuove navi e presentassero le tavole illustrative delle imbarcazioni proposte, di modo che Sua Altezza potesse scegliere con maggior facilità quelle più idonee (Perrin, 1874). Attraverso questo procedimento, i maestri d'ascia acquisirono un ulteriore valore all'interno del processo complessivo di sviluppo nella costruzione di un'imbarcazione, ossia diventarono la figura di collegamento tra il cantiere navale e l'autorità governativa, accrescendo così il loro prestigio personale.

Baker elaborò diversi strumenti grafici per guidare la realizzazione di un piano di costruzione di una nave, ad esempio la *breadth line* e la *rising line* (Steel, 1805), che, nell'insieme, entrarono a far parte delle linee guida per la realizzazione delle tavole rappresentanti i piani di costruzione delle imbarcazioni. Stabilì anche il sistema detto "*quarter frame*"[3] (Lavery, 2014) che prevedeva di realizzare il disegno delle cinque sezioni costruttive considerate da Baker fondamentali per la progettazione dello scafo: la sezione maestra, due sezioni ai due quarti della lunghezza, l'ultima sezione a poppa e lo specchio di poppa, e la loro successiva costruzione in scala reale; a questo punto era sufficiente unire queste sezioni attraverso dei listelli fittizi per poter trovare le sezioni mancanti e procedere quindi alla completa realizzazione dello scafo. Ciò nonostante Baker non si limitò mai alla progettazione su carta di queste sezioni, ma procedette riportando su tavola ulteriori linee di costruzione per avere così un maggior controllo sulle forme dello scafo; questo processo lo condusse alla redazione di un documento sempre più completo e preciso, lo *sheer draught*[4], aprendo così la strada alla realizzazione degli attuali piani di costruzione di una nave.

Evoluzione della tipologia di imbarcazioni

Oltre all'evoluzione del maestro d'ascia verso quella che diventerà poi la figura dell'ingegnere navale, si avviò anche un'innovazione della tipologia di imbarcazioni. Infatti, la fase progettuale, che finalmente trovava un proprio spazio distinto e vincolante nel processo complessivo, dava la possibilità di sperimentare nuove forme e immaginare nuove tecnologie costruttive. In particolare, la forma dello scafo vide una netta riduzione delle sovrastrutture in quanto il volume del castello di prua fu progressivamente ridotto, fino ad arrivare a circa la metà dell'altezza comune dei decenni precedenti e a non risultare più un blocco aggettante rispetto alle murate (Blatcher, 2017). Questa modifica portò due vantaggi: una migliore visibilità in navigazione e una decisa diminuzione della resistenza al vento durante il moto; le imbarcazioni erano quindi più facili da governare e più veloci. Manovrabilità e rapidità erano, infatti, le prestazioni più richieste per una nave da guerra, che andava così sempre più a specializzarsi e a separarsi dalle unità dedicate al commercio. In questo senso, una delle modifiche più caratterizzanti su cui Baker lavorò, fu quella della forma della sezione maestra. Si è già visto quale fosse l'importanza di questo elemento nella riuscita di una nave, in quanto andava a incidere sulla forma dell'inte-

ro scafo, e per migliorare maggiormente le qualità nautiche richieste, era necessario realizzare forme più affusolate e sottili, ben diverse dalle imbarcazioni mercantili che possedevano un ventre panciuto e capiente. Inoltre, Baker si preoccupò di calcolare la posizione della sezione maestra rispetto alla lunghezza della chiglia e stabilì che, per una maggiore stabilità complessiva, la posizione ideale di questa era a un terzo della lunghezza rispetto a prua.

Fra le prime imbarcazioni di nuova generazione furono realizzate la *Foresight* (1570) e la *Revenge*, di cui si è detto al paragrafo nel quale è stata presentata la figura di Blake (1577). Quest'ultima in particolare divenne una delle navi più famose fra quelle che combatterono l'armata spagnola e mostrò le ottime qualità nautiche della nuova generazione di galeoni prodotti da Baker e dagli altri maestri d'ascia inglesi. Le sue dimensioni erano caratterizzate da uno stretto rapporto chiglia-baglio, con lunghezza di 28 metri, per una larghezza di 8,9 metri e immersione di 4,9 metri; il suo equipaggio era composto da 250 uomini e la sua potenza di fuoco era di 46 cannoni (Pain, 2000). Era generalmente armata con tre alberi, anche se aveva la possibilità di montare un quarto albero di *bonaventura*, a poppavia di quello di mezzana. La sua opera morta era poco imponente, con una sovrastruttura ridotta e un basso bordo libero; anche le decorazioni andavano ad affermare la sobrietà della nave, proponendo un *patter* con i colori dei Tudor, verde e bianco; la semplicità e i contorni puliti di queste imbarcazioni valorizzavano al meglio l'aerodinamicità dei loro scafi. Sir Francis Drake (c. 1540-1596) approvò l'evoluzione delle navi inglesi, tanto che scelse proprio la *Revenge*, in Figura 1, come nave capitana (Sugden, 2006). Inoltre, quando sul finire del secolo XVI Drake fece parte della commissione istituita per progettare le tre nuove navi, la *Merhonour*, la *Garland* e la *Defiance*, fece sì che esse fossero costruite proprio seguendo le indicazioni proposte da Baker:

Fig. 1 – Piano di costruzione, probabilmente del galeone Revenge (1577) (da Baker, c. 1588).

> "*The bredth is arbitrarie, ye depth must never be more than 1/2 ye bredth, nor less then 1/4. The length never less than double ye bredth nor more than treble.*" (Baker, 1588)

> [Trad.] *La larghezza è arbitraria. L'immersione non deve mai essere più di ½ della larghezza, né meno di ¼. La lunghezza mai meno del doppio della larghezza né più del triplo.*

Il rinnovamento della flotta inglese, con l'introduzione di molti galeoni simili alla *Revenge* e poi di dimensioni maggiori, fu intrapreso dal 1578, quando Elisabetta I riscontrò nella Marina inglese la presenza di sole 18 navi che superavano le 100 tonnellate. Il programma di costruzione navale durò un decennio durante il quale furono costruite una decina di navi di oltre 100 tonnellate di stazza e 8 unità minori. Il più grande di questi nuovi galeoni fu l'*Ark Royal* (1587), originariamente *Ark Raleigh*, l'imbarcazione capitana dell'ammiraglio Charles Howard (1536-1624), Lord di Effingham (Westcott, 1948), di 694 tonnellate, costruita nel cantiere di Deptford. Questo galeone era lungo 31 metri, largo 11 metri e con una immersione di 4,9 metri. Aveva un castello di poppa piuttosto rialzato, anche se la sovrastruttura a prua era di dimensioni ridotte e imbarcava 42 cannoni di diverso calibro. Inoltre, aveva quattro alberi di cui l'albero maestro e quello di trinchetto armati a vele quadre, mentre i due alberi a poppavia armavano vele latine. Nel 1608 fu ricostruito come *Anne Royal* e così rimase fino al suo affondamento avvenuto nel 1636, dopo ben 49 anni di servizio. Questa classe di galeoni rappresentò il massimo splendore della Marina elisabettiana, superando per prestazioni e fama le maestose navi da guerra spagnole.

Conclusioni

Se da un lato non si può affermare che il periodo Tudor vide la supremazia della potenza navale e marittima della *Royal Navy*, dall'altro rappresentò la nascita e il periodo di avvio di un processo di consolidamento che la marina inglese sviluppò appieno in seguito, durante il periodo Stuart (Childs, 2009). La rivoluzione nella costruzione navale, avvenuta nel XVI secolo e promossa da Matthew Baker, portò l'Inghilterra a diventare la prima potenza marittima ed economica non solo a livello europeo ma in pochi anni anche mondiale. È, infatti, grazie alla creazione di una flotta permanente, composta da numerose navi da guerra, che l'Inghilterra si avviò verso il predominio marittimo e politico dei secoli successivi. Le innovazioni introdotte durante il regno dei Tudor portarono a uno sviluppo nella costruzione navale che introdusse una nuova generazione di navi, i vascelli, che non vedrà sensibili variazioni fino all'introduzione della costruzione in ferro e della propulsione a vapore nel XIX secolo. Infatti, dal regno Stuart (1603-1707) in avanti furono apportate innovazioni, come un aumento delle dimensioni e un affinamento delle tecniche costruttive, ma senza radicali modifiche e variazioni alla forma e all'assetto complessivo dei nuovi vascelli.

Bibliografia

Baker M. c. 1588. *Fragments of Ancient English Shipwrightry*. Manoscritto; conservato alla Pepys Library, no. 2820.

Blatcher M. 2017. Chatham Dockyard and a little-known shipwright Matthew Baker (1530-1613). Archaeologia cantiana, 107, 155-172.

Childs D. 2009. *Tudor Seapower: the foundation of Greatness*. Barnsley: Seaforth publishing

Davis J. 1607. *The Seaman's Secrets*. London: Thomas Dawfon.

Hakluyt R. 1599. *The principal navigations, voyages, traffiques and discoveries of the English nation*. London: G. Bishop, R. Newberie, and R. Barker.
Johnston S. 1994. Making mathematical practice gentlemen, practitioners and artisans in Elizabethan England. Degree of Doctor of Philosophy. Cambridge: St John's College.
Knighton C.S., Loades D. 2011. *The Navy of Edward VI and Mary I*. Farnham: Ashgate.
Laughton J.K. 1894. *The defeat of the Spanish Armada*. London: Navy Records Society.
Lavery B. 2014. *The Ship of the Line: A History in Ship Models*. Barnsley: Seaforth Publishing.
Loades D. 1992. *The Tudor Navy: An Administrative, Political and Military Hory*. Aldershot, UK: Scolar Press.
Macleod N. 1925. The shipwright officers of the royal dockyards. The Mariner's Mirror 11(4), 23-2-.
Oppenheim M. 1896. *A history of the administration of the royal navy and of merchant shipping in relation to the navy*. London, New York: John Lane.
Pain L. 2000. *Warships of the World to 1900.* Boston: Houghton Mifflin Company.
Perrin, W.G. 1874. *The autobiography of Phineas Pett*. London: Navy Records Society.
Pine J. 1878. *The Spanish Armada, 1588*. Boston: Houghton, Osgood & Company.
Siegert B. 2015. *Cultural Techniques. Grids, Filters, Doors, and Other Articulations of the Real*. New York, Fordham University Press.
Steel D. 1805. *The shipwright's vade-mecum*. London: the Navigation Warehouse.
Sugden J. 2006. *Sir Francis Drake*. London: Pimlico.
Westcott A. 1948. *The Shipwright's Trade*. Cambridge: University Press.
Winfield R. 2010. *British Warships in the Age of Sail 1603-1714: Design, Construction, Careers and Fates*. Barnsley: Seaforth Publishing.

Note

1. L'*Exchequer* era un componente del governo inglese responsabile per la gestione e la riscossione delle tasse.
2. La *Foresight* aveva una stazza di 250 t ma questo valore è non del tutto attendibile; infatti in tre differenti documenti la stazza è indicata pari a 300, 350 e infine 260 tonnellate, e in un quarto, datato 1592, viene riportato il valore di 450 tonnellate. La stima del tonnellaggio era in passato un'operazione che creava spesso confusione. L'operazione prestabilita era quella di contare quanti barili di vino l'imbarcazione potesse contenere, ma non essendovi delle dimensioni internazioni per i barili stessi, l'unità di misura variava di volta in volta e di conseguenza anche il risultato. Nel 1582 fu proprio Matthew Baker a elaborare una regola per la stazza assumendo come misura *standard* le botti di vino bordolese. Questo metodo continuo a essere usato fino al 1630 (Blatcher, 2017: 167].
3. A pagina 21 di *Fragments ...* è rappresentata una delle prime tavole che riporta le cinque sezioni secondo il principio dei *quarter frame*.
4. Molti esempi di *sheer draught*s si trovano in *Fragments ...* (p. 74, 113, 115, 118, 119, 121, 126). Uno dei più noti è a pagina 24 e propone la similitudine tra lo forma che dovrebbe avere uno scafo e il corpo di un pesce.

Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano

Storia del termometro per le misure ambientali: dai termoscopi ai sensori elettronici

Abstract
Temperature studies began at the end of the sixteenth century, but they took a turn when, with the affirmation of the Galilean method, the realization of instruments happened that allowed scientists to transform from qualitative to quantitative their researches. In meteorology, scholars thus had an objective means of assessing the thermal state of the atmosphere by giving a new meaning to their observations.
The first instruments carried out were essentially qualitative such as the thermoscope of G. Galilei (1597) and those of S. Santorio (1611) which were also used in medicine. In the sphere of the Galilean school, alcohol-in-glass thermometers were designed with various thermometric scales up to the definitive version (1646) with a fifty-degree scale which was reproduced in numerous copies, for almost a century, spreading throughout Europe. These thermometers were used in the first network for meteorological observations (1654-1665). In 1688, E. Halley proposed to use mercury as a thermometric liquid to overcome some defects of the alcohol thermometers.
In the first half of the eighteenth century, to put order among the numerous thermometric scales, some scales were proposed (Fahrenheit, Celsius) that had as fixed points those of freezing and boiling of distilled water, at standard pressure. After 1750, recording thermometers were built that could memorize only a few measured values (Cavendish, Six-Bellani), which were followed by devices capable of detecting the temperature trend "continuously". Between the eighteenth and nineteenth centuries "metallic thermometers" were proposed which took advantage of the variations in volume that a solid metal undergoes as the temperature changes.
In the nineteenth century electrical recording and the use of telegraphs favored the development of thermometers, as well as other meteorological instruments and measurement systems, which began to be built according to internationally established standards. In the seventies of the twentieth century a change happened in the structure of the thermometers with the passage from electromechanical ones with analogical recording of data to electronic ones with digital recording.

Le origini

La meteorologia scientifica inizia nel Seicento con l'affermarsi del metodo galileiano e con gli studi di E. Torricelli, che portarono alla realizzazione dei primi strumenti

"moderni" per la misura delle grandezze fisiche ambientali. Gli studi sulla temperatura erano cominciati alla fine del XVI secolo, ma solo con la realizzazione dei primi strumenti gli scienziati trasformarono le loro indagini da qualitative a quantitative. I primi apparati di misura, seppur rudimentali, diedero un nuovo significato alle osservazioni meteorologiche degli studiosi, che avevano finalmente un mezzo oggettivo per valutare lo stato termico dell'atmosfera.

Fig. 1 – Termoscopio di Galilei. Museo Galileo Firenze.

I primi strumenti realizzati, i termoscopi, permettevano solo di evidenziare le variazioni di temperatura senza quantificarle; fra questi si ricordano quelli di Galilei, probabilmente del 1597, come attestano alcune lettere dei suoi allievi, Sagredo, 1612 e 1613, e Castelli, 1638, e quelli realizzati dal medico Santorio, costruiti a partire dal 1611.

Il termoscopio galileiano, in Figura 1, era costituito da una palla di vetro con un lungo collo (tubo di vetro con calibro capillare) immerso in un vaso pieno d'acqua. Riscaldando la palla, l'aria in essa contenuta si dilata e, in parte, fuoriesce dal vaso. Con il raffreddamento della palla, l'aria in essa contenuta si contrae creando una depressione che fa risalire acqua nel tubo, tanto più quanto più grande è la differenza di temperatura cui la palla è stata sottoposta (Benincasa et al., 2019).

Santorio realizzò alcuni strumenti per stimare la temperatura degli infermi e introdusse, anche se concepita in maniera empirica, un "abbozzo" di scala termometrica per indicare lo stato di salute del paziente, questa iniziava con il livello del liquido, acqua colorata, alla temperatura dell'uomo sano e poi saliva a diversi livelli di "febbricità". Non essendo questa scala standardizzabile lo strumento era comunque da ritenersi un termoscopio (Benincasa et al., 2019).

Nei primi decenni del Seicento, molti altri studiosi proposero e costruirono termoscopi ad aria; ricordiamo qui quello realizzato da Sagredo, che dopo vari perfezionamenti, suggeriti da Galilei (lettera del 1615) ne realizzò uno, in Figura 2, la cui scala, con gli stessi punti fissi del termoscopio di Santorio, era divisa in 360 parti uguali, in analogia alla misura degli angoli in geometria.

Altri termoscopi ad aria furono realizzati, ad esempio, da Kircher, Drebbel, Fludd, von Guericke (Knowles Middleton, 1969; Borchi, 1997). Il difetto principale di questi termometri ad aria era la loro sensibilità alle variazioni della pressione atmosferica che, come mostrato in Figura 2, agendo sul liquido contenuto nel vaso provocava variazioni del livello del liquido lungo il tubo graduato. In altri termini, i termometri ad aria si comportavano come "barometri ad acqua". Solo dopo la scoperta sperimentale della pressione atmosferica da parte di Torricelli, nel 1644, furono chiari i motivi del comportamento di questo tipo di termometro, come mostrarono le esperienze condotte da Pascal nel 1648 e dagli Accademici del Cimento, le quali evidenziarono la poco attendibilità di questo strumento che, inoltre, non risultava idoneo per misurare la temperatura dei liquidi né adatto ad essere trasportato.

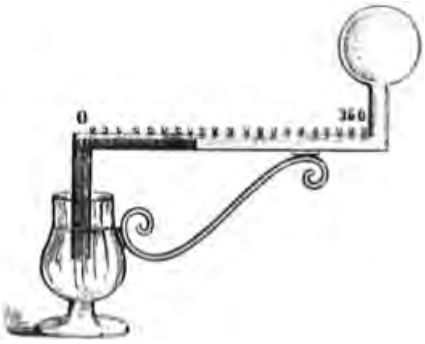


Fig. 2 – Termoscopio di Sagredo. Il principio di funzionamento dello strumento è analogo a quello dello strumento in Figura 1. Il posizionamento del tubo graduato evita che il movimento di risalita del liquido sia ostacolato dal suo stesso peso (da Caverni, 1891).

I termometri fiorentini

A partire dal 1641 furono realizzati, nell'ambito della scuola galileiana e della successiva Accademia del Cimento, termometri, con varie scale, in cui il liquido termometrico era *acquarzente*, cioé alcol di vino, con canna e bulbo sigillati; questa scelta costruttiva rendeva i termometri immuni alla pressione atmosferica. Nel 1646 lo strumento, noto poi come *termometro fiorentino,* assunse la forma definitiva con una scala cinquantigrada (cinquanta divisioni), e fu riprodotto, per quasi un secolo, in numerosi esemplari che si diffusero in tutta Europa, divenendo uno "standard". La scelta dell'*acquarzente*, al posto dell'acqua colorata, rendeva lo strumento più sensibile alle variazioni termiche, non lasciava depositi sul vetro e nell'ambito delle temperature ambientali non raggiungeva il congelamento[1] (Borchi, 1997; Accademia del Cimento, 1667).

Come si legge nei *Saggi di naturali esperienze* (Accademia del Cimento, 1667) gli accademici condussero sperimentazioni sulla temperatura di fusione del ghiaccio, la neve pestata, che li portò a considerare tale valore costante e pertanto utile a definire il punto inferiore nelle loro scale termometriche. Prendendo a riferimento la temperatura della neve fondente e quella dell'aria nei giorni più caldi, la taratura[2] dei termometri fiorentini cinquantigradi, in Figura 3, era ottenuta. attribuendo rispettivamente 13,5 gradi e 40 gradi e quella dei termometri fiorentini centigradi (cento divisioni) assegnando rispettivamente 20 gradi e 80 gradi. Il termometro fiorentino evidenzia l'arbitrarietà della scelta dei valori da attribuire ai punti fissi nella scala

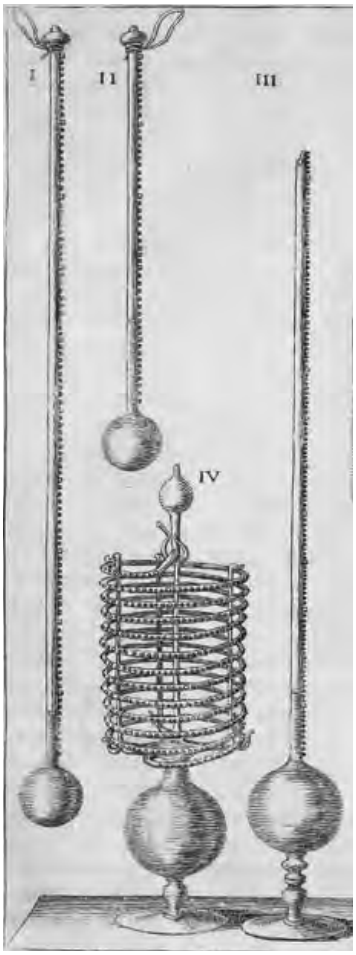


Fig. 3 – Termometri fiorentini ad acquarzente; Il primo e il secondo sono da sospendere e hanno nell'ordine, 100 e 50 divisioni. Il terzo e il quarto sono da appoggiare, la scala del terzo è di 300 divisioni, quella del quarto non è indicata (da Accademia del Cimento, 1667).

termometrica, che nel tempo ha portato a differenti definizioni di unità di misura della temperatura.

I termometri fiorentini cinquantigradi furono impiegati per realizzare la prima rete per le osservazioni meteorologiche, nata nel 1654 per volere del Granduca di Toscana Ferdinando II de' Medici al fine di coordinare gli studi e le realizzazioni dell'Accademia del Cimento. Il Granduca incaricò il gesuita Antinori (Agnoli, 2013) di organizzare il Servizio che rimase attivo per circa dieci anni, (Antinori, 1858). A ogni referente della stazione furono forniti due termometri fiorentini a scala cinquantigrada, in modo tale che tutti utilizzassero strumenti dello stesso tipo, tutti tarati in modo che se "*circondati dallo stesso ambiente camminassero sempre del pari*" (Accademia del Cimento, 1667), delle tabelle e un diario in cui riportare le osservazioni, in modo che la rilevazione dei dati fosse la più omogenea possibile.

Per superare alcuni difetti dei termometri fiorentini legati alla scelta dei punti fissi e già noti agli studiosi del Cimento, nel 1688 Halley propose di utilizzare come liquido termometrico il mercurio, Questo metallo alle temperature ambientali si presenta allo stato liquido e, rispetto all'alcol, si dilata più facilmente e si raffredda più rapidamente; inoltre solidifica a temperatura molto bassa, -38,8 °C, che difficilmente viene raggiunta dall'ambiente (Borchi, 1997; Poli, 1817). Anche Halley, come già sostenuto in precedenza dai discepoli di Galilei, affermò che per rendere le misure dei termometri confrontabili, gli strumenti dovevano essere realizzati dallo stesso costruttore e calibrati con le stesse procedure (Knowles Middleton, 1969). Questo concetto fu in seguito applicato a tutte le grandezze fisiche, divenendo un caposaldo della metrologia moderna.

I termometri fiorentini, malgrado non fossero scevri da difetti come il problema della taratura, si diffusero in tutta Europa grazie alla loro praticità di impiego e alla loro attendibilità dei rilevamenti.

Altri studiosi continuarono a progettare termometri ad aria, come il fisico francese Amontons che, alla fine del Seicento, ne realizzò uno che può essere considerato

il primo termometro a gas a volume costante. Lo strumento si dimostrò poco pratico nell'utilizzo e di scarso successo, ma diede inizio agli studi sul comportamento termico dei gas, studi che avrebbero portato nell'Ottocento alla formulazione della legge dei gas perfetti (Borchi, 1997).

Il Settecento: le scale termometriche e i termometri registratori

Il problema della scelta dei punti fissi per realizzare le scale termometriche, e di conseguenza la possibilità di rendere confrontabili le misure, fu uno dei principali argomenti di studio dei fisici che si occuparono di termometria fra Seicento e Settecento. Come già visto, gli Accademici del Cimento avevano osservato che uno dei punti fissi poteva essere il ghiaccio fondente; il problema maggiore era quale altro punto fisso scegliere come valore più elevato della scala. Questo, come il primo, doveva essere legato a un processo fisico sufficientemente immune alle altre grandezze ambientali e non troppo distante dalla temperatura di riferimento più bassa, ciò per dare linearità alla scala. Svariate furono le proposte, anche bizzarre, quali la temperatura interna di alcuni animali e la temperatura di fusione del burro. Nel 1684 Hooke aveva osservato che il punto di ebollizione dell'acqua rimaneva costante e pertanto lo propose come punto di riferimento per le scale termometriche, sostenuto in questo da Huygens. Le discussioni scientifiche su queste tematiche si arricchirono via via di nuove esperienze, ad esempio Newton e Boyle notarono che la temperatura di ebollizione dell'acqua cambiava con le variazioni della pressione atmosferica e Deluc sottolineò la dipendenza di questa temperatura dall'altitudine.

Nella prima metà del Settecento c'era bisogno di mettere ordine alle numerose scale termometriche (McGee, 1988). Nel 1724, il medico tedesco Fahrenheit pubblicò una memoria in cui descriveva la taratura di un termometro a mercurio da lui realizzato utilizzando come punto fisso più basso la temperatura di una miscela endotermica costituita da ghiaccio e sale marino in parti uguali, che considerò come zero, e come punto fisso più alto la temperatura dell'uomo sano. La scala conteneva originariamente solo dodici divisioni, reminiscenza del sistema sessagesimale, ma in seguito Fahrenheit divise ognuna di queste in otto parti, per un totale di 96 divisioni. Successivamente si poté constatare che con tale scala di temperature, la fusione del ghiaccio era a 32 gradi e quella di ebollizione dell'acqua a 212 gradi, valori che di fatto, a partire dal 1736, divennero i due punti fissi della scala Fahrenheit e la centottantesima parte di questo intervallo prese il nome di grado Fahrenheit (°F); questa scala è ancora in uso in alcuni Paesi.

Nel 1732, il fisico francese Réaumur realizzò un termometro che usava come liquido termometrico una miscela di tre parti di alcol etilico e una di acqua distillata colorata e che calibrò attribuendo il valore di 0 gradi al ghiaccio fondente e quello di 80 gradi al punto di ebollizione dell'acqua. Questa scala non ebbe un seguito duraturo come invece è avvenuto per la scala proposta nel 1742 dall'astronomo svedese

Celsius e perfezionata nel 1743 da Strömer. La scala Celsius-Strömer era divisa in 100 gradi (°C) e pertanto fu definita centigrada: 0 °C per il ghiaccio fondente e 100 °C per l'acqua bollente. Questa scala è ampiamente diffusa ancora ai giorni nostri.

Nelle scale termometriche vennero definite negative le temperature sotto al valore zero, anteponendo al valore numerico il segno – (meno).

La scala Fahrenheit e la Celsius sono legate dalla relazione:

$$x\ °C = (y\ °F - 32)\ 5/9$$

dove x è la temperatura in gradi Celsius e y è la temperatura in gradi Fahrenheit.

Fino alla metà del Settecento i termometri progettati e realizzati, così come gli altri strumenti meteorologici, permettevano solamente letture dirette e misure estemporanee, anche se vi furono alcune proposte di strumenti per la registrazione dei valori di temperatura, come quella illustrata da Bernoulli a Leibniz in una lettera del 1698, che però non portarono alla realizzazione di strumenti (Knowles Middleton, 1969). Fra i primi a proporre termometri registratori vi fu Charles Cavendish, che presentò alla *Royal Society of London* nel 1757 due termometri a mercurio: uno per la misura della "massima" temperatura dell'aria e l'altro per la misura di quella "minima", che furono perfezionati dal suo più celebre figlio Henry (AA.VV., 1828).

Nel 1782 in Inghilterra venne realizzato un termometrografo ad alcol a opera di Six. Lo strumento, in Figura 4, era dotato di un serbatoio cilindrico R al quale era saldato un tubo con la caratteristica forma ad U. Nella parte inferiore del tubo, a contatto con l'alcol, era posta una colonna di mercurio, qui usato solo per agire meccanicamente sugli indicatori termometrici I-I'. Il tubo terminava con un piccolo vaso di espansione V. Nei tratti verticali del tubo a destra e a sinistra sopra i menischi del mercurio, M-M', venivano posti i due leggerissimi indicatori cilindrici di ferro bronzato, I-I', la cui parte inferiore, a contatto col mercurio, era allargata (vedi particolare in Figura 4). Questi indicatori venivano spostati dal mercurio con il suo movimento dovuto alla dilatazione o contrazione dell'alcol causata dalle variazioni di temperatura. A ciascun cilindro era incollato un capello in modo che il suo attrito sulle pareti interne del tubo impedisse loro di essere trascinati via dal mercurio quando questo discendeva. Così essi stazionavano nei punti in cui il mercurio li aveva spinti: l'indice di destra, I', indicava la massima temperatura ambiente e quello di sinistra, I, la minima. Le scale retrostanti ciascun indice venivano tarate sperimentalmente per confronto con un termometro a mercurio. L'azzeramento dello strumento veniva fatto dall'esterno, spostando i due indicatori con una calamita e riportandoli a contatto con il mercurio. Nel 1809 il canonico italiano Bellani modificò il termometrografo di Six rendendo lo strumento più preciso e le sue misure più affidabili. Lo strumento, ancora oggi utilizzato,(sia pur con alcune modifiche sui materiali impiegati, è noto come termometro di massima e minima di Six - Bellani (Borchi, 1997).

Nel 1790 furono presentati alla *Royal Society of Edinburgh*, un termometro registratore a massima e uno a minima, realizzato da Rutherford, la cui struttura e il cui funzionamento erano simili a quelli dei termometri analoghi realizzati dall'Accademia del Cimento (Rutherford, 1794; Leslie, 1838). Sempre alla *Royal Society of Edinburgh* fu presentato, nel 1795, dal fisico scozzese Keith un termometro di sua realizzazione, che di ogni periodo considerato come tutti i termometri indicava la temperatura attuale ma rimanevano registrati, nella prima versione, solo i due valori estremi raggiunti in quel periodo (AA.VV., 1816; Keith, 1798; AA.VV., 1828). Una successiva versione permetteva di ottenere la registrazione di un tracciato ininterrotto che rappresentava l'andamento temporale della temperatura (AA.VV., 1828).

Nella seconda metà del Settecento i termometri furono inseriti in sistemi multiparametrici di misura, i meteorografi, che spesso costituivano il nucleo di osservatori meteorologici più complessi, come quello di Fontana, formato da un barometro, due termometri, un igrometro e una bussola dei venti ad ago magnetico (Affronti, 1977), o come il meteorografo di Moscati (Moscati, 1790), dove era presente un termometro a mercurio di Fahrenheit, o il meteorografo di Vassalli Eandi, dove un termometro a mercurio registrava su un cilindro rotante i valori misurati nelle 24 ore e cui era abbinato un barometro (Vassalli Eandi, 1799).

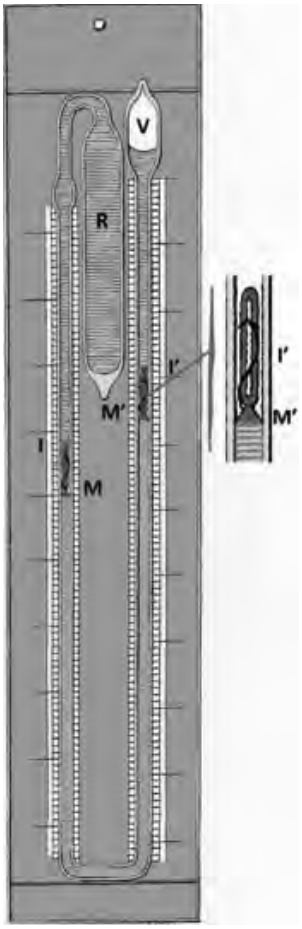


Fig. 4 – Termometrografo di Six-Bellani. Nel particolare, ingrandito, l'indicatore cilindrico I' che poggia sul menisco M', dove è evidenziato il capello "frenante"; per le altre lettere vedi testo (da Borchi, 1997, modificata).

Gli stessi decenni videro la progettazione, a fini meteorologici, dei primi termometri metallici, ovvero che sfruttavano le variazioni di dimensione che un metallo solido subisce quando varia la temperatura e che si affermeranno nel secolo successivo. Il primo termometro con questo sistema di trasduzione fu probabilmente quello proposto nel 1748 dagli inglesi Ingram e Frotheringham (Johnson, 1748). Negli stessi anni alcuni termometri metallici furono realizzati in Germania da Zimmer su progetto di Löser, eleganti strumenti meccanici che, per la loro struttura, non potevano essere usati all'aperto.

Nel 1767 l'astronomo e inventore americano Rittenhouse costruì un termometro a lamina bimetallica di dimensioni contenute e facile da trasportare (Barton, 1813).

La lamina bimetallica, era formata da due lame metalliche di differente coefficiente di dilatazione termico, affacciate l'una all'altra, saldate lungo il perimetro. Le variazioni di temperatura determinavano l'incurvamento della bilamina che a sua volta agiva su un dispositivo indicatore permettendo divisualizzare queste variazioni.

Circa quindici anni dopo il fisico francese Brisson propose un termometro avente come trasduttore un filo metallico, di oro, argento o ottone, che trasformava le variazioni di temperatura in variazioni di lunghezza del filo.

L'Ottocento: lo sviluppo della termometria e la standardizzazione delle misure

Durante il XIX secolo si assistette all'evoluzione dei termometri metallici. È del 1818 il termometro, costruito dall'orologiaio e inventore svizzero A.L. Breguet, che aveva come parte sensibile tre nastri sovrapposti, di platino, oro e argento[3], compressi e saldati fra loro fino ad ottenere un nastro sottile, successivamente avvolto a elicoide con asse verticale, come mostrato in Figura 5A. L'estremità superiore era fissata al supporto, mentre quella inferiore era vincolata al centro di un indice, in Figura 5B, libero di girare rispetto a un quadrante graduato. Il diverso coefficiente di dilatazione dell'argento e del platino faceva ruotare, rispetto al quadrante, l'elicoide e di conseguenza l'indice. L. F. Breguet, nipote del precedente Breguet, modificò lo strumento in modo che potesse registrare l'andamento giornaliero della temperatura. Altri inventori (Le Chevalier, 1829) modificarono il termometro di Breguet in uno capace di indicare anche le temperature massima e minima; altri, come Gori nel 1842, ne fecero versioni bimetalliche ma con spire più regolari che permettevano al termometro di avere una maggiore precisione (Borchi, 1997).

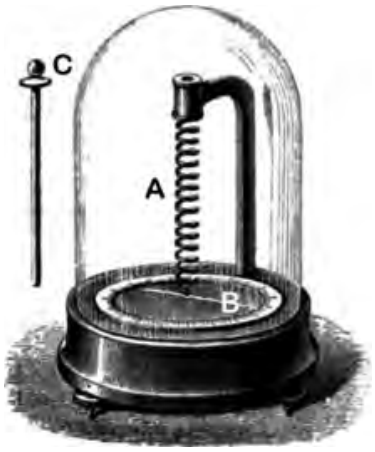


Fig. 5 – Termometro di Breguet (1818) A: elicoide sensibile alla temperatura; B: indice mobile e quadrante graduato, C: asta metallica, da inserire nell'elicoide per evitarne le deformazioni durante il trasporto (da Ganot, 1878).

Negli anni seguenti furono realizzate altre tipologie di termografi bimetallici con caratteristiche metrologiche migliori e in grado di registrare l'andamento settimanale della temperatura, ad esempio i termografi di Richard, che si evolveranno nei termografi ancora oggi esistenti. In questi strumenti il trasduttore è una lama bimetallica solitamente piegata a C, la cui apertura varia al variare della temperatura, con il conseguente spostamento di un pennino scrivente cui la lamina è collegata, come mostrato in Figura 6.

Successivamente all'invenzione del tubo di Burdon, nel 1849, lo stesso principio fu applicato ai termografi da Richard: il trasduttore, LB

in Figura 6, fu sostituito da un tubo di Bourdon di rame a sezione ellittica dalle pareti molto sottili per renderlo elastico, ermeticamente chiuso, pieno di alcool e piegato a formare un arco di circonferenza. Una delle estremità era vincolata alla struttura e l'altra al pennino scrivente. Col cambiare della temperatura l'alcol variava il proprio volume e quindi la curvatura del tubo, in un movimento direttamente proporzionale alle variazioni termiche.

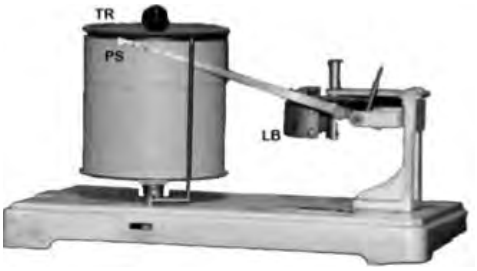


Fig. 6 – Una versione, della seconda metà del Novecento, di termografo a lamina bimetallica. LB: trasduttore piegato a C; PS: pennino scrivente sulla carta diagrammata trascinata in moto orario, giornaliero, settimanale, dal tamburo rotante TR.

Fra i termometri metallici più interessanti ricordiamo quello realizzato nel 1860, da padre Cecchi che fu collocato nella Loggia dei Lanzi in Piazza della Signoria a Firenze, dove rimase fino al 1940. La parte sensibile del termometro era costituita da un filo di ottone teso orizzontalmente, lungo 21 m con diametro di 9 mm. Gli allungamenti e gli accorciamenti che il filo subiva venivano trasmessi, in relazione alle variazioni di temperatura, a un meccanismo a pulegge che muoveva una lancetta indicatrice su una scala Celsius e su una Réaumur (Borchi, 1997).

La possibilità della registrazione elettrica e dell'uso del telegrafo diede, nell'Ottocento, una forte spinta allo studio di tutti gli strumenti meteorologici. A partire dagli anni Quaranta del secolo molti furono i meteorografi progettati e realizzati, tra i quali quelli di Dollond (1846), di padre Secchi (1867) e di Theorell (1869). Negli anni successivi vennero realizzati dei telemeteorografi, strumenti in grado sia di registrare i valori acquisiti in situ, sia di trasmetterli in remoto tramite linea telegrafica; tra questi quelli di van Rysselberghe nel 1868, Von Baumhauer nel 1874 e Olland nel 1877. I termometri presenti in questi apparati utilizzavano vari accorgimenti per ottenere almeno la registrazione dell'andamento giornaliero della temperatura; ad esempio, nell'apparato progettato da padre Secchi nella versione installata a Roma, la temperatura era misurata da un termometrografo metallico costituito da un filo di rame lungo 17 m con diametro di 5,5 mm, i cui allungamenti e accorciamenti termici agivano su un dispositivo scrivente dell'apparato che tracciava l'andamento della temperatura su carta diagrammata (Secchi, 1867) [1].

Verso la metà del secolo il fisico irlandese Thomson, conosciuto come Lord Kelvin, propose una nuova scala termometrica nota come "scala assoluta" o "delle temperature assolute" poiché non sono previsti valori negativi, attribuendo il valore di 273,15 alla temperatura del ghiaccio fondente e il valore di 373,15 alla temperatura del punto di ebollizione dell'acqua. L'intervallo indicato, coincidente con quello del-

la scala Celsius, fu diviso in 100 parti uguali, ciascuna delle quali prese il nome di "grado Kelvin", nome modificato, nel 1968 dal XIII Conférence Générale des Poids et Mesures, in "kelvin" tout court, col simbolo K. Lo zero di questa scala coincide con lo zero assoluto (McGee, 1988) che, per la legge dei gas perfetti, è il valore di temperatura cui si tende quando si raffredda una qualunque quantità di gas, a pressione costante, fino ad annullarne il volume.

Con la nascita nel 1879 dell'Organisation Météorologique Internationale, OMI, divenuta nel 1951 World Meteorological Organization, WMO, i termometri, come gli altri strumenti e i sistemi di misura, iniziarono a essere realizzati secondo standard internazionalmente riconosciuti.

L'Ottocento vide lo sviluppo della termometria elettrica con i lavori, fra gli altri, del fisico britannico Callendar, che nel 1886 descrisse un termometro basato sulla resistività elettrica di un filo di platino, strumento che aveva caratteristiche metrologiche superiori a quelli dei termometri esistenti (Wisniak, 2012). Lo sviluppo di questi termometri portò Callendar, nel 1898, a progettare un termometro che consentiva l'acquisizione di lunghe serie di valori di temperatura ambientale, registrando l'andamento su un rotolo di carta diagrammata che si svolgeva senza soluzione di continuità nel tempo. L'anno successivo, nel 1899, The Committee on Electrical Standards accettò le proposte di Callendar per una scala standard di temperatura, basata sul termometro al platino. Questo portò durante la VII Conférence Générale des Poids et Mesures, tenuta a Parigi nel 1927, alla proposta di adottare una scala internazionale di temperatura realizzata e basata sul termometro al platino che fu accettata e poi resa definitivamente operativa nei decenni successivi.

Dal Novecento al Duemila: dagli strumenti elettromeccanici a quelli elettronici

Il Novecento ha visto, per le misure ambientali, un ulteriore sviluppo dei termometri a filo di platino e l'utilizzo di nuove tipologie di sensori elettrici: termistori e termocoppie (McGee, 1988; Fasano, 1999).

Caratteristica comune a questi sensori è la fragilità, per cui sono normalmente protetti con involucri di vetro o metallici; nonostante ciò si riesce a contenere le loro dimensioni da pochi millimetri a qualche centimetro. Resistenze al platino e termistori[4], essendo termoresistenze, forniscono un valore di resistenza elettrica variabile con la temperatura. Nelle prime il legame resistenza-temperatura è, nella gamma delle temperature ambientali, sufficientemente lineare; nei secondi il legame è fortemente non lineare e pertanto essi vanno interfacciati al sistema di acquisizione dati attraverso un circuito elettronico di linearizzazione. Altra notevole differenza tra i due tipi di termoresistenza è il valore resistivo che possono avere: fino a qualche kiloohm per le resistenze al platino e molti megaohm per i termistori; questo porta a una sensibilità molto maggiore di questi ultimi rispetto alle piccole variazioni di temperatura. Le termocoppie[5] forniscono una tensione elettrica, dell'ordine delle

decine di microvolt a grado centigrado, che varia con la temperatura in modo sufficientemente lineare.

Ovviamente termoresistenze e termocoppie diventano termometri solo se questi sensori sono collegati ad adeguati circuiti elettronici di trasduzione temperatura-segnale elettrico, a loro volta seguiti da un sistema di visualizzazione (display) o di registrazione (memoria allo stato solido) o di trasmissione (radio, telefono, ecc.), sistemi che possono anche coesistere.

Questi nuovi sensori di temperatura, negli anni Settanta del secolo scorso, hanno consentito un nuovo cambiamento della struttura dei termometri per la misura della temperatura, passando da quelli elettromeccanici con registrazione analogica dei dati a quelli elettronici con registrazione digitale. Questo passaggio è evidenziato nella pubblicazione OMI n. 78 (OMI, 1950) nella quale si afferma che i termometri a resistenza e a termocoppia non erano comunemente usati per le misure sinottiche e per scopi climatologici, ma venivano usati per misure speciali come quelli di gradiente termico. Successivamente questa guida fu pubblicata in varie edizioni dal WMO, con il titolo "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation n. 8", nella cui terza edizione, del 1969, si parla di termometri basati su termoresistenze e termocoppie soltanto per fini aeronautici. Solo nella quinta edizione, pubblicata nel 1983, e nelle successive [2], si parla di electrical thermometers*,* aventi come parte sensibile termoresistenze e termocoppie, utilizzati per misure standard nelle stazioni meteorologiche.

Conclusioni

La storia del termometro per le misure ambientali è lunga e ricca, anche di personaggi passati alla storia. Con la standardizzazione delle procedure di misura e con l'unificazione dei nuovi apparati si è persa la paternità di questi strumenti: non c'è più l'inventore, non ci sono più il termoscopio di Galilei o il termografo di Richard. Oggi ci sono *industrie* che sviluppano soluzioni nuove, sempre più efficienti e sofisticate, i cui ideatori rimangono anonimi. Forse stiamo perdendo le tracce della nostra evoluzione.

Bibliografia

AA.VV. 1816. *Encyclopaedia Perthensis or Universal Dictionary of the Arts Sciences, Literature*. Edimburgh: Vol. XXII, stampato da John Brown.

AA.VV. 1828. *Thermometer & Pyrometer, Society for the diffusion of useful Knowledge.* London: Baldwin and Cradock.

Accademia del Cimento. 1667. *Saggi di naturali esperienze fatte nell'Accademia del Cimento.* Firenze: Giuseppe Cocchini per l'Insegna della Stella.

Affronti F. 1977. *Atmosfera e Meteorologia*. Modena: editore S.T.E.M. Mucchi.

Agnoli F., Bartelloni A. 2013. *Scienziati in tonaca: da Copernico, padre dell'eliocentrismo, a Lemaître, padre del Big Bang*. Torino: ed. La Fontana di Siloe.

Antinori V. (a cura di). 1858. *Archivio meteorologico centrale italiano nell'I. e R. Museo di Fisica e Storia naturale*. Firenze: Tipografia sulle Logge del Grano.

Barton W. 1813. *Memoirs of the life of David Rittenhouse.* Philadelphia: E. Parker.

Benincasa F., De Vincenzi M., Fasano G. 2019. *Storia della strumentazione meteorologica, nella cultura occidentale*. Roma: CNR Edizioni.

Borchi E., Macii R. 1997. *Termometri e termoscopi*. Firenze: Osservatorio Ximeniano.

Camuffo D., Bertolin C. 2012. The earliest temperature observations in the world: the Medici Network (1654-1670). Climatic Change, 111, 335-363.

Caverni R. 1891. *Storia del metodo sperimentale in Italia*. Firenze: G. Civelli

Fasano G., Materassi A., Zara P. 1999. *Sensori e strumenti elettronici per la meteorologia*. Collana tecnico-scientifico INAPA, 8.

Galluzzi P. (a cura di). 2001. *Scienziati a Corte. L'arte della sperimentazione nell'accademia galileiana del Cimento, 1657-1667*. Livorno: ed. Sillabe.

Ganot A. 1878. *Traité de physique expérimentale et appliquée et de météorologie*. Paris: chez l'auter-éditor.

Johnson M. 1748. A letter from Maurice Johnson Esq; President of the Gentlemens society at spalding, to James Jurin M. D. Fellow of the Royal College of Physicians, London, and F. R. S. concerning a Metalline Thermometer. in the Museum of that Society. In: *Philosophical Transactions of Royal Society of London*, 45, 128-130.

Keith A. 1798. Description of a Thermometer, which marks the greatest of degree of heat and cold from one time of observation to another and may also register its own height at very instant. In: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, IV, 203-208.

Knowles Middleton W.E. 1969. *Invention of Meteorological Instruments*, Baltimore: The Johns Hopkins Press.

Le Chevalier M. 1829. Sur les thermomètres a maximum et a minimum. In: Bulletin des sciences mathématiques, astronomiques, physiques et chimiques: première section du Bulletin universel des sciences et de l'industrie, XI, 188-189.

Leslie J. 1838. *Treatises on Various Subjects of Natural and Chemical Philosophy*. Edinburgh: Adam & Charles Black.

McGee T.D. 1988. *Principles and Methods of Temperature Measurement*. USA: Wiley & Sons.

Moscati P. 1790. Descrizione dell'osservatorio meteorologico eretto al fine dell'anno 1780. In: *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana* Tomo V, 356-381. Verona: stampato per Dionigi Ramanzini.

OMI. 1950. *Provisional Guide to International Meteorological Instrument and Observing Practice*. Lausanne, OMI n. 78.

Poli G. S. 1817. *Elementi di fisica sperimentale.* Tomo IV. Venezia: stampato da A. Santini.

Rutherford D. 1794. A description of improved Thermometer. In: *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, III, 247-249.

Secchi A. 1867. *La Météorologie et le météorographe à l'Exposition universelle extrait des Études religieuses, historiques et littéraires, par des Pères de la Compagnie de Jésus, avec additions de l'auteur*. Paris: Gauthier-Villars.

Vassalli Eandi A.M. 1799. Sopra alcuni strumenti meteorologici, che segnano per se stessi le variazioni atmosferiche per 24 ore, o più. In: *Memorie di Matematica e Fisica della Società Italiana*. Tomo VIII(II), 516-520. Modena: stampato presso la Società Tipografica.

Vittori O., Mestitz A. 1981. The calibration of the 'Florentine Little Thermometer. In: *Endeavour*, 5(3), 113-118.

Wisniak J. 2012. Hugh Longbourne Callendar. Educ. Quim, 23(3), 395-404.

WMO, 1969, 1983. (*third, fifth editions*) *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation.* Geneva, WMO n. 8.

Webgrafia

[1] https://tracieloeterra.bicentenarioangelosecchi.it/glistrumenti/meteorografo-secchi/
[2] https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147

Note

1. Il punto di congelamento dell'etanolo, alcol del vino, è -114,3 °C, valore determinato in epoca contemporanea.
2. Le scale termometriche seicentesche non hanno nessuna corrispondenza con quelle attuali (Camuffo, 2012; Galluzzi, 2001; Vittori, 1981).
3. Platino, meno dilatabile, sulla faccia esterna; oro nella posizione intermedia, per evitare rotture dovute alla differente dilatazione degli altri due metalli; argento, più dilatabile, sulla faccia interna.
4. Termoresistenze a semiconduttori. Nel 1833 Faraday notò che nei semiconduttori di solfuro d'argento la resistenza elettrica diminuiva drasticamente con l'aumento della temperatura. Questo diede origine, cento anni dopo, alla produzione e alla commercializzazione dei *termistori*.
5. In questi dispositivi, la cui parte sensibile è la saldatura di due fili conduttori di natura diversa, per esempio ferro-costantana o rame-costantana, le dimensioni sono tanto più piccole quanto più sottili sono i fili utilizzati. Le termocoppie si basano sull'effetto termoelettrico studiato da T. J. Seebek nel 1821.

Carmine Ianniello

Le camere anecoiche acustiche: albori e sviluppi

Abstract
Acoustic anechoic chambers (echo-free) are rooms aimed at the realization of the free field conditions. Ideally, this kind of field can exist in the homogeneous and isotropic air of infinite extent which is in a quiet state. The free field obeys the inverse square law (1/r2 law). This means that the sound intensity caused by a non-directional point source is inversely proportional to the square of the distance from the sound source with no dependence on the angular direction. This paper gives a brief account on the birth and main aspects of the evolution of these chambers. Nowadays their use is widespread in the fields of both the pure research and industry.

Introduzione
Nel passato, e talvolta anche in tempi meno lontani, le misure in campo libero erano effettuate all'aperto. La Figura 1 mostra un primo esempio di misure di psicoacustica (Walker Downey, 2018).

Un ulteriore esempio di misure all'aperto è presentato nella Figura 2. Si tratta di una struttura per misurare le caratteristiche di grandi altoparlanti posti all'altezza di circa 10 m dal suolo. Questo apparato è stato utilizzato fino al 1975. In seguito fu costruita una camera anecoica adatta [1].

Le misure all'aperto soffrivano dei capricci meteorologici e del rumore ambientale casuale, donde la necessità di ambienti chiusi in cui era possibile realizzare condizioni di riflessioni trascurabili e di quiete sufficiente in modo da approssimare le condizioni per il campo libero.

Mezzi per rendere trascurabili le riflessioni in una camera ordinaria
Normalmente, una camera chiusa ha le superfici interne che riflettono efficacemente il suono. Se questo suono deve essere assorbito quasi del tutto, non è sufficiente porre sulle sue superfici interne un singolo strato di materiale fonoassorbente poroso usuale, per quanto spesso. Infatti, le caratteristiche acustiche intrinseche dell'aria nella camera differiscono troppo da quelle dello strato fonoassorbente all'interfaccia. Sin dalle prime concezioni delle camere anecoiche sono state considerate transizioni graduali per guidare le onde sonore nello spazio d'aria libero verso terminazioni sostanzialmente fonoassorbenti.

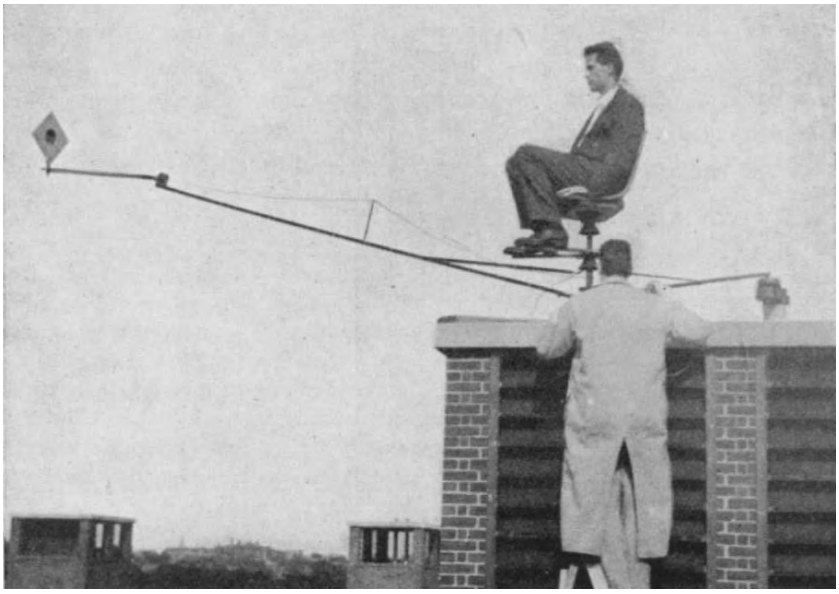


Fig. 1 – Misure di psicoacustica all'aperto con un altoparlante sospeso mediante una struttura tubolare rispetto all'ascoltatore seduto (da Walker Downey, 2018).

Fig. 2 – Una struttura per la misura delle caratteristiche di grandi altoparlanti all'aperto (da [1]).

La prima realizzazione di un sistema fonoassorbente per camere anecoiche risale al 1936 ed è ascritta a Bedell (Bedell, 1936). Si trattava di una disposizione di dieci lenzuoli di mussolina e di sei strati sottili di flanella, con resistenza al flusso R_f, determinata, stesi e spaziati entro una profondità di 47 cm dalla parete retrostante, come mostrato in Figura 3.

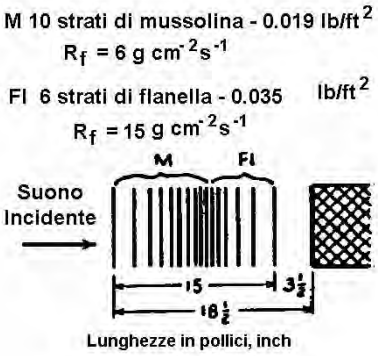


Fig. 3 – Stratificazione di Bedell (da Bedell, 1936).

Questa tipologia di rivestimento fonoassorbente con varie sequenze di veli e strati porosi di spessore vario è stata utilizzata probabilmente per pochi anni anche a causa delle difficoltà di sospensione ai confini di grandi camere e della fragilità dei primi elementi.

Un primo approccio differente è dovuto a Meyer, Buchmann e Schock (Meyer et al., 1940). La loro camera anecoica a Berlino aveva il soffitto, le pareti e il pavimento rivestiti con migliaia di stalattiti e stalagmiti acustiche. Questi elementi erano costituiti da lunghe sacche di mussolina, a forma di piramide, riempite con lana di roccia sciolta avente la densità apparente di circa 192 kg/m^3. Per evitare che si afflosciassero al centro della struttura erano poste delle stecche di legno, connesse rigidamente a una base di compensato in modo che potessero essere appese, affiancate, a ganci infissi nelle pareti strutturali. In particolare, la lunghezza della piramide era pari a 1 m; alla base era 15 cm di lato, seguita da una parte a forma di parallelepipedo che ne consentiva l'accostamento mutuo, come visibile in Figura 4.

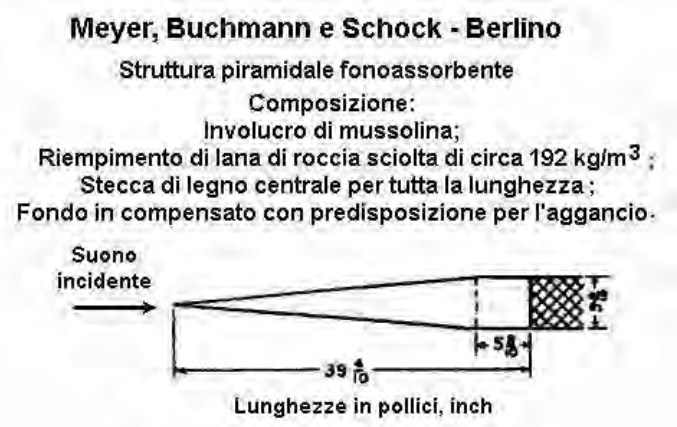


Fig. 4 – Struttura piramidale di Meyer et al. (1940).

Il primo studio più esteso, con risultati generalizzabili relativamente, è riportato in un lavoro di Beranek e Sleeper (Beranek e Sleeper**,** 1946). Durante la II Guerra Mondiale la Commissione per la ricerca in ordine alla difesa nazionale U.S.A., il National Defence Research Committee, finanziò un programma di ricerche in acustica al laboratorio Cruft dell'Università di Harvard su problemi di trasmissione acustica e lo sviluppo di strumenti per l'acustica. In questo ambito furono costruite tre camere anecoiche. La più grande, priva di trattamenti interni, aveva le dimensioni di 11,58 m · 15,24 m · 11,58 m. Con le pareti attrezzate questa camera avrebbe consentito la misura in campo libero lontano da sorgenti relativamente estese, ad esempio altoparlanti di grandi dimensioni. L'obbiettivo era principalmente la riduzione dei costi e degli ingombri degli allestimenti per ottimizzare lo spazio libero di lavoro. In questi rispetti furono provati, in funzione della frequenza, in un tubo a onde stazionarie quasi 1000 strutture fonoassorbenti diverse di diversi tipi:

1) a strati di lenzuoli simili a quelli di Bedell (1936);
2) strati di materassini di materiale fonoassorbente;
3) strutture a forma di piramidi semi rigide riempite di materiale fonoassorbente sciolto simili a quelle di Meyer et al. (1940);
4) strutture a forma di cuneo in materiale fonoassorbente;
5) piramidi e cunei con vari profili longitudinali, ad esempio esponenziale.

La bontà di una configurazione era valutata tramite il coefficiente di riflessione della pressione sonora percentuale come ottenuto dalle misure nel tubo a onde stazionarie. Il criterio di accettabilità era definito in base al valore della frequenza minima oltre la quale il coefficiente di riflessione della pressione sonora in percento rimaneva definitivamente sotto il 10%, frequenza limite o di *cut-off*. Infatti questa scelta implica che al di sopra della frequenza limite l'energia sonora incidente normalmente sulla struttura è assorbita tra il 99% e il 100%. Da questo studio emerse la convenienza dell'uso, diventato poi frequente, dei cunei per il trattamento fonoassorbente delle superfici interne della camera anecoica grande.

La Figura 5 mostra il sistema di montaggio dei cunei. Si nota che gli estremi aguzzi dei cunei sono disposti mutuamente a 90°. Ciò per limitare effetti indesiderati del tipo reticolo di diffrazione. Il materiale utilizzato era lana di vetro impregnata di fenolo-formaldeide che permetteva di ottenere lastre semirigide da cui tagliare i componenti dei cunei.

Per ridurre i costi dei cunei, Watters propose delle forme che li approssimavano (Watters, 1958). La Figura 6 ne mostra la tipologia. È interessante riportare l'opinione di questo autore che "copiare" un rivestimento installato con successo in una camera non garantisce un analogo successo quando installato altrove e che è necessario un lungo processo sperimentale per tentativi per conseguire l'obbiettivo desiderato, ad esempio una data frequenza limite. Notò, altresì, la limitazione dell'uso del tubo

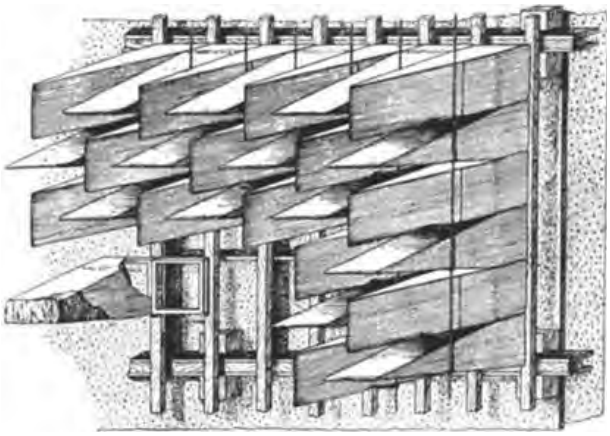


Fig. 5 – Cunei montati su un ordito di legno con o senza uno spazio retrostante rispetto alla parete strutturale (da Beranek e Sleeper, 1946).

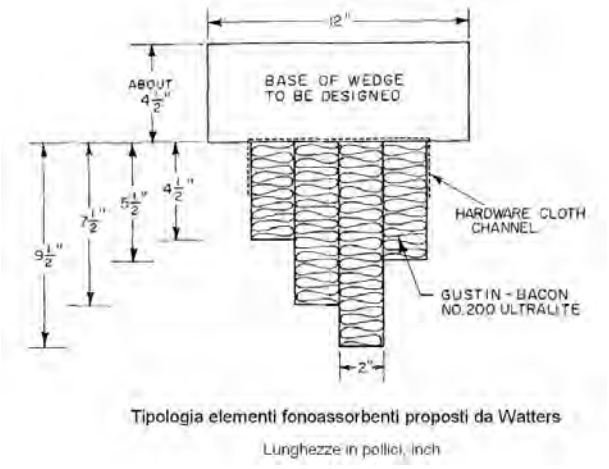


Fig. 6 – Sezione della struttura tipica proposta da Watters per il rivestimento di camere anecoich (da Watters, 1958).

a onde stazionarie in quanto fornisce risultati solo per l'incidenza normale del suono, mentre il sistema in opera è soggetto a onde incidenti da più direzioni.

Come riportato da Bruel [2], nel 1952 Lothar Cremer, professore presso l'Università Tecnica di Berlino, suggerì la costruzione di una camera come rappresentato nella Figura 7-SX. Il trattamento fonoassorbente era costituito da uno strato spesso di lana di vetro attaccato alle pareti interne strutturali, seguito da cubi di lana di vetro di densità differente infilati come i grani di una collana in un supporto filiforme.

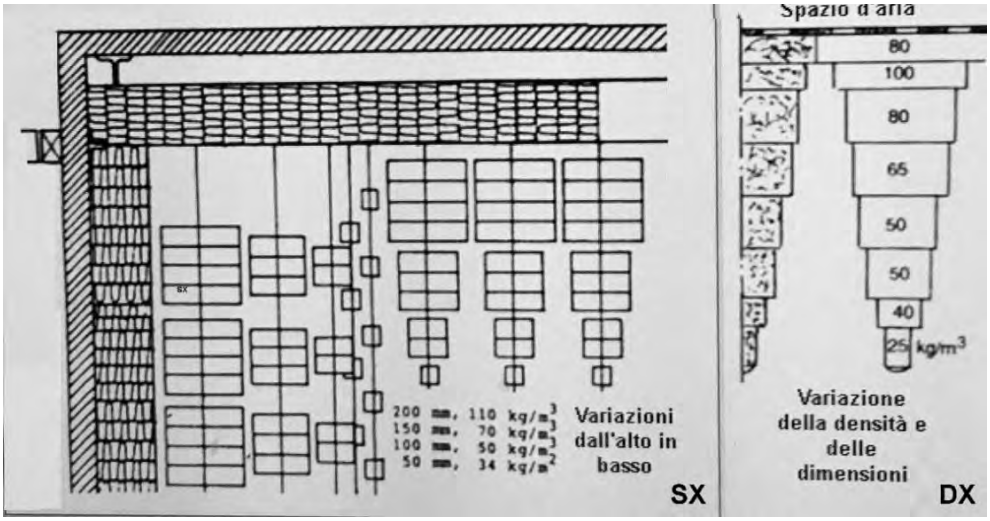


Fig. 7 – Esempi di idee di Cremer. SX: un particolare di camera anecoica con allestimento in opera; DX: Singolo elemento con dimensioni e densità della lana di vetro variabili (da [2]).

I cubi dovevano essere montati in modo casuale. Il professore Cremer si riferiva a questo sistema con la denominazione "giungla acustica". Uno dei vantaggi rispetto ai cunei era l'assenza di effetti di diffrazione coerente, tuttavia il sistema risultava più costoso rispetto ai primi. Questo trattamento fu applicato in camere anecoiche in Danimarca, Svezia e in Brasile.

Data la disponibilità all'epoca delle resine espanse porose, anche i cunei furono realizzati con questi materiali piuttosto flosci. Per evitarne la inflessione erano usate delle anime rigide (Klimov e Rivin, 1963).

In tempi più recenti sono stati sviluppati rivestimenti di forme e materiali diversi, in dipendenza delle finalità dell'uso della camera anecoica. E' utile sottolineare qui che il campo libero in una camera anecoica può essere realizzato a partire da una certa frequenza minima con lunghezza d'onda λ se la profondità del trattamento fonoassorbente è almeno $\lambda/4$.

Anche le porte di ingresso alle camere anecoiche erano rivestite di cunei; esse erano pesanti per mantenere l'isolamento acustico del guscio strutturale e pertanto, erano movimentate su rotaie al livello del pavimento calpestabile esterno, il che comportava il ribasso del fondo strutturale della camera. I tecnici che operavano nella camera si muovevano su passarelle sospese sui cunei sottostanti o su reti di filo di acciaio collegate in tensione a una cordolatura di c.a. inclusa nella struttura perimetrale. La Figura 8 mostra la passerella della camera grande a Harward [4], mentre la Figura 9 mostra la rete tesa con un operatore e altoparlanti sovrastanti [4].

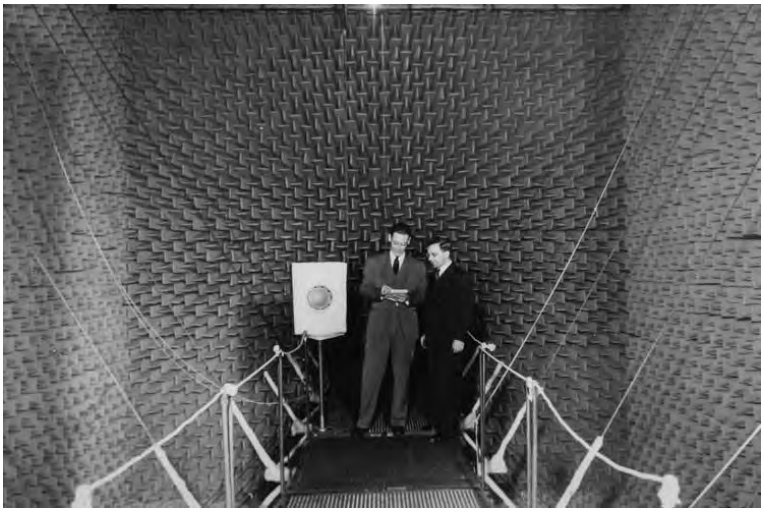


Fig. 8 – Vista delll'interno della camera anecoica grande dell'Università di Harvard. La passerella era sospesa all'altezza di 2,16 m rispetto alle punte dei cunei sottostanti (da [3]).

Fig. 9 – Operatore ed altoparlanti sulla rete calpestabile sospesa sui cunei sottostanti (da [4]).

Allo scopo di limitare il disturbo del campo libero le reti erano realizzate con maglie di larghezza pari ad almeno 5 cm, pertanto gli operatori si muovevano su racchette simili a quelle per camminare sulla neve.

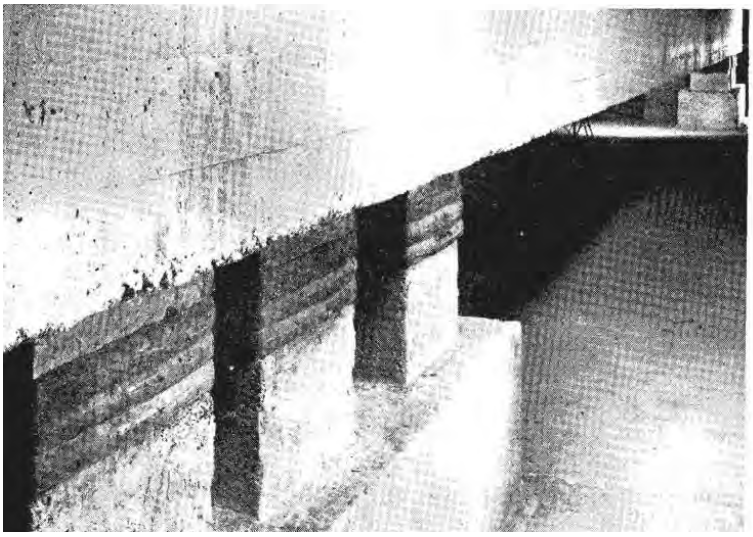


Fig. 10 – Sospensione di tutta la camera anecoica su plinti in c.a. interrati tramite isolatori di vibrazioni interposti (da Ingerslev et al., 1967/68).

Mezzi per la quiete sufficiente

La quiete sufficiente dipende dal tipo di uso della camera nonché dall'ambiente rumoroso esterno. Ad esempio, la necessità di misura della soglia uditiva umana richiedeva provvedimenti molto impegnativi. In ogni caso, era ed è necessario ridurre per quanto possibile l'intrusione del rumore all'interno di una camera anecoica. L'uso di pareti doppie massive è stata la norma per la maggior parte delle camere anecoiche, dal momento che questo provvedimento limita la trasmissione del rumore nell'aria che incide sul guscio esterno. Per controllare anche le vibrazioni nel terreno, che diventano alla fine rumore e/o vibrazione indesiderabili all'interno della camera, erano utilizzati strati generosi di ghiaia sciolta intorno e sotto la platea su cui insisteva la camera (Beranek e Sleeper, 1946). Esistono casi in cui tutta la camera è stata sospesa su isolatori di vibrazione, ad esempio, la soluzione di (Ingerslev et al., 1967/68): gli isolatori furono collocati tra la platea della camera e dei plinti in c.a. interrati come rappresentato nella Figura 10.

Verifiche dei requisiti per le camere anecoiche

Una volta che la camera è stata costruita, ne deve essere verificato il comportamento acustico. Beranek e Sleeper suggerirono come primario il rispetto della legge quadratica inversa del campo libero (Beranek e Sleeper, 1946). Il metodo preferito fu basato sull'uso di sorgenti compatte non direttive e la rilevazione microfonica

del livello di pressione sonora lungo diverse traiettorie rettilinee; gli scarti rispetto alla legge ideale quadratica inversa definivano gli spazi utili. Oltre questa verifica, era necessaria quella del fonoisolamento, Ad esempio, Ingerslev et al. (1967/68) misurarono queste prestazioni della loro camera grande, sia per la via aerea sia per quella strutturale. Per la via aerea usarono il rumore di un elicottero che stazionava a 15 metri sopra la camera, per quella strutturale le vibrazioni eccitate nel terreno adiacente con un battipalo.

Conclusioni

È stato descritto molto succintamente un iter storico dello sviluppo delle camere anecoiche acustiche considerando i componenti principali indispensabili per la realizzazione del campo libero nello spazio interno e la quiete necessaria per la fruizione in situazioni relativamente critiche. Tuttavia, altre funzionalità importanti sono state omesse per brevità, come, ad esempio, i problemi del condizionamento dell'aria, dell'illuminazione e dei cablaggi di reti di comando all'interno delle camere.

Bibliografia

Bedell E.H. 1936. Some data on a room designed for free field measurements. Journal of Acoustical Society of America, 6, 118-125.

Beranek L.L., Sleeper H. JR. 1946. The Design and Construction of Anechoic Sound Chambers. Journal of Acoustical Society of America, 18(1), 143-150.

Ingerslev O., Pedersen J., Møller P.K. 1967/68. New rooms for acoustic measurements at the Danish Technical University. Acustica, 19, 185-199.

Klimov B.M. and Rivin A.N. 1963. Sound Absorbing Phenopolyurethane Wedge Coatings. Soviet Physics-Acoustics, 8, 286-287.

Meyer E., Buchmann G., Schock A. 1940. A new sound absorbing arrangement of high efficiency and the construction of an anechoic room. Akustische Zeits., 5, 352-364.

Walker Downey. 2018, In the Free Field: Doug Wheeler's PSAD Synthetic Desert III and Anechoic Histories. Art Journal Open, August.

Watters B.G. 1958. Design of Wedges for Anechoic Chambers. Noise Control, 4, 32-37.

Webgrafia

[1] https://www.communitypro.com/community-completes-new-loudspeaker-test-facility#slideshow-2

[2] http://www.bruel-ac.com/tr/tr9602/tr9602.html

[3] https://www.linkedin.com/pulse/beraneks-box-first-anechoic-chamber-ever-built-perressim?trk=related_a%20tice_Beranek%26amp%3Bamp%3B%2339%3Bs%20Box%3A%

[4] https://www.bell-labs.com/anechoic-chamber/

Angelo Bertolazzi, Luigi Stendardo

Dagli archivi in rete al museo diffuso dell'ingegneria: il fondo del Genio Civile di Verona e la sua valorizzazione

Abstract
The twentieth century engineering archives conservation and protection necessarily run through their knowledge and sharing of their cultural value. The ARCOVER project aims to collect archive documentation in a single digital database to connect the various public and private archives of Verona to each other, in order to facilitate consultation and dissemination. This work is the starting point for the project of cultural itineraries dedicated to twentieth-century engineering. The aim is the communication and valorization of a heritage, documentary but also urban, of a century – the twentieth – which is not always recognized, and which risks a material and cultural dispersion and destruction.

Introduzione
Una delle eredità che ci ha lasciato il "secolo breve", come lo definì Eric Hobsbawn, è la grande quantità di materiale d'archivio, in particolare quello che ha riguardato il progresso tecnico dell'ingegneria del Novecento. Questo pone enormi problemi di conservazione, conoscenza, fruizione e valorizzazione, molto diversi rispetto al materiale documentario dei secoli precedenti. Tali problematiche, specialmente in Italia, hanno origine anche da una diversa percezione del valore culturale del patrimonio materiale e immateriale dell'ingegneria: mentre nessuno oserebbe mettere in discussione il valore di un palazzo o di una chiesa palladiana, la medesima qualità non è riconosciuta per un'opera di Nervi o di Morandi, come la vicenda del viadotto sul Polcevera ha drammaticamente messo in luce.

La necessità di conoscere, conservare e far conoscere gli archivi del Novecento a un pubblico più ampio rispetto a quello degli specialisti della storia dell'ingegneria o della costruzione, nasce quindi dalla duplice necessità di ricomporre i frammenti della città novecentesca nei quali affondano le radici della contemporaneità e di conoscerne gli aspetti materiali e riuscire quindi a trasformarla.

Questo contributo espone i primi risultati del progetto ARCOVER (Archivi del COstruito VEronese in Rete), il cui obiettivo è quello di raccogliere la documentazione archivistica creando un unico database digitale per mettere in connessione tra loro i diversi archivi pubblici e privati di Verona, al fine di facilitarne la consul-

tazione e la diffusione. Tale lavoro è il punto di partenza per il progetto di percorsi culturali dedicati all'ingegneria del Novecento, con cui comunicare e valorizzare un patrimonio documentale e urbano di un periodo, il Novecento appunto, che non sempre è riconosciuto e che rischia la dispersione e la distruzione.

Il progetto ARCOVER – Archivi del COstruito VEronese in Rete

La complessità del Novecento, la specializzazione dei saperi e la frammentazione delle competenze hanno prodotto archivi e quindi dati paralleli che necessitano di una ricomposizione e di una lettura trasversale, come punto di partenza per la comprensione e la condivisione degli aspetti culturali dell'ingegneria e in generale della città del Novecento.

Il progetto triennale ARCOVER ha come obiettivo la ricerca, la conoscenza e la divulgazione dei fondi archivistici che raccontano la storia e l'evoluzione del costruito veronese del Novecento, al fine di promuovere una attenta e consapevole conservazione del patrimonio archivistico e, in prospettiva, di quello costruito[1].

I "casi di studio" analizzati nel progetto sono stati inizialmente il fondo Ufficio Distrettuale delle Imposte Dirette (AA.VV. 2018), quello dell'Ufficio Statale del Genio Civile di Verona e il fondo Cartografico presenti nell'Archivio di Stato di Verona, cui si sono aggiunti altri fondi appartenenti all'Archivio Generale del Comune di Verona e ad altri Enti veronesi, che sono stati necessari, come vedremo, a completare la visione d'insieme e a integrare il quadro metodologico edilizia/infrastruttura/cartografia impostato con i primi tre fondi.

L'aspetto più innovativo del progetto ARCOVER è l'integrazione della documentazione archivistica dei principali aspetti fondanti del territorio: cartografia, infrastrutture e patrimonio edilizio. Per fare questo è stato necessario tessere una rete di soggetti pubblici e privati (proprietari o conservatori dei diversi fondi archivistici) e di Università e associazioni, impegnate rispettivamente nella ricerca e nella diffusione sul territorio dei risultati del progetto[2].

L'attività di disseminazione del progetto è stata concentrata da un lato sull'organizzazione di mostre dedicate a specifici temi emersi dalla ricerca archivistica[3] e dall'altro sull'implementazione di un portale nel quale raccogliere i documenti e intersecarli in modo da fornire una lettura del territorio veronese e della città novecentesca per *layer*.

All'interno del portale i singoli edifici di cui è stata reperita la documentazione archivistica sono stati geo-referenziati sulla cartografia storica, sugli strumenti urbanistici e sulla cartografia attuale, consentendo una sempre più dettagliata lettura cronologica del territorio, del tessuto edilizio e delle infrastrutture. Le informazioni all'interno del portale verranno strutturate a seconda dei diversi profili di utenti previsti, dallo studioso al professionista, fino al cittadino comune, mantenendo tuttavia una buona capacità comunicativa ed attrattiva.

Il 'caso studio': l'Archivio dell'Ufficio statale del Genio Civile di Verona

L'Archivio del Nucleo Operativo di Verona dell'Ufficio Statale del Genio Civile è costituito da 2586 faldoni, 466 registri, 8 mazzi e da più di 6000 fotografie, per un totale di 520 metri lineari, che conservano l'attività dell'Ufficio tra il 1920 e il 1987[4]. Si tratta di un fondo non ancora riordinato contenente documentazione prodotta da due distinti organismi, che gestirono a livello periferico l'esecuzione delle opere pubbliche a Verona e provincia fra i primi del Novecento e gli anni Cinquanta: il Servizio Generale, ossia la struttura ordinaria, e l'Ufficio Speciale per gli edifici governativi, creato nel 1911 per la costruzione degli edifici ministeriali voluti da Giolitti e soppresso nel 1928, quando le sue competenze passarono al Servizio Generale.

L'archivio comprende anche la documentazione prodotta dal Corpo Reale del Genio Civile e risulta costituito da fascicoli conservati nell'ordine stesso di versamento e da una serie di registri che presenta numerazione propria. Il materiale documentario riguarda lavori e interventi di varia natura relativi a strade, fabbriche, ponti, navigazione dell'Adige, porti, fari e fanali, bonifiche, carceri, telegrafi, lavori comunali, polizia e sicurezza pubblica, acque pubbliche.

Fig. 1 – Lavori di ricostruzione di lungadige Campagnola, 1929-30 (ASVr).

Fig. 2 – Costruzione di ponte delle Navi, 1934-36: il cantiere e il ponte ultimato (BCVr).

A Verona il ruolo del Corpo del Genio Civile aumentò di rilevanza a partire dai primi anni del Novecento, nonostante la fondamentale attività svolta dopo la piena dell'Adige del 1882 (Bertolazzi, 2016) con la costruzione dei muraglioni, quando anche la città scaligera si avviò verso una rapida industrializzazione per la quale si rendevano necessarie importanti infrastrutture: bonifiche idrauliche, illuminazione pubblica, trasporti ed impianti dell'energia (Mulazzani, 1995; Pavan, 1996; Vecchiato, 1998).

Dopo la pausa della Grande Guerra tale attività riprese con rinnovato vigore e con essa aumentarono le competenze dell'Ufficio Speciale, come nel caso dell'edilizia residenziale pubblica (IACP e INCIS), che conobbe un sensibile incremento a partire dagli anni Venti. Negli anni Trenta l'Ufficio svolse una intensa attività nella ultimazione dei lavori di sistemazione del tronco urbano dell'Adige, progettati dall'Ufficio Tecnico del Comune di Verona nel 1883-85, e resisi necessari dopo una ulteriore piena dell'Adige nel 1926 (S.A., 1936; Miliani, 1937). I cantieri interessarono prevalentemente la riva sinistra: tra il 1928 e il 1936 vennero completati su progetto dello stesso Ufficio del Genio Civile i lavori di protezione delle rive dei lungadige Attiraglio, Campagnola, in Figura 1, e di San Giorgio, ribattezzato "del Littorio"(Bertolazzi, 2019). Questa attività si integrò con la costruzione o ricostruzione dei ponti urbani, resasi necessaria per l'aumento del traffico che accompagnò lo sviluppo urbano di Verona. In breve tempo vennero costruiti i ponti della Catena (1928-29), della Vittoria (1928-1929) e di San Francesco (1929-1930), mentre vennero ricostruiti i ponti Garibaldi (1933-35), delle Navi (1934-36), come mostrate nelle Figure da 2 a 4, Umberto (1935-37) e Aleardi (1939-40). Il progetto di questi ponti, curato dall'Ufficio Tecnico del Comune di Verona, venne seguito dall'Ufficio del Genio che ne verificava gli aspetti idraulici e strutturali e, nella parte esecutiva, gli stati di avanzamento e la liquidazione finale dei lavori. L'impegno dell'Ufficio del Genio Civile sui ponti urbani aumentò subito dopo la Seconda Guerra Mondiale,

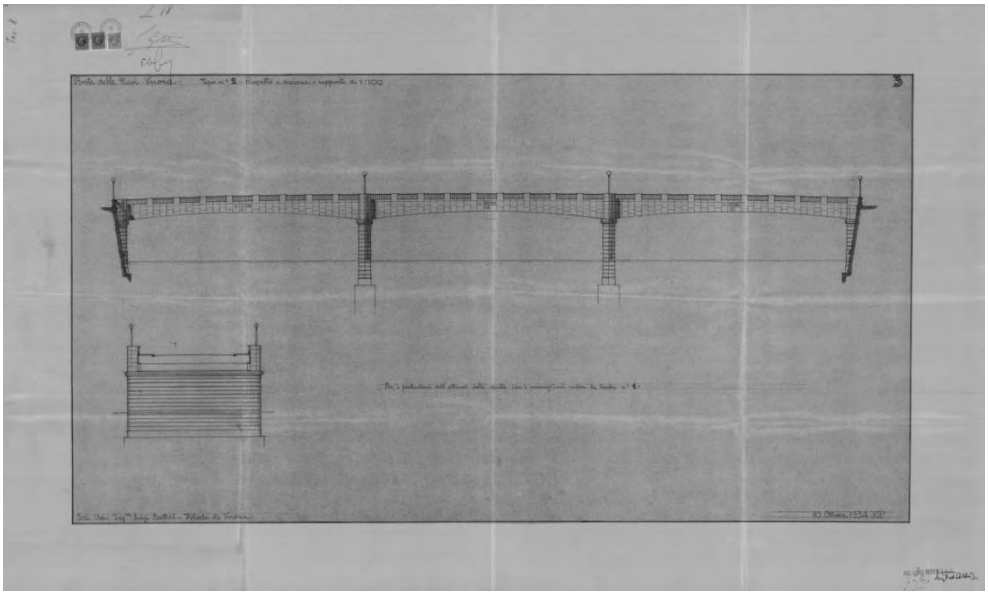


Fig. 3 – Ricostruzione di ponte delle Navi, 1934-36: disegni architettonici (arch. A. Midana) (ACVr).

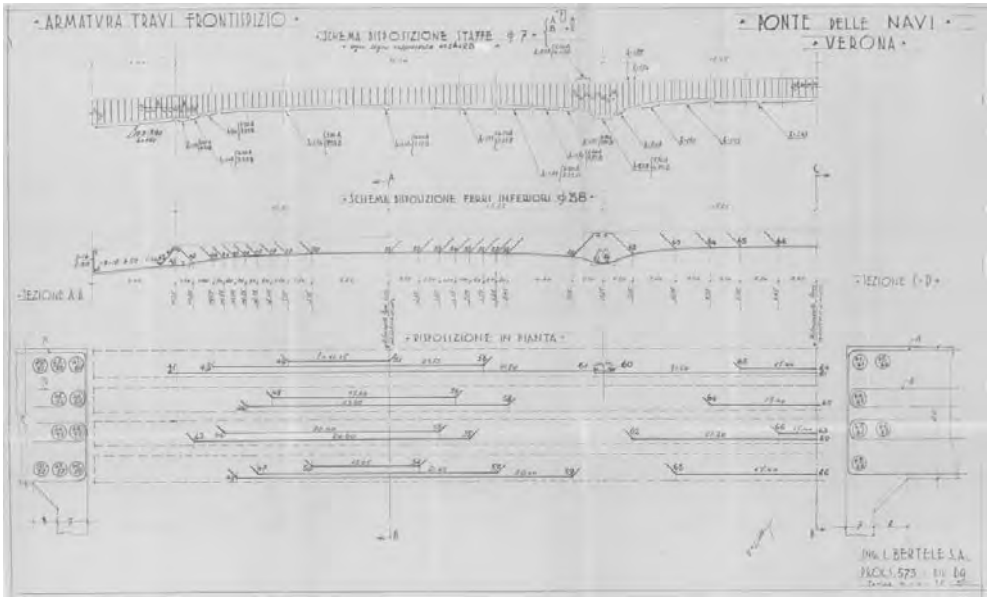


Fig. 4 – Ricostruzione di ponte delle Navi, 1934-36: disegni strutturali (ing. G. Albenga e L. Bertelé) (ASVr).

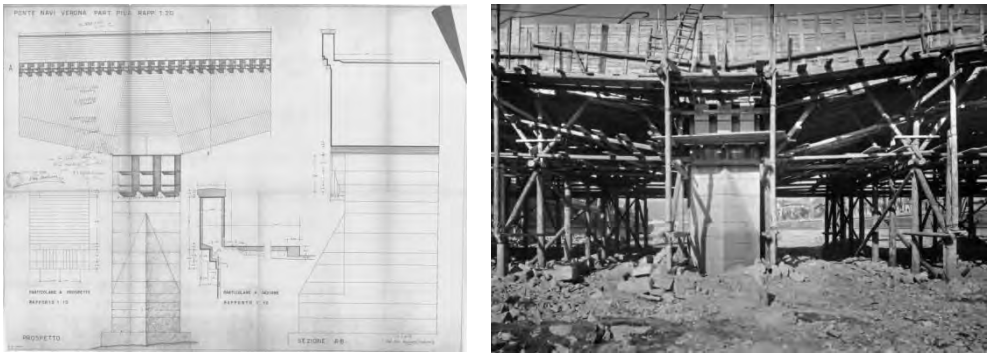


Fig. 5 – Ricostruzione di ponte delle Navi, 1947-49: dettaglio architettonico della pila (BCVr) e vista del cantiere durante i lavori (ASVr).

quando la loro ricostruzione rientrò nella vastissima opera di riparazione dei danni bellici sofferti da Verona: l'Ufficio veronese curò tra il 1945 e il 1947 il progetto e il cantiere dei primi cinque ponti ricostruiti: quelli urbani della Catena, Garibaldi e Umberto e quelli di Cavaion e Albaredo. Successivamente svolse un'attività di coordinamento tecnico per gli aspetti idraulici e strutturali e per quelli riguardanti l'appalto e la direzione lavori relativi alla ricostruzione dei ponti delle Navi (1947-49), in Figura 5, Aleardi (1949-50), San Francesco (1949-1951) e della Vittoria (1951-1953). A questa attività si aggiunse la supervisione durante la ricostruzione dei ponti storici, Scaligero (1949-51) e della Pietra (1957-59) e successivamente la costruzione di due nuovi ponti sull'Adige, ponte Risorgimento (1966-68) di Pier Luigi Nervi e ponte Unità d'Italia (1968-71) (Milani, 2003).

Proprio il caso dei lavori idraulici del tronco urbano dell'Adige (1928-36) e la costruzione/ricostruzione dei ponti urbani (1928-1958) ha rappresentato una importante verifica per il raggiungimento degli obiettivi del progetto ARCOVER. Per quanto riguarda i lavori idraulici, l'analisi è stata condotta soprattutto intersecando la cartografia storica (mappe catastali e foto aeree) e le immagini del fondo fotografico del Genio Civile, cui si è aggiunto il materiale del fondo ex-UDID, che ha consentito di ricostruire gli aspetti edilizi e urbanistici di alcuni lungadige, in particolare quello del Littorio, dove tra il 1935 e il 1936 la nuova infrastruttura sostituì il tessuto medievale e quello della Campagnola, che tra il 1930 e il 1960 fu pesantemente trasformato[5].

Il caso della costruzione/ricostruzione dei ponti è stato un notevole campo di applicazione della metodologia proposta dal progetto ARCOVER. L'analisi delle 28 buste relative ai ponti provenienti dall'Ufficio del Genio Civile ha evidenziato subito la frammentarietà degli archivi del Novecento, dovuta non solo alle vicende comuni a tutti gli archivi, cioè dispersione e perdita del materiale, ma anche alla specializzazione delle competenze quale esito di quella del sapere tecnico. Il materiale prodotto

dall'Ufficio del Genio Civile riguarda infatti prevalentemente gli aspetti idraulici (calcolo della sezione idraulica e delle fondazioni delle pile) e tecnici (progetto, dimensionamento e verifica delle strutture verticali e orizzontali del ponte, prove sui materiali, direzione lavori, contabilità e liquidazione finale dei lavori), mentre mancano, o sono frammentari, i documenti sugli aspetti architettonici e urbanistici che hanno portato alla realizzazione del manufatto.

Tali lacune sono state colmate approfondendo la ricerca presso altri archivi dei partner del progetto ARCOVER: presso l'Archivio Generale del Comune sono stati recuperati i documenti relativi ai concorsi di progettazione dei ponti, oltre alle delibere del Consiglio Comunale e ai contratti d'appalto dei ponti. L'Archivio della Soprintendenza ha invece fornito il quadro conoscitivo sulla problematica dell'inserimento del ponte nel contesto urbano e i vincoli di carattere paesaggistico che hanno condizionato le scelte tecniche, in particolare quella di rivestire in pietra locale le strutture in calcestruzzo armato e di utilizzare strutture con pile in alveo invece di soluzioni a campata unica. Le ricerche presso il Gabinetto Fotografico della Biblioteca Civica di Verona hanno consentito di integrare le fotografie scattate dall'Ufficio del Genio Civile durante il cantiere per certificare lo stato di avanzamento dei lavori.

Dalla mostra agli itinerari urbani

Il progetto ARCOVER ha lavorato nella direzione della conoscenza e della conservazione dei materiali d'archivio, per contribuire alla loro conservazione e allo stesso tempo favorirne la fruibilità e la diffusione a vantaggio di un ampio orizzonte di destinatari, che comprende studiosi, amministratori, cittadini, turisti e diversi *stakeholder*. La messa in rete della documentazione è un'azione fondamentale, indispensabile per accorciare, e magari annullare, quella distanza tra il pubblico e l'archivio che rischia di far inaridire nell'indifferenza, se non nell'oblio, documenti che invece sono alimento vitale per la crescita degli individui e delle collettività che vivono la città, perché coltivino la conoscenza, la memoria e una partecipazione consapevole e critica alla vita urbana e alle scelte per il futuro della città. In questa prospettiva diventa interessante promuovere nuove modalità di consultazione, fondate su tecnologie innovative, le ICT, che favoriscono la conservazione dei documenti originali, consentendone una replicabilità virtuale pressoché infinita e una accessibilità da parte di un ampio pubblico di non addetti ai lavori e, in particolare, molto *friendly* per le giovani generazioni. Inoltre, organizzare eventi divulgativi come giornate di studio, dibattiti e mostre è evidentemente un'azione che va nella direzione già intrapresa dal progetto ARCOVER, che mira in prospettiva a reintegrare nel vivo della città la messe di informazioni, immagini, conoscenze, conservate negli archivi Veronesi, cogliendo e coltivando tutte le potenzialità offerte dalle ICT e, in particolare, implementando esperienze di realtà aumentata attraverso itinerari urbani nella città scaligera. La visione che il progetto propone è quella di una città capace di raccontare sé stessa proponendosi allo stesso

tempo come spazio urbano di grande qualità architettonica e come interfaccia per evocare le immagini e le informazioni, storiche, tecnologiche e scientifiche conservate in archivio. Gli stessi luoghi nei quali avvennero le trasformazioni urbane che hanno disegnato la Verona moderna attraverso opere di ingegneria che furono allo stesso tempo di architettura urbana e di paesaggio possono diventare itinerari culturali, lungo i quali è possibile richiamare le immagini e le informazioni d'archivio attraverso applicazioni dedicate, capaci di riconoscere parti ed elementi della città e di sovrapporre loro le viste in cui quegli stessi elementi appaiono così come erano prima delle trasformazioni o nel momento in cui esse erano in corso. Si potrà quindi riportare a oggi le immagini passate, realizzando una visione in cui la città del presente non sarà più soltanto l'ultimo istante di una linea del tempo, della quale non si conoscono i punti precedenti, ma un sistema complesso di *layer* che sovrapponendosi ne riportano la storia all'attualità. Ancora si potranno ricostruire, attraverso analoghe esperienze di realtà aumentata, i processi costruttivi che hanno consentito la realizzazione delle opere e offrire opportunità uniche per comprendere come tecnicamente è fatta la città attraverso visioni che non si fermano alla superficie delle cose, ma rappresentano strati in profondità. Per l'implementazione di questa rappresentazione della città, nella quale si annullano le distanze tra passato e presente e tra processo costruttivo e manufatto realizzato, saranno gli stessi elementi fisici che costituiscono lo spazio urbano a funzionare da *beacon* riconoscibili dalle applicazioni progettate per la realtà aumentata. Le occasioni di conoscenza e di consapevolezza, ma anche di spettacolarizzazione della città, offerte da tale progetto potranno essere calibrate per *target* e destinatari differenti per età, provenienza, interessi e competenze; potranno essere utilizzate per fini educativi, come supporto alle decisioni per amministratori e per la partecipazione attiva della cittadinanza a tali processi decisionali, come data base per studiosi di storia urbana, di tecniche costruttive e di architettura, come risorsa per il turismo e come base di un sistema aperto ulteriormente popolabile di dati che potrà essere uno dei supporti sul quale si potranno scrivere altri capitoli di storia della città. In questo modo il sistema interattivo e *multi-layer* costituito da città e rete degli archivi non sarà più soltanto un modo per riportare il passato all'attualità, ma anche un modo straordinario per proiettare sul presente le visioni future. Si configurerà come un sistema sorprendente per accendere visioni, per discuterle, vagliarle, confrontarle. Potrà quindi funzionare come una sorta di moderno *urban centre*, o come una sezione di esso, calato nel vivo della città e pervasivo rispetto ad essa (Stendardo, 2020).

Conclusioni

La possibilità di intersecare i materiali provenienti da più archivi e quindi con diverse informazioni grafiche, fotografiche e tecniche, ha consentito di approfondire la conoscenza del singolo ponte all'interno del contesto urbano veronese e in relazione all'orizzonte tecnologico dell'epoca[6], fornendo così una vera e propria "radiografia"

del manufatto. Le informazioni acquisite dalla ricerca, oltre a confluire nel portale web, sono state raccolte e riordinate per una mostra, organizzata con il Comune di Verona, l'Archivio di Stato, la Soprintendenza di Verona e gli altri partner di ARCO-VER, che propone sia una raccolta di documenti originali, principalmente disegni e fotografie, integrati con pannelli esplicativi, sia una mappa per un itinerario culturale lungo l'Adige, per la scoperta dei ponti urbani. L'obiettivo della mostra è quello di sensibilizzare e formare un pubblico il più ampio possibile sui temi dell'ingegneria e delle infrastrutture veronesi del Novecento, che hanno determinato la forma urbis attuale. L'obiettivo degli itinerari culturali in prospettiva è quello di costituire un layer urbano virtuale ma presente e percepibile, profondamente immerso nella città di pietra e negli orizzonti culturali di chi la attraversa.

Ringraziamenti
Gli autori ringraziano sentitamente: Roberto Mazzei (Direttore ASVr), Michele De Mori, Marco Cofani, Silvia Dandria, Davide Rizzi, Fabrizio Leardini (ACVr), Roberto Raise (Direttore BCVr).

Acronimi
ACVr: Archivio del comune di Verona
ASVr: Archivio di Stato di Verona
BCVr: Biblioteca civica di Verona

Bibliografia
AA.VV. 2018. *Verona in trasformazione 1920/1960. Catalogazione dei progetti edilizi Ex-UDID*. Verona: Editrice Polis.
Bertolazzi A. 2016. *L'Adige e Verona (1882-1895). Ingegneria e città nell'Ottocento*. Verona: Editrice Polis.
Bertolazzi A. 2019. *Opere pubbliche nell'area di San Giorgio nel Novecento*. Verona: Edizioni Zerotre.
Milani G. 2003. *I cinquantacinque ponti di Verona*. Verona: Editrice La Grafica.
Miliani L. 1937. *Le piene dei fiumi veneti e i provvedimenti di difesa*. Firenze: Le Monnier.
Mulazzani M. 1995. Il Novecento da Sant'Elia a Scarpa. In: *Architettura a Verona dal periodo napoleonico all'età contemporanea*. Verona: Banca Popolare di Verona.
Pavan V. 1996. Le opere del Regime. In: *Urbanistica a Verona (1880-1960)*. Verona: Editrice La Grafica.
S.A. 1936. Opere Pubbliche del Regime: i lavori per la difesa delle sponde dell'Adige a Verona. Annali dei Lavori Pubblici, 8, 646-647.
Stendardo L. 2020. *Cantieri sull'Adige. Trasformazioni urbane a Verona negli anni Trenta*. Verona: Edizioni Zerotre.
Vecchiato M. 1998. "Sventriamo Verona": la tutela del centro storico cittadino e il ruolo della Regia Sovrintendenza. In: *Verona nel Novecento. Opere pubbliche, interventi urbanistici, architettura residenziale dall'inizio del secolo al Ventennio (1900-1940)*. Verona: Editrice La Grafica.

Note

1. Il progetto ARCOVER è risultato vincitore del bando Archivi promosso da Fondazione Cariverona con lo scopo di "*attivare un programma finalizzato alla valorizzazione, divulgazione e fruizione su larga scala del patrimonio di riconosciuto interesse e valore storico-culturale*". Il gruppo di lavoro è formato da: Angelo Bertolazzi (UniPD), Michele de Mori (AGILE), Silvia Dandria e Marco Cofani (Soprintendenza BB.PP.AA. di Verona), Enrico Mischi, Johnny Nicolis e Davide Rizzi.
2. La rete di partenariato comprende l'Archivio di Stato di Verona, il Comune e la Provincia di Verona, gli Ordini degli Architetti e degli Ingegneri, ANCE Verona, l'Accademia di Belle Arti e quella di Agricoltura, Scienze e Lettere, la Soprintendenza BB.PP.AA. di Verona, il Politecnico di Milano e l'Università degli Studi di Padova. In quest'ultimo caso il gruppo di ricerca vede impegnato il Dipartimento di Ingegneria Civile Edile ed Ambientale e in particolare: Angelo Bertolazzi (responsabile scientifico), Giorgio Croatto, Michelangelo Savino e Luigi Stendardo.
3. In particolare nel 2018 è stata allestita la mostra "Verona in Trasformazione 1945-1965" relativa ai progetti edilizi del fondo Ufficio Distrettuale Imposte Dirette di Verona, nel 2019 sono state organizzate le mostre itineranti"Lungadige" e "La Manifattura Tabacchi a Verona, coltivazione e lavorazioni del tabacco", mentre nel 2020 è stata organizzata la mostra "Ponti 900" sulla costruzione/ricostruzione di ponti in cemento armato a Verona.
4. Il materiale è stato trasferito all'Archivio di Stato con tre versamenti; il primo nel 1970 riguardante il materiale dell'Ufficio Provinciale Pubbliche Costruzioni e costituito principalmente da registri di protocollo documentazione contabile e catastale, atti di investiture e carteggi, per un totale di 343 unità (buste e registri). Il secondo versamento del 2017 ha riguardato il fondo del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche (1931-1987) per un totale di 350 metri lineari inerenti diversi ambiti di intervento (danni bellici, personale, contabilità, strade, circolazione e traffico, edilizia popolare, edilizia privata, impianti elettrici, edilizia scolastica, edilizia sovvenzionata, cantieri scuola, registri protocollo). Il terzo versamento nell'autunno del 2018 ha interessato i 170 metri lineari del fondo del Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche ex Magistrato alle Acque (1920-1987) riferiti agli edifici demaniali e a lavori idraulici con relative planimetrie e su altri corsi d'acqua (in particolare: fiume Adige, fiume Tartaro, lago di Garda, fiume Mincio, fiume Bussè e canale Adige Guà). Questi due ultimi versamenti sono stati resi possibili solo dopo una preventiva opera di tutela archivistica per evitare la dispersione del materiale, come nel caso del fondo ex-UDID, conservato presso l'Archivio di Stato di Verona.
5. La ricerca – estesa anche ad altri archivi cittadini (Comune, Provincia e Soprintendenza) e nazionali (Archivio Centrale dello Stato a Roma) – non ha portato al reperimento della documentazione dei lavori di sistemazione novecentesca del tronco urbano dell'Adige.
6. Un aspetto su cui fino ad oggi le ricerche non si erano soffermate a sufficienza è stato il processo progettuale dei ponti, e soprattutto delle strutture in calcestruzzo armato, che vedeva l'Ufficio del Genio Civile di Verona collaborare con i tecnici del Comune e delle imprese aggiudicatrici dei lavori. In quest'ultimo caso tra i progettisti strutturali figurano alcune delle più importanti figure della Scuola di Ingegneria Italiana: Luigi Santarella (ponte Garibaldi, 1933) Giuseppe Albenga (ponte delle Navi, 1937), Arturo Danusso (ponte della Vittoria, 1928 e 1949; ponte Umberto, 1946; ponte Garibaldi, 1946) e Giulio Krall (ponte di Albaredo, 1946).

Valentina Cinieri, Giacomo A. Turco

Tecniche costruttive storiche diffuse nelle Quattro Province: un progetto colto di organizzazione del territorio

Abstract
The geographical area of Ligurian Apennines identified with the expression Quattro Province (Four Provinces, an area at the borders of the provinces of Alessandria, Genova, Pavia, and Piacenza) includes territories of different administrative institutions, but characterized by similar cultural features. Analogies are found in popular traditions (e.g. music, local festivals) and in building types. In particular, the most ancient examples of local architecture, both civil and religious, have common technological features, that characterize this area in a peculiar way. Studies about Longobardic documents and medieval material evidences show that the activity of the monasteries determined a real urban planning: after the fall of the Western Roman Empire, the territory was dominated by severe decline and economic crisis, even though this area was important for pilgrimage and commerce (Salt road, Via degli Abati, Via Postumia). The organization in monastic cells, each with its own economic function, is still recognizable in recurring toponyms, evocative of specific types of cultivation or farming (e.g. Pecorara, Porcile, Pometo, and Noceto). The building activity was not spontaneous, but it had been entrusted to craftsmen who planned constructions according to a precise design, using cultured technologies and defined measures (eulithic architecture1). More recent rural buildings often have reused materials of pre-existing constructions. Even if they present modifications, rural buildings have the main elements of the eulithic architecture, which certainly had to represent a model for local inhabitants.

Introduzione
Appennino delle Quattro Province è una definizione che identifica un territorio delimitato grosso modo dai corsi dei fiumi Trebbia e Scrivia, a est ed a ovest, dai monti dell'entroterra genovese, a sud, e dalle colline del Tortonese e dell'Oltrepò Pavese e piacentino, a nord, ovvero un territorio prevalentemente montano suddiviso tra le circoscrizioni amministrative delle province di Alessandria, Genova, Pavia e Piacenza[2]. La denominazione Quattro Province riflette una comunanza culturale e sociale che è sempre stata molto forte tra le popolazioni locali e che interessa vari aspetti culturali, quali la musica e il canto tradizionali, i riti, i dialetti, le forme di economia e gli scambi commerciali tra le valli dei quattro versanti amministrativi del territorio (Ferrari et

al., 2008). Le analogie culturali non riguardano solo usi e costumi, ma sono riscontrabili anche nei tipi edilizi storici. In particolare, le architetture più antiche, sia civili che religiose, presentano comuni caratteristiche ed elementi tecnologici che connotano in maniera peculiare questa area, con alcuni esempi in valli e territori limitrofi, al di fuori dei confini delle Quattro Province (e.g. Val di Magra, Val di Taro, Cinque Terre). Le testimonianze materiali dei tipi architettonici comuni sono diffuse soprattutto nelle aree del genovesato – specialmente nelle di valli Sturla, Penna, Fontanabuona, Malvaro, Aveto, Brevenna – e nel piacentino – con maggiore concentrazione in Val Trebbia, Alta Val Nure, Alta Val Tidone; nell'area pavese sono state ritrovate principalmente nelle zone di Romagnese, Varzi e Zavattarello, mentre nell'alessandrino sono in zone circoscritte, nei bacini della Val Curone e della val Borbera.

Le testimonianze materiali più antiche vengono associate alla cosiddetta architettura eulitica (dal greco *eu* e *lithos*, bella pietra), termine utilizzato dallo studioso e paleografo Osvaldo Garbarino (2007) per identificare un modo di costruire caratterizzato da un uso altamente simbolico e quasi monumentale della pietra locale. La manifestazione più significativa di questa arte muraria sono i massicci architravi dei portali, che conferiscono un senso di solennità e sacralità all'ingresso delle abitazioni, e su cui spesso è possibile leggere date e simboli incisi direttamente sulla superficie. Gli esempi di architettura eulitica in territori non compresi nell'area delle Quattro Province non sono stati considerati in questo articolo, sebbene parte integrante di una ricerca qui solo parzialmente descritta.

Caratteri costruttivi

Le costruzioni storiche diffuse nell'Appennino delle Quattro Province sono realizzate con strutture in muratura di pietra locale, generalmente calcari marnosi, anche se in alcuni territori dell'Appennino Ligure, come la Val Fontanabuona, è diffusa l'ardesia in relazione alla presenza delle cave di questo materiale. Le costruzioni civili erano realizzate su pendii, adattandosi e sfruttando il naturale declivio. I piani terra erano adibiti a funzioni di servizio – stalle, pollai, depositi – e i piani superiori, destinati a uso abitativo, potevano essere raggiunti tramite scale esterne. I collegamenti verticali interni avvenivano per mezzo di scale a pioli e botole nei solai, realizzati con travi e tavolato. Le coperture erano realizzate con *ciappe*, ovvero lastre irregolari di pietra sovrapposte, ed erano prive di canali di gronda. Talvolta, all'esterno, si trovavano i forni per il pane, che potevano essere di uso comune, anch'essi di muratura di pietra e copertura con ciappe.

Il sistema costruttivo è basato sulla costruzione di pareti verticali portanti con spessore abitualmente non inferiore a 60 cm. I muri presentano un aspetto simile a quello delle strutture a secco, ma gli elementi di pietra sono solitamente posati con scarsa quantità di malta – per lo più misture magre a base di calce e sabbia o terra argillosa – non visibile sul paramento esterno, che risulta caratterizzato da filari di

Fig. 1 – Scorcio di Cassagna (Ne, Genova). Fotografia di G.A. Turco.

Gli stipiti dei portali sono composti da paramenti, posizionati orizzontalmente, di costa o di piatto, e piedritti, elementi verticali, come negli esempi riportati nelle Figure dalla 1 alla 5; l'unico concio passante nella muratura è quello detto chiave – a raso, sporgente o di taglio – e ha il compito di legare l'elemento con il tessuto murario.

La lavorazione dei conci di cantonali e portali delle più antiche architetture è sempre uguale: le pietre erano sgrossate con punteruoli e scalpelli, quindi lavorate con colpi di martellina su tre parti, la faccia a vista e le facce superiore e inferiore, per far combaciare le parti durante l'assemblaggio. La faccia che doveva rimanere nascosta nella muratura era solo sgrossata, in modo da inserirsi nella tessitura muraria e legarsi meglio con la malta (Garbarino, 2007). Gli elementi non ripropongono misure fisse, ma i rapporti tra i lati minore e maggiore dei portali sono costanti e gli studi di Garbarino hanno messo in luce rispondenze tra le proporzioni dei portali e quelle della sezione aurea. La manifestazione più singolare di questa arte muraria sono i massicci architravi, che conferiscono un senso di solennità e sacralità all'ingresso. Il tipo più frequente è quello monolitico rettilineo, ma vi sono casi con elementi di forma lunata, a timpano o con forma sagomata a piattabanda; sono inoltre diffuse strutture ad arco costituite da un elemento unico o da due o più conci sagomati (Marmori, 1978).

Fig. 2 – Portali eulitici a Cattaragna (PC) e a Oramala (PV). Fotografie di G.A. Turco.

Fig. 3 – Portali eulitici a Perlezzi (GE). Fotografia di G.A. Turco.

Fig. 4 – Architettura eulitica a San Sebastiano e a Fabbrica Curone (AL). Foto di G.A. Turco.

Fig. 5 – Portale con croce patriarcale a Rovereto (PC). Foto di G.A. Turco.

Fig. 6 – Formella con Croce Ricrociata al Casone del Gatto (GE). Fotografia di G.A. Turco.

Fig. 7 – Cantonale con Mamme Longobarde a Bancora e cantonale datato a Montegrosso (GE).

Talvolta sugli architravi sono presenti date e simboli religiosi, incisi o scolpiti in rilievo sulla superficie[3]; tuttavia nella maggior parte dei casi le date, che variano solitamente dal XVI al XIX Secolo, non risultano coeve alle primarie costruzioni, ma aggiunte in epoca posteriore, forse in occasione di ristrutturazioni, benedizioni, passaggi di proprietà o altri eventi socialmente rilevanti.

Conci scolpiti – a rilievo o incisi – si trovano anche presso i cantonali murari, tra cui le cosiddette *mamme longobarde*[4], di cui sono riportati esempi nelle Figure 6 e 7. Seppur molto rari e difficili da riconoscere, in alcuni borghi con caratteri eulitici sono ancora conservati esempi di *teste apotropaiche*, sculture a tuttotondo o rilievi raffiguranti volti umani, spesso con espressioni severe o minacciose, come si vede nella Figura 8, posizionate in punti strategici degli edifici o dei centri abitati su architravi, conci vicino a portali o finestre, fontane, elementi posti al principio di sentieri[5].

Fig. 8 – Testa Apotropaica a Bancora (GE). Fotografia di G.A. Turco.

Gli edifici religiosi disseminati lungo le vie e presso gli abitati presentano analoghe caratteristiche, ad eccezione delle costruzioni più recenti. Si tratta di edifici per lo più ad aula unica con aperture di finestre e porte e cantonali similari a quelli descritti (Borsotti e Citi, 1999).

Una origine comune[6]

Sul piano storico, l'area in esame risulta inquadrata in epoca romana tra le Regiones VIII e IX, i cui insediamenti urbani più importanti erano per la Regio VIII, Piacenza e Velleia, per la IX Voghera, Tortona e Libarna.

Dopo il crollo dell'Impero Romano d'Occidente, al quale seguirono la riconquista bizantina al termine delle Guerre Gotiche (535-553) e la successiva invasione longobarda – Pavia cadde nel 572 – il territorio divenne teatro di una lunga guerra di frontiera tra i Longobardi e i Bizantini, i quali poterono controllare la costa grazie alla flotta imperiale fino al 643, quando anche la riviera ligure venne occupata da re Rotari. Durante questa lunga fase di stallo, l'area fu organizzata sul versante bizantino in unità amministrativo-militari dette *Fines*, la cui eco perdurò nella nomenclatura burocratica genovese fino al Secolo XI.

In tale quadro, nel 612 giunse alla corte dei re Agilulfo e Teodolinda San Colombano; tra il monaco irlandese e i reali si instaurò un proficuo clima di dialogo e collaborazione che sfociò, nel 614, nella concessione al Santo di un terreno di proprietà demaniale in Bobbio, allo scopo di insediarvi un monastero cattolico; si tratta di un monastero la cui fondazione è di diretta iniziativa regia, senza alcun consulto preventivo con le autorità episcopali o romane. Alla morte di Colombano nel 615, gli succedettero come abati Sant'Attala e San Bertulfo, mentre la protezione da parte della corona longobarda nei confronti di Bobbio proseguì e si rafforzò nel corso di tutto il VII e l'VIII secolo, secondo una politica proseguita dall'Impero Carolingio dopo la caduta del Regno Longobardo del 774. Addirittura, l'abate Wala (m. 836) fu cugino e consigliere di Carlomagno e di Ludovico il Pio. In epoca altomedievale, Bobbio conobbe una fase di grande sviluppo culturale ed economico.

Nel corso dei primi secoli di vita del monastero, per iniziativa regia e poi imperiale, il patrimonio amministrato dalla comunità colombaniana fu continuamente accresciuto con donazioni anche cospicue di terre, situate in varie parti del Nord Italia, ma principalmente nelle vicinanze di Bobbio e verso la costa ligure. Il ricorso alle competenze monastiche costituì per il regno longobardo un valido supporto per lo stato, le cui vaste proprietà fondiarie di fatto non avevano più conosciuto forme di amministrazione coerente ed efficiente fin dalla caduta di Roma. Alcuni estimi risalenti al IX secolo restituiscono un quadro molto vivido di come doveva presentarsi il territorio, che era organizzato in *curtes* orbitanti intorno a *cellae*, di più recente fondazione, dirette filiazioni del monastero bobbiese, a loro volta suddivise in numerose frazioni, ciascuna delle quali deputata ad una specifica tipologia di coltura o di allevamento; tale organizzazione ha lasciato tracce evidenti sia nella toponomastica[7] che nella disposizione stessa dei centri abitati.

Bobbio divenne sede episcopale nel 1014; il crescente dualismo tra le figure dell'abate e del vescovo, insieme al crescente potere economico e militare di comunità urbane quali Genova e Piacenza, portarono alla crisi del sistema curtense e alla perdita di controllo di gran parte dei possedimenti acquisiti da Bobbio nelle fasi iniziali di sviluppo, tanto che nel corso del XIV secolo la stessa città di San Colombano divenne sede di un feudo dei marchesi Malaspina, che vi insediarono un castello e una guarnigione armata. Nel corso dei secoli X-XIII, gli antichi domini bobbiesi, a partire, verosimilmente, dalle aree più distanti, passarono progressivamente sotto il controllo di altre entità politiche, delle quali seguirono le rispettive e peculiari vicende storiche.

Gli studi effettuati sui diplomi longobardi e sulle testimonianze materiali altomedioevali hanno dimostrato quanto l'operato dei monasteri abbia determinato una vera e propria pianificazione urbanistica del territorio, che, pur essendo di grande importanza strategica, poiché attraversato da vie di pellegrinaggio e commercio (e.g. via del Sale, via degli Abati, via Postumia), dopo la caduta dell'Impero Romano

d'Occidente si presentava in condizioni di forte degrado territoriale ed economico. La realizzazione degli edifici non era avvenuta "spontaneamente", ma era stata demandata ad artigiani e carpentieri che progettavano secondo un preciso progetto e tecnologie costruttive colte, nonché secondo proporzioni predefinite.

Perpetuazione delle tecniche

Quando le trasformazioni storiche hanno portato al decadimento del piano urbanistico colto alto-medioevale, l'architettura eulitica ha continuato a rappresentare il principale modello costruttivo locale. Architetture rurali di più recente costruzione riprendono le tecniche e in molti casi riutilizzano i materiali delle costruzioni preesistenti. Tuttavia, se all'origine le costruzioni eulitiche erano state realizzate da – o sotto il controllo di – maestranze specializzate, nei secoli successivi gli edifici erano autocostruiti dagli stessi abitanti, che, cercando di riprodurre le tecniche per imitazione, hanno apportato evidenti modifiche.

Nell'architettura spontanea l'individuo che costruiva un edificio agiva sulla base di un'idea astratta, il tipo, presente nella sua "coscienza spontanea", acquisita attraverso la conoscenza degli altri edifici in cui era stato o che aveva costruito egli

Fig. 9 – Gramizzola (PC). La copertura in ciappe è stata sostituita con tegole marsigliesi, ma l'edificio conserva le caratteristiche dell'architettura eulitica. Fotografia di G.A. Turco.

stesso (Caniggia e Maffei, 1979; Cinieri e Zamperini 2013). Nelle Quattro Province si ritrova un patrimonio edificato diffuso marcatamente locale, con rimandi o conservazione delle tecniche costruttive colte alto-medioevali, come evidenziato dagli esempi presentati nelle Figure dalla 1 alla 9. Il patrimonio edificato diffuso non è che la trasmissione al presente di una cultura tecnica fondata sulla tradizione (Cinieri e Zamperini, 2013; 2014), ovvero – dal latino *tradere* – la "*memoria di fatti e cose antiche, tramandata da racconti di vecchi a giovani, d'età in età*" [1], dove memoria è la facoltà "*per cui l'uomo conserva e ridesta in sé le immagini delle cose viste o sentite e delle idee acquistate*" (Palazzi e Folena, 1962). Con la tradizione si tramanda di generazione in generazione l'intera cultura di un gruppo etnico e le regole, tra cui quelle dell'edificare, si consolidano in "*una norma che non può essere messa in discussione, in quanto confortata e resa autorevole dalla continuità delle usanze*" (Torsello, 2006).

Una osservazione attenta delle testimonianze materiali e delle tecniche costruttive impiegate permette di riconoscere gli elementi eulitici da quelli che possiamo definire pseudoeulitici, derivanti dall'imitazione delle architetture colte[8]. La diffusione di forme e tipi ricorrenti in tutto l'Appennino delle Quattro Province connota questo territorio, rappresentando un patrimonio di grande importanza storico-culturale.

Conclusioni

Le prime importanti ricerche sugli edifici in ambito rurale sono state avviate da geografi[9] che hanno messo in luce le forme dei sistemi insediativi connesse alle funzioni agricole e alle tipologie di produzione attraverso studi di tipo economico ed etnografico. Fino a circa vent'anni fa, gli studi sugli insediamenti o sulle costruzioni liguri (Marmori, 1978; Montagni 1993) reputavano gli edifici in aree rurali quasi esclusivamente come esempi di architettura locale spontanea, senza mettere in luce particolari relazioni tra ambiti provinciali/regionali diversi. Inoltre, la letteratura sulle tradizioni ed il paesaggio italiani[10] non considerava quasi mai i territori del cosiddetto Appennino delle Quattro Province. È stato con i più recenti contributi (Garbarino, 2007; Ferrari et al., 2008; Cinieri, 2011; Ferrari, 2019) che sono state approfondite le conoscenze sulle tecniche costruttive e sul contesto socio-economico e culturale in cui queste sono nate e si sono diffuse.

La ricerca ancora in corso, parzialmente descritta in questo articolo mira a censire beni ed elementi tecnici diffusi nelle Quattro Province, restituendone, tramite fotografie di livello professionale, rilievi e informazioni storiche: una traccia mnemonica colta che possa da un lato lasciare una testimonianza scritta e grafica di un patrimonio di grande importanza tecnico-costruttiva e storica, dall'altro supportare il recupero e la conservazione dei manufatti con interventi che non ne alterino le peculiarità.

Bibliografia

Borsotti C., Citi D. 1999. Gli antichi oratori del Bobbiese. Archivum Bobiense, Studia III, 179-204.
Caniggia G., Maffei G.L. 1979. *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio, Venezia.
Chiappe M. 1996. *Il Tigullio e il suo Entroterra nell'Alto Medioevo*. Ovada: Ed. Ips Srl.
Cinieri V. 2011. *Embresi un borgo da valorizzare*. Bobbio (PC): Pontegobbo.
Cinieri V., Zamperini, E. 2013. Arquitectura vernàcula: memoria y protecciòn. In: *Arqui-Memória 4* (a cura di Vieira de Andrade N. Jr.), 1-23. Salvador-Bahia: Segoe UI.
Cinieri V., Zamperini E. 2014. Il recupero di un patrimonio intangibile. V Convegno di Storia dell'Ingegneria (a cura di S. D'Agostino e G. Fabricatore), 475-486. Napoli: Cuzzolin.
Citi D. 1995, Le vie appenniniche verso Roma. In: *L'eredità romanica* (a cura di Langè S.), 224-225. Milano: Jaca Book.
Ferrari P., Gnoli C., Negro Z., Paveto F. 2008. *Chi nasce mulo bisogna che tira calci. Viaggio nella cultura tradizionale delle Quattro Province*. Cabella Ligure (AL): Musa.
Ferrari P. 2019. *Il mantello del centauro.* Cabella Ligure (AL): Musa.
Fiori G. 2015. Storia di Bobbio e delle famiglie bobbiesi. Piacenza: LIR.
Garbarino O. 2007. *Monaci, milites e coloni*. Genova: De Ferrari.
Langè S. (a cura di). 1995. *L'eredità romanica.* Milano: Jaca Book.
Marmori F. 1978. *Il Tigullio*. Genova: Stringa Editore.
Montagni C. 1993. *Costruire in liguria.* Genova: Sagep.
Palazzi F., Folena G. 1962. Dizionario della lingua italiana. Torino: Loescher editore.
Pavoni R. 1992. *Liguria Medievale*. Torino: Ed. Ecig.
Pavoni R. 2018. *Pagine di Medioevo nell'Oltrepò Pavese e nel piacentino*. Genova: Sagep.
Torsello B. P. 2006. *Figure di pietra*. Venezia: Marsilio.
Tosi M. 1993. I monaci colomboniani del sec. VII portano un rinnovamento agricolo-religioso nella fascia litorale ligure. Archivum Bobiense, XIV-XV.
Tosi M. 1995. "Ab Orandum laborandum legendum" nel segno di Colombano. Archivum Bobiense, XVI-XVII.
Tubi N., Silva M. P., Ditri F. 2009. *Gli edifici in pietra.* Pozzuoli (NA): Sistemi Editoriali.

Webgrafia

[1] http://www.tommaseobellini.it/#/

Note

1. The term *eulithic* (from Greek *eu*, fine, and *lithos*, stone) has been used by Garbarino (2007) in order to describe a local architecture characterized by majestic architrave and big ashlars employed as jambs or building corners.
2. L'espressione *Quattro Province* nasce negli anni '70 per descrivere un'area con analoghe tradizioni musicali, in particolare per l'uso del *piffero*, oboe popolare (Ferrari 2019, p. 11).
3. Sono frequenti le croci (semplice, *croce longobarda* con il braccio verticale molto allungato, *croce vescovile* con doppio braccio orizzontale, *croce di consacrazione* le cui braccia terminano con altrettante croci, la croce sulla sommità di un monte stilizzato, il *Crismon*), nonché le date e le iniziali; raramente è presente la rosa celtica (Citi, 1995). Raramente conservati i conci con rilievi di animali o protomi.

4. Le *mamme longobarde* sono semisfere il cui significato è ancora oggetto di studio. Per la forma evocativa di mammelle sono ritenute simboli di fertilità (cfr. Citi, 1995).
5. Si pensa ad antiche superstizioni con lo scopo scaramantico di allontanare il Diavolo o altre forze del Male. La presenza di incisioni e rilievi in punti strategici può far supporre una sorta di segnaletica, tuttavia non si dispone di informazioni certe al riguardo.
6. Dell'ampia bibliografia in materia in questo paragrafo si fa riferimento soprattutto a Pavoni 1992 e 2018, Tosi 1993 e 1995, Chiappe 1996, Garbarino 2007, Fiori 2015.
7. Si pensi a toponimi quali Pecorara, Centopecore, Costa Pecorella, Caprile, Cravarezza, Vaccarezza, Porcile, Pometo, Meleto, Noceto.
8. Garbarino, attraverso studi approfonditi anche su casi esteri (Francia, Spagna, Croazia, Grecia, Portogallo), ha elaborato un metodo di datazione *cronotipologico*. Per il riconoscimento dei manufatti eulitici, egli pone come caratteristica fondamentale il tipo di lavorazione della pietra: le maestranze colte utilizzavano la martellina, di cui sono visibili le tracce sulla superficie dei conci. Dalle caratteristiche degli elementi, lo studioso ha individuato tre tipologie di portali, ovvero tre diversi periodi dell'architettura eulitica: stile *Eulitico I*, primitivo, *Eulitico II*, europeo, con l'introduzione della mensola sagomata e dell'arco spezzato, ed *Eulitico III*, con assenza di chiavi negli stipiti e accenni di decorazione scultorea (Garbarino, 2007, 38-41).
9. Si pensi a R. Biasutti e L. Gambi. Dal 1926 Biasutti censì le case rurali, con l'intento di realizzare l'opera il cui primo volume, *La casa rurale in Toscana*, fu pubblicato nel 1938.
10. Cfr. serie *Conosci l'Italia*, Touring, 1957-1968.

Andrea Lizza

Storia dell'industria del gas a Napoli

Abstract
The memory wants to retrace the history of the gas industry of the city of Naples, which boasts, among other things, the distinction of having been the first Italian city to be lit by gas. The long tradition of the Neapolitan gas industry dates back to the nineteenth century and has undergone various vicissitudes over the course of time that are addressed and exposed in this work not neglecting, among other things, to describe the gasometric structures that have characterized until not long ago the productive areas of manufactured gas and which today represent an example of industrial archeology whose vestiges are still visible today..

Il gas nella Napoli di inizio Ottocento

A seguito della diffusione dell'illuminazione a gas, dapprima a Londra nel 1807 e successivamente a Parigi nel 1820, nelle principali corti europee iniziò a manifestarsi un grande interesse per le innovazioni e per lo sviluppo di nuove tecnologie volte al progresso dei rispettivi paesi. La corte di Napoli, una delle più importanti e attive nel contesto europeo, si distinse sin dal 1817, quando Ferdinando I, già Ferdinando IV, concesse a Pietro Andriel di Montpellier la privativa per l'illuminazione a gas idrogeno della città. Questo diritto non venne mai esercitato e si dovette attendere fino al 1837, quando. il giovane sovrano Ferdinando II, rimasto favorevolmente impressionato durante un suo viaggio a Parigi dall'illuminazione della capitale francese, decise di provvedere a realizzare qualcosa di analogo al più presto anche a Napoli e attraverso i suoi ambasciatori presso le corti europee fece richiedere tutte le informazioni possibili sull'illuminazione a gas, manifestando personalmente un grande interesse in questa materia. Fu così che Ferdinando II concesse al Cav. Giovanni De Frigiere, in società con M. Bodin, A. Cottin e A. Jumel, di poter illuminare la città di Napoli mediante il gas prodotto dall'olio di oliva, a patto di eseguire un saggio relativo all'illuminazione a gas. L'esperimento avvenne il 10 settembre 1837, illuminando con 29 lanterne il porticato della Basilica di San Francesco di Paola, di fronte al Palazzo Reale, davanti ai maggiori rappresentanti del regno e a un popolo festoso ed entusiasta. L'evento non passò inosservato essendo Napoli la prima città d'Italia a essere illuminata col gas. Per la produzione del gas per realizzare l'esperimento fu installato un piccolo opificio re-

trostante ai portici della Basilica, consistente in un piccolo impianto di cracking di olio di oliva equipaggiato da una rudimentale campana gasometrica che presentava una capacità di circa 7 m^3. A seguito del successo dell'esperimento, il primo contratto di appalto per l'illuminazione a gas fu firmato il 13 dicembre 1838 da De Frigiere insieme a due appaltatori napoletani che avrebbero dovuto garantire il funzionamento dell'impianto. Il contratto prevedeva la realizzazione degli impianti a partire dall'1 gennaio 1839 e un tempo di 15 anni per il completamento delle canalizzazioni e l'installazione dei fanali; contestualmente il contratto garantiva agli appaltatori del servizio di illuminazione a olio un periodo di sei anni per la sostituzione progressiva degli impianti a olio con quelli a gas lungo tutto il territorio cittadino. Il Cav. De Frigiere, mediante un atto notarile, il giorno 11 marzo 1839 cedeva al Sig. De Boissieu, negoziante di Lione, il contratto per l'illuminazione pubblica di Napoli.

A seguito del consistente sviluppo delle canalizzazioni, si rese necessario realizzare in Vico Cupa a Chiaia un nuovo opificio per la produzione del gas, inaugurato il 28 maggio 1840, che aveva una capacità gasometrica di 2000 m^3 su due unità uguali. La realizzazione delle canalizzazioni nella zona di Chiaia, destò non pochi problemi a seguito di una perdita di gas con conseguente esplosione avvenuta il 15 giugno 1840, che creò grande preoccupazione nell'opinione pubblica circa la pericolosità degli impianti, in relazione alle perdite sulle canalizzazioni derivanti dalle giunzioni che si rendevano necessarie lungo il percorso per via degli altri sottoservizi presenti. Alla direzione dello Stabilimento fu chiamato l'Ing. Manduit che si adoperò, oltre che a far riparare le perdite, anche ad attuare azioni concrete che vincessero la resistenza dei napoletani sull'utilizzo del gas anche per l'illuminazione domestica. Infatti, inizialmente la cittadinanza, pur propensa all'illuminazione pubblica all'aperto, manifestò una certa diffidenza nel realizzare impianti utilizzatori all'interno delle abitazioni.

La nascita della Compagnia di Illuminazione a gas

A Napoli, il 7 gennaio 1841, si costituì ufficialmente la Compagnia di Illuminazione a gas, la cui gestione fu affidata a una giunta di amministrazione, il Decurionato, composta da cinque membri, tre designati dagli azionisti napoletani e due dagli azionisti francesi. Il 6 aprile 1841, gli azionisti sostituirono l'Amministratore Sig. De Boisseau con il Sig. Alfonso Pouchain, un risoluto imprenditore che restò al comando della Compagnia tanto da farla denominare Compagnia Pouchain invece di Compagnia del Gas o Compagnia di Lione, così come era stata chiamata fino ad allora. Nel periodo di cambio al vertice della Compagnia si ebbe un sensibile rincaro del prezzo dell'olio, che era la materia prima per produrre il gas, tale da indurre il Sig. Pouchain a richiedere l'autorizzazione a estrarre il gas dal carbone, concessione che giunse l'anno seguente e che condusse all'importazione del carbone dall'Inghilterra. Nel frattempo i lavori andarono avanti e nel 1854 il contratto con la Compagnia Pouchain fu rinnovato per altri diciassette anni. Dopo l'Unità d'Italia, il Decurionato

indisse una gara per coprire con l'illuminazione pubblica la parte della città non contemplata dal precedente contratto. Alla gara oltre alla Compagnia Pouchain parteciparono il Sig. Accini ed Emilio Hemery, rappresentante della Parent, Schaken e Co che si aggiudicò i lavori nel 1862. A questo punto il Sig. Pouchain cedette alla Parent gli impianti e i diritti conseguenti dall'appalto del 1854 per la somma di 1.750.000 franchi e la Parent si impegnò a costruire un nuovo stabilimento in diciotto mesi, per garantire una fornitura giornaliera di 4500 m^3 di gas, da ubicare in una apposita area che doveva essere assegnata dal Comune.

La Compagnia di Illuminazione e Scaldamento col Gas e il nuovo Opificio

Nel 1862 la Parent sottoscrisse con il Comune il contratto di appalto per l'illuminazione a gas e il 18 ottobre 1862 venne costituita la Compagnie Napolitaine d'Eclaraige e de Chauffage par le Gaz, nominando Direttore il Sig. Hemery. Nacque così ufficialmente la Compagnia Napoletana di Illuminazione e Scaldamento col Gas.

La zona individuata per la costruzione del nuovo Opificio per la produzione del gas era un sito all'epoca detto dell'Arenaccia, in prossimità di un'area che un tempo era stata paludosa e caratterizzata dalla abbondanza delle acque del Sebeto e di altri suoi piccoli affluenti; quest'area, situata tra il Castello del Carmine e il Ponte della Maddalena, rappresentava un ideale punto per collocare immediatamente fuori dalle mura cittadine questo imponente complesso industriale, progettato dall'Ingegnere Jean Daniel Colladon (1802-1893) che, oltre a essere un valente ingegnere, era anche un famoso e apprezzato fisico ginevrino, una vera e propria autorità nell'industria del gas. L'area aveva una estensione iniziale di 55.000 m^2, con una superficie di 1600 m^2 destinata a deposito di carbone. I lavori di canalizzazione furono affidati all'impresa francese di M. Lacarriere.

La produzione del gas avveniva mediante la distillazione del carbone. Inizialmente erano presenti solo tre gasometri a una sola alzata da 4.000 m^3 ciascuno, necessari per l'accumulo e quindi per la distribuzione del gas che presentava un potere calorifico di 5000 kcal/m^3. Nel corso del tempo, in relazione alle sempre più crescenti richieste dovute all'incremento dell'utenza, l'area dell'Opificio raggiunse una estensione di 100.000 m^2. I lavori di canalizzazione affidati alla impresa Lacarriere subirono qualche rallentamento dovuto ai ritardi imputabili alla ditta F. Edwards di Glasgow per la fornitura delle tubazioni, ma malgrado questo inconveniente furono posati per il primo tratto di rete circa 135 km di tubazioni, prevalentemente in ghisa, molte delle quali sono ancora oggi in esercizio per la rete di distribuzione in bassa pressione.

La crescita della Compagnia del Gas e l'avvento dell'energia elettrica

A seguito della realizzazione del nuovo Opificio, iniziò una distribuzione capillare delle reti di canalizzazione in ambito cittadino e una sempre più crescente richiesta di utenze sia domestiche che industriali, al punto che la Compagnia registrò una fase

di crescita non indifferente e a seguito della chiusura dell'Opificio di Via Chiaia, ritenuto non sufficiente alla alimentazione delle utenze cresciute ormai in modo esponenziale, nel 1881 acquistò una parte del Palazzo Caravita Sanchez de Leon, in Via Chiaia 138, per adibirla a sede legale e amministrativa della Società. Nel frattempo, a seguito dell'epidemia di colera che nel 1884, provocò all'incirca 7.150 morti, si registrò una battuta di arresto dell'illuminazione a gas dovuta alla perdita delle maestranze che furono colpite dall'epidemia; tra le numerosissime vittime ci fu anche il direttore dell'Opificio.

I progressi nella ricerca delle metodologie sempre più avanzate per l'illuminazione a gas, date dai becchi Argand, Siemens e dall'invenzione delle reticelle Auer, non furono tali da impedire lo sviluppo dell'illuminazione elettrica che nel 1885 iniziò a costituire un grave problema per la Compagnia, poiché il Sindaco di Napoli, Nicola Amore, pose come condizione per il rinnovo della concessione che venisse accolta la possibilità di introdurre l'energia elettrica e che venisse ridotto il prezzo del gas al consumo. A partire dal 1890 si iniziò a rilevare il progressivo passaggio dalla illuminazione a gas a quella elettrica. Nel 1893 La Compagnia del gas intervenne nel settore elettrico, acquistando dapprima una piccola stazione di energia elettrica a Via Alabardieri e successivamente il pacchetto di maggioranza della Società Generale di Illuminazione, la SIG. Il 20 marzo 1899 la Compagnia si alleò con la Società Franco-Svizzera per l'industria elettrica, la Banca Commerciale e Roberto De Sanna, in rappresentanza di un gruppo di uomini d'affari napoletani, per fondare la Società Meridionale di Elettricità, la SME. La SIG fu assorbita nella nuova società e Maurizio Capuano fu nominato Amministratore Delegato, dando così inizio all'epoca della elettrificazione in Italia meridionale.

La compagnia del Gas nei primi anni del Novecento

Tra l'Ottocento e il Novecento, il passaggio da un secolo all'altro avvenne sul filo della comunicazione. La Compagnia si ispirò alla campagna promozionale dell'associazione degli ingegneri tedeschi, chiamata "Nessuna casa senza gas", e attraverso opuscoli, vademecum e pubblicazioni propagandò tutti gli usi del gas, che andavano dalla cucina al riscaldamento e dallo scaldabagno all'illuminazione. Ai primi del Novecento la battaglia tra l'illuminazione a gas e quella elettrica era ben lungi dall'essere conclusa; si pensi che nel 1905, quando arrivò in visita a Napoli il Presidente francese Emile Loubet, accompagnato da Re Vittorio Emanuele III, la città era praticamente divisa a metà: la SME illuminava elettricamente Piazza Plebiscito e la Compagnia illuminava a gas Via Caracciolo. L'anno seguente, la Compagnia accentrò le funzioni appaltate alla ditta Lacarriere, che in quaranta anni aveva installato la rete pubblica e privata dell'illuminazione e del riscaldamento, formando una manodopera altamente specializzata grazie anche a maestranze di provenienza francese e svizzera che svolsero un importante ruolo per la formazione dei gasisti napoletani,

che acquisirono tecniche e termini che ancora oggi fanno parte del contesto operativo. La produzione di gas non conosce soste e ostacoli di alcun genere: si passò ben presto da quarantamila a sessantamila metri cubi al giorno.

Nel 1912 la Compagnia di Illuminazione e Scaldamento col Gas festeggiò i suoi primi cinquanta anni di attività e l'anno successivo venne modificata la convenzione in essere dal 1885 tra il Comune e la Compagnia rivedendo alcuni termini contrattuali. In base al principio secondo cui più si consuma meno si spende, il Comune impose alla Compagnia il ribasso a scalare delle tariffe, per cui, per compensare i maggiori oneri, il termine della concessione venne prorogato di ulteriori quindici anni, a partire dall'1 giugno 1922 fino all'1 giugno 1937.

Durante gli anni della Prima Guerra mondiale ci fu un forte calo dei consumi, che divenne un vero e proprio tracollo, e si registrò anche un consistente calo occupazionale, dovuto alla riduzione delle maestranze che furono richiamate dal Regio Esercito e inviate al fronte dove i gasisti, per la particolarità e pericolosità del loro lavoro, furono prevalentemente impiegati tra le truppe d'élite. Nel dopoguerra si ebbe l'abbandono del capitale francese, cosa fino a quel tempo impensabile, che fece posto il 31 gennaio 1920 alla Società Meridionale di Elettricità, la SME, che ne detenne il controllo per i successivi sessanta anni; va ricordato che la SME, nata il 20 marzo 1899 ad opera della Compagnia Napoletana di Illuminazione e Scaldamento col Gas, nel 1937 passò nel gruppo IRI. Nel 1924 venne nominato Direttore della Compagnia Edmond Henny, che ricoprì tale carica per tutta la vita.Nel frattempo uno sciopero dei minatori inglesi costrinse la Compagnia a orientarsi verso altri mercati per l'approvvigionamento della materia prima, rivolgendosi agli Stati Uniti e alla Germania. I contatti e le collaborazioni con gli esperti tedeschi dell'industria del gas fecero sì che fu messa a punto una miscela di carbone chiamata "Vesuve gas" che sarà utilizzata per circa trenta anni. Nel 1930 la Compagnia aumentò più del doppio il capitale sociale e il gas raggiunse 840.000 abitanti, con una estensione della rete di 460 km.

Con l'avvento dell'energia elettrica si ebbe un sensibile declino dell'illuminazione a gas che andò diminuendo dal 1930 fino allo spegnimento dell'ultimo lampione a gas, che avvenne nel 1935.

La Compagnia del Gas negli anni della seconda guerra mondiale

Durante gli anni della seconda guerra mondiale le attività della Compagnia furono prevalentemente caratterizzate dalla limitazione dei consumi civili dettati dalla situazione bellica che imponeva l'autarchia. L'Opificio fu bombardato più volte, con ingenti danni agli altiforni e alle caldaie a vapore, ma malgrado ciò non smise mai di erogare servizi. La distribuzione del gas alla città fu assicurata anche attraverso riparazioni di fortuna fatte a uno dei due gasometri in servizio. Anche in questo caso la Compagnia versò il suo tributo ai fatti di guerra con la partecipazione di molti tra operai e impiegati, così come era già avvenuto durante la prima guerra mondiale.

La vita della Compagnia continuava malgrado le bombe che cadevano in ogni angolo della città, gli uomini del servizio distribuzione operavano anche sotto i bombardamenti per riparare le perdite alle tubazioni o per mettere in sicurezza le stesse dopo eventuali danneggiamenti o rotture dovuti ai bombardamenti; si registrarono numerosi caduti sul lavoro e per ricordarne la memoria presso la sede del Servizio Distribuzione in Ponte dei Francesi una lapide che, a seguito della chiusura di questa sede nel 1989, fu spostata, dopo qualche anno, presso la Sede dell'Opificio in Via Galileo Ferraris 66/F, sede storica, sin dal 1863, del Servizio di Produzione. Le incursioni aeree non rallentarono e danneggiarono in modo talvolta irreversibile impianti, officine, magazzini e gasometri. Il 23 marzo 1943 fu per Napoli uno dei giorni più luttuosi della guerra, a causa dello scoppio nel porto della nave "Caterina Costa", di ottomila tonnellate di stazza, carica di armi, munizioni e carburante. La violenta deflagrazione provocò oltre 600 vittime, danneggiando moltissimi edifici. Nell'area dell'Opificio non ci fu nessuna vittima, però a seguito degli ingenti danni la produzione del gas si fermò per una settimana, il tempo necessario alle maestranze che lavorarono giorno e notte per ripristinare gli impianti di produzione. In buona sostanza il gas alla cittadinanza malgrado tutto non mancò mai. Nel corso delle Quattro Giornate, i tedeschi, prima di ritirarsi da Napoli, decisero di distruggere totalmente gli impianti di produzione del gas e i loro guastatori minarono l'Opificio, ma il piano fu attuato solo in parte grazie alle maestranze presenti, che indicarono parti di impianti già inutilizzabili che furono prontamente fatte brillare. Nel groviglio delle macerie esistenti si era salvato ed era stato occultato un estrattore gas e si riuscì a salvar parzialmente anche una batteria forni che costituì uno spiraglio per la ripresa delle attività produttive. Appena entrati in città, i tecnici specializzati, aggregati agli alleati visitarono l'Opificio e comunicarono che a loro parere bisognava provvedere a demolire tutto e a ricostruire ex novo, non essendovi alcuna possibilità di ripristinare, anche temporaneamente, le attrezzature e gli impianti esistenti così gravemente danneggiati. I tecnici della Compagnia furono del parere opposto e iniziarono la ricostruzione: nel giro di appena due mesi, il 7 dicembre 1943, l'impianto a gas integrale e un gasometro da 11.000 m^3. funzionavano nuovamente grazie all'impegno e agli sforzi di tutto il personale, che con spirito di sacrificio e abnegazione garantì ancora una volta il regolare servizio degli impianti. Tra gli Alleati presenti ad assistere a questo prodigio c'era anche il Colonnello dell'U.S. Army Fred M. Reiter, un ingegnere dell'industria del gas a Dayton (Ohio) che pubblicò per i tecnici americani del gas una dettagliata relazione sui danni subiti dall'Opificio e sulla straordinaria ricostruzione condotta dalle maestranze della Compagnia, che aveva davvero dell'incredibile per i risultati conseguiti. La ricostruzione interessò e impressionò molto l'industria americana del gas, anche l'Ing. Victor Dorkovich, che era al seguito dell'U.S. Army e che con grande ammirazione raccontò le vicende della ricostruzione ai suoi colleghi dell'Associazione Americana del Gas nell'immediato dopoguerra. Nel gennaio 1945 entrò regolarmente in servizio

il gasometro da 80.000 m^3 dopo un lavoro di riparazione eseguito quando Napoli era isolata dalle industrie del Nord e l'officina era priva di mezzi. La batteria forni fu completamente ricostruita nel febbraio 1945 con l'aggiunta di un solo gasogeno a gas integrale e la produzione raggiunse nuovamente i 120.000 m^3. giornalieri, che era il massimo raggiungibile con il fossile assegnato dal Comando Alleato contro i 170.000 m^3. giornalieri di qualche anno prima, e ai 550 operai della Compagnia sembrò di essere tornati alla normalità.

La Compagnia del Gas nella seconda metà del Novecento

Negli anni successivi alle vicende belliche si aprirono nuovi orizzonti e attraverso una intensa e proficua attività di ricerca e sperimentazione si pervenne nel 1955 all'impiego del gas di raffineria per riscaldare i forni delle batterie, per il cracking nelle camere di distillazione delle stesse e nei gasometri del gas integrale. Contemporaneamente fu perfezionata la refrigerazione del gas prodotto e nel 1957 gli impianti furono dotati di un nuovo gruppo di compressione. La rete di distribuzione presentava una estensione di 815 km di tubazioni e la popolazione servita, a Napoli e nei cinque comuni vesuviani (Portici, S. Giorgio a Cremano, Ercolano, Torre Annunziata, Castellammare di Stabia), era di circa un milione e 400mila abitanti. Nel 1962 si festeggiò il Centenario della Compagnia, ed entrò in funzione il gasometro nel quartiere di Fuorigrotta, nella sede di Via Leopardi. Alla scadenza della convenzione tra Comune e Compagnia, le parti trovano molte difficoltà a rinnovarla, basti pensare che tra l'1 giugno 1967 e il 31 maggio 1969 la convenzione venne prorogata ben cinque volte. Aggiornata in più punti, la Convenzione venne firmata il 26 febbraio 1970, sostituendo il testo in essere dal 1935. In buona sostanza, il Comune ottenne che il potere calorifico passasse da 4 a 5 kcal al metro cubo, il blocco delle tariffe e due posti nel Consiglio di Amministrazione della Compagnia.

La Metanizzazione e la Napoletanagas

Una data importante nella storia dell'industria del gas nel Mezzogiorno d'Italia è il 27 febbraio 1981, quando il Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica, il CIPE, diede l'avvio alla prima fase di metanizzazione, cominciando da Napoli e da 8 comuni vesuviani. Con la metanizzazione si abbandonò definitivamente la produzione del gas manifatturato per passare all'acquisto del metano distribuito dalle reti Snam, che veniva immesso direttamente nelle reti cittadine a partire da apposite cabine di prelievo. Il passaggio a metano comportò anche l'ampliamento, il risanamento e la posa di nuove condutture del gas. Il trasferimento della Compagnia dal Gruppo IRI – SME al Gruppo Eni – Snam – Italgas, avvenne senza alcun intoppo; il 4 giugno1981 si ebbe l'ingresso ufficiale dell'Italgas nel Consiglio di Amministrazione e pochi giorni dopo furono illustrati all'assemblea degli azionisti i grandi benefici che il metano avrebbe apportato al Mezzogiorno. Alla fine del 1984

la Snam acquistò da Italgas il 20% del pacchetto azionario della Compagnia, che, senza mutare la ragione sociale, iniziò a essere chiamata Napoletanagas.

Con l'avvio della seconda fase di metanizzazione, alla Società vennero affidati altri 30 comuni della Campania. I comuni che hanno deciso di scegliere la Napoletanagas come partner diventarono in questo modo 38. Venne modificato lo statuto societario, prevedendo una scadenza triennale per i consiglieri e alcune azioni del capitale sociale di Italgas vennero riservate ai dipendenti del Gruppo, in base alla loro anzianità di servizio. La Napoletanagas estese le sue attività anche nel settore idrico e avviò anche la metanizzazione della Penisola Sorrentina attraverso una società controllata. A seguito dell'espansione societaria venne realizzato un nuovo edificio in Via Brin da adibire a sede dei servizi tecnici. Cambiò anche il rapporto tra la Napoletanagas e i suoi utenti, con il progetto qualità del servizio che vide gli utenti diventare clienti e consumatori, cui andava data la massima attenzione con azioni rivolte alla loro migliore soddisfazione. Nel 1997 la Società lasciò la storica sede di Via Chiaia per trasferirsi al Centro Direzionale e iniziò il percorso per ottenere la certificazione ISO 9001. Il 3 aprile 1997 il Comune di Napoli definì gli indirizzi per l'acquisizione della Napoletanagas con le relative procedure di attuazione e iniziò a profilarsi l'ipotesi della costituzione di una società multiservizi formata da Napoletanagas e Arin, società comunale che all'epoca gestiva la rete idrica cittadina; questo progetto non riuscirà mai a decollare.

La liberalizzazione del mercato del gas e le attività nel terzo millennio

Il 23 gennaio 2000 il Decreto Letta stabilì le nuove regole del mercato del gas, fissando due obiettivi: la liberalizzazione dell'intera filiera, consentendo ciascun utente di scegliere il proprio fornitore, e l'obbligo per le società del gas di separare la distribuzione da tutto il resto della attività a far data dall'1 gennaio 2002. La Napoletanagas si scisse in due società : la Napoletanagas, società distributrice, e la Napoletanagas Clienti, società di vendita. Nel 2003 l'organismo di Certificazione DNV, Det Norske Veritas, ufficializzò la conformità della Napoletanagas al Sistema di Gestione della Sicurezza OHSAS:18000 e al Sistema di Gestione Ambientale UNI EN ISO14000.

Il 23 marzo 2007 fu firmato il contratto di cessione a Eni della partecipazione detenuta dalla Napoletanagas nella società Napoletanagas Clienti e nel giugno 2009 Napoletanagas entrò a far parte del Gruppo Snam Rete Gas.

Nel corso del 2010 la Napoletanagas vettoriò 565 milioni di metri cubi di gas e realizzò investimenti per 36 milioni e 480 mila euro. L'estensione della rete di distribuzione era pari a 5.078 km, la società era composta da 590 dipendenti, le concessioni attive sul territorio campano erano 128.

Nel 2012 la società compì 150 anni di attività.

L'1 ottobre 2017 Italgas Reti SpA incorporò per fusione la Napoletanagas SpA, subentrandole a titolo universale nei contratti e nei rapporti giuridici e cambiandone il nome in Italgas Reti SpA. L'ENI SpA nel luglio 2007 incorporerà per fusione la

Napoletanagas Clienti, che diventò parte della Divisione Gas & Power dal 2008 fino al giugno 2013, per poi diventare ENI Retail & Market e successivamente, nel 2017, assumere la denominazione di ENIGaseLuce SpA.

Le strutture gasometriche della Compagnia del Gas

Sin dalla realizzazione dei primi opifici per la produzione del gas, le strutture gasometriche hanno rappresentato un valido metodo di stoccaggio, provvedendo alla distribuzione del gas nelle reti cittadine. Nella fase di produzione del gas manifatturato, il collegamento tra Napoli e i comuni vesuviani veniva garantito da un adduttore o feeder principale, detto "vesuviano", che partendo dall'Opificio di Via Ferraris arrivava fino a Castellammare di Stabia; lungo il percorso esercito in radiale c'erano dei piccoli gasometri presso le sedi intermedie di Lava Fiorillo a Ercolano, Torre Annunziata e Castellammare di Stabia, che svolgevano la funzione di volano per sopperire alle richieste dovute al carico di punta che poteva manifestarsi in determinate condizioni di esercizio. Nella parte occidentale della città, nel quartiere di Fuorigrotta, era situato un gasometro da 30.000 m^3 per garantire l'erogazione del gas in alcune zone di quel quartiere e nei quartieri di Soccavo e Pianura; un piccolo gasometro era infine ubicato nel quartiere Vomero, in Salita Cacciottoli, a servizio della zona collinare. La principale stazione gasometrica era ovviamente quella dell'Opificio, nel comprensorio di Via Ferraris - Via Brin, i cui gasometri nel corso degli anni mutarono sia in numero che in capacità, fino ad arrivare a ridursi a soli tre, le cui capacità gasometriche erano rispettivamente di 5.000, 42.000 e 80.000 m^3.

Uno dei principali problemi nel passaggio dal manifatturato al metano secco fu costituito dalla presenza di tubazioni interrate della rete di distribuzione, dotate di giunti a bicchiere la cui tenuta era assicurata da canapa e piombo. Il manifatturato provvedeva grazie alla presenza di una sua caratteristica percentuale di umidità a garantire la tenuta delle giunzioni dei tubi. Si rese quindi necessario umidificare opportunamente il metano mediante immissione in rete di vapore prodotto da apposite caldaie, per garantire la necessaria umidità per la tenuta delle tubazioni.

Negli anni Ottanta del secolo scorso fu progressivamente abbandonata la produzione e i gasometri furono via via messi in sicurezza ed esclusi dal servizio. Il passaggio a metano nelle utenze comportava una serie di vantaggi in quanto il potere calorifico del metano è quasi il doppio rispetto a quello del gas manifatturato; per contro, richiedeva la sostituzione degli ugelli dalle apparecchiature utilizzatrici esistenti, ad esempio cucine, scaldabagni e caldaie. Gli ultimi interventi manutentivi furono eseguiti nel 1985 e nel 1987 le strutture furono messe tutte fuori servizio e bonificate. Nell'aprile 1987 a via Brin era rimasto in servizio soltanto il gasometro da 42.000 m^3, con una sola alzata, per garantire l'erogazione di una ristretta zona del centro storico in cui erano ancora in corso gli adeguamenti delle apparecchiature utilizzatrici degli utenti; le altre strutture non furono demolite per poter eventualmente

sfruttare la loro volumetria per realizzare un fabbricato uffici e dei parcheggi. A seguito dell'entrata in vigore del Piano Regolatore del Comune di Napoli, il gasometro da 80.000 m^3 rientrò in un ambito di interesse, risultando un esempio di architettura storica. Nel 2000 fu avviata una procedura per definire lo studio di una messa in sicurezza dei gasometri, cui nel 2002 seguirono vari interventi mirati a individuare le condizioni statiche, lo stato di danneggiamento, la definizione dei sistemi di salvaguardia e il progetto della messa in sicurezza. Successivamente, il gasometro da 5.000 m^3 fu demolito per ampliare l'esistente parcheggio interno.

Il gasometro da 80.000 m^3, costruito dalla ditta Klonne di Dortmund, è a guidaggio verticale radiale di tipo telescopico a 4 elementi, è dotato di una vasca d'acqua fuori terra e presenta un diametro di 50 metri e una altezza complessiva di 50 metri; la tenuta del gas tra un'alzata e l'altra era garantita mediante l'utilizzo di una guardia idraulica e le connessioni degli elementi della struttura sono del tipo chiodato. Il gasometro da 42.000 m^3, costruito nel 1956 dalla ditta Safii Ing. De Bartolomeis, è strutturalmente analogo al precedente, salvo per il fatto che soltanto le connessioni degli elementi strutturali sono del tipo bullonato. Per quanto concerne il gasometro da 30.000 m^3 in servizio nel quartiere di Fuorigrotta, la tecnica costruttiva è completamente diversa essendo del tipo inglese Dempster a guidaggio elicoidale; oltre alla vasca di base presenta tre alzate costituite da fasciame triangolare il cui movimento verticale è dovuto a una rotazione e al sollevamento delle lamiere costituenti la struttura mobile.

L'utilizzo e il recupero delle strutture gasometriche nel mondo

Le strutture gasometriche sono presenti in molte città italiane e straniere e ormai fanno parte di quello che può considerarsi un vero e proprio riferimento culturale e visivo grazie all'inconfondibile skyline. Molte strutture sono state recuperate e perfettamente conservate; l'utilizzo e le destinazioni d'uso sono molteplici: si va da edifici residenziali a parcheggi o ad altri usi collettivi. In particolare all'estero vi è una maggiore sensibilità nel recupero e nella conservazione delle strutture gasometriche, che rappresentano oltre che una memoria storica anche qualcosa di fruibile in modo concreto dalla collettività. Uno dei più recenti esempi virtuosi di recupero attualmente in corso si può ammirare a Helsinki nella zona di Suvilahti, nel quartiere di Sornainen, dove l'area dell ex Officina gas, di proprietà del Comune, è in piena attività di recupero e conservazione; i lavori iniziati nel 2018, che termineranno nel 2020, rinnoveranno le strutture esistenti per adibirle a centri culturali destinati alla cittadinanza. Il complesso presenta due gasometri e numerosi edifici che sono in parte già utilizzati soprattutto dai giovani come centri di aggregazione e scambio culturale.

Conclusioni

La storia dell'industria del gas a Napoli inizia quasi due secoli fa e tra la Compagnia del Gas, nata nel 1862, e la città si crea un rapporto indissolubile: la Compagnia è

parte integrante della città e la lunga tradizione di abnegazione e tenacia delle maestranze l'ha da sempre resa particolarmente vicina alla cittadinanza. La Compagnia, con la sua storia e la presenza dei gasometri, testimonia un importante esempio di archeologica industriale, rappresentando un monito e un esempio da seguire e tramandare alle future generazioni.

Bibliografia generale di riferimento

Questo contributo è il racconto di una storia ricostruita attraverso la lettura dei seguenti testi:
Arangio Ruiz V.1962. *Le Compagnie del Gas in Napoli.* Napoli: Ed. Compagnia del Gas.
Bohm A.1983.*Manuale per tecnici dell'industria del gas*. Roma: F.lli Palombi Editori.
Lizza A. 2008. Storia dell'illuminazione a gas nella città di Napoli. Atti del IV Convegno di Storia dell'Ingegneria (a cura di S. D'Agostino), Napoli, 19-21 aprile, II, 1183-1192. Napoli: Cuzzolin.
Toma P.A. 2006. *Napoli e la Compagnia del Gas*. Napoli: Compagnia dei Trovatori Edizioni.
Toma P.A. 2012. *1862 – 2012 Napoletanagas*. Napoli: Compagnia dei Trovatori Edizioni.

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION

EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Maria Carmela Monteleone

Le reti di distribuzione di acqua potabile in epoca romana. Fistule ritrovate e quantità di acqua erogata in due case Pompeiane

Abstract
The water supply in the Roman towns has been studied by many scholars, providing a description of the archaeological evidence. The water supplied to the single private houses was never estimated. In fact only in the recent years the findings in many archaeological sites have allowed to get a clear understanding of the water network layout, the type of connections and the possible operation of the system. The present contribution is a first attempt of quantifying the water supplied to some private houses in Pompeii, by means of hydraulic calculations of the known pipelines and the appropriate assumptions on the continuous and concentrated headlosses, for which experimental data is not yet available. The flowrate supplied to the Casa dell'Orso (House of the Bear) and the Casa dell'Efebo (House of the Ephebe) is estimated and compared with the flowrate needed by the single fountain installations to operate correctly The maximums flowrate supplied to the House of the Bear was in the range 0,7 and 0,85 l/s; this quantity did not allow the contemporaneous operation of all the known fountains. The House of the Ephebe presents the peculiar feature of a private water tower, which allows to estimate the pressure and flowrates in the various fountains connected to it. The flow rate supplied to the house, in the range 0,3 ÷ 0,5 l/s, did not support the operation of the triclinium fountains; this was the reason why a 3 m^3 elevated reservoir was installed.

Introduzione
La conoscenza degli elementi di distribuzione dell'acqua potabile nel tessuto urbano delle antiche città romane è notevolmente cresciuta negli ultimi anni, ma gli studi idraulici esistenti rimangono limitati. Le domus delle città Romane, nell'epoca augustea nelle colonie italiane, e soprattutto nel I e II d.C., nelle città della Gallia e delle province orientali, si arricchiscono di fontane e specchi d'acqua, di dimensioni e forme assai diversificate (Dessales, 2013), ma tutte funzionanti con getti di acqua sotto pressione, condotta nella maggior parte dei casi tramite tubazioni in piombo. A Pompei la presenza di fontane è generalmente associata dagli archeologi al collegamento alla rete pubblica di acquedotto, anche se in alcuni casi è stata in parte provata la possibile alimentazione da vasche di raccolta di acqua pluviale sopraelevate (Le-

Fig. 1 – a) Vista della torre-serbatoio di Vico dei Vettii con impronte delle tubazioni risalenti; b) tubazioni lungo il marciapiede al di sotto della stessa torre; c) tubazione sul marciapiede est di Vico della Maschera; d) cassetta di distribuzione in piombo nel peristilio della casa di Olconio Rufo; e) esempio di giunto "a oliva" dai Praedia di Julia Felix; f) rubinetto terminale custodito nei magazzini.

ander Touati, 2010). Riguardo le modalità di allacciamento delle singole abitazioni alle condotte pubbliche, a Pompei è stata accertata la prevalenza del collegamento "*ex castello*" come descritto dalla legge romana, che stabiliva che ogni tubazione privata dovesse allacciarsi a un *castellum* o serbatoio locale di distribuzione e non a un condotto pubblico interrato (Nappo, 2002). Alcune di queste tubazioni, che sono ancora visibili in situ, come mostrato in Figura 1, nella maggior parte dei casi entrano nelle abitazioni in prossimità degli ingressi principali.

Jansen (2001), con l'ausilio di metal detector, ha studiato i tracciati dei condotti al di sotto dei pavimenti di alcune abitazioni pompeiane, confermando la presenza di alcuni elementi tipici quali le cassette di derivazione in piombo, dotate di varie chiavi per l'apertura e chiusura dei flussi su alcune linee alimentanti fontane e diramazioni secondarie, in Figura 1d.

Le caratteristiche idrauliche delle tubazioni in piombo

Le tubazioni Romane antiche venivano fabbricate curvando su un mandrino di legno una lamina in piombo di larghezza variabile e di lunghezza intorno ai dieci piedi romani, equivalenti a 2,96 m, e con i lembi avvicinati e saldati in un cordolo di saldatura di varia foggia (Cochet e Hansen, 1986). A Pompei sono state rinvenute tubazioni di vario diametro e spessore, con sezione sia a forma di goccia che quasi circolare. Le tubazioni vengono solitamente identificate nelle relazioni degli archeologi tramite i due diametri, maggiore e minore, o la misura del perimetro esterno; in altri casi vengono associate al tubo romano più vicino come diametro, secondo i diametri dati da Frontino, ad esempio fistula *duodenaria* e *centenaria*. Non è stato ancora chiarito quale dimensione, per esempio il raggio idraulico, sia più conveniente utilizzare per il calcolo delle fistule romane; in questo studio viene utilizzato un diametro medio tra quello massimo e quello minimo.

Una indagine tramite endoscopio su alcuni dei tubi pompeiani ha evidenziato come il cordone, esternamente piuttosto regolare, presenti delle protrusioni interne con masse isolate di dimensioni fino a 4 mm e distanziate da 2 a 4 cm, il cui effetto sulla scabrezza è al momento oggetto di studio presso i laboratori di Northumbria University, Newcastle upon Tyne; in attesa dei risultati, qui si fa riferimento a un intervallo di scabrezza assoluta compresa tra 0,1 mm e 2 mm, comprendente anche le giunzioni tra i tubi, che sono a Pompei del tipo a "oliva", come mostrato in Figura 1e. Riguardo alle relazioni perdita di carico-portata-diametro è stata utilizzata la tradizionale formula di Colebrook e sono stati tabellati i risultati ottenuti per vari valori della velocità e della scabrezza e per tutti i diametri noti delle tubazioni antiche romane, resi noti da Vitruvio e Frontino e commentati da vari autori (Pace, 1983); in questo modo, a ogni valore della perdita di carico è possibile associare e confrontare le portate per vari valori di scabrezze e diametri.

La Casa dell'Orso

La Casa dell'Orso si trova sul marciapiede settentrionale di via degli Augustali, nella regione VII, in Figura 2. La sua connessione con la torre n. 3 sulla Via di Stabia è stata identificata chiaramente da Nappo (2002) come una fistula *ottonaria*, di cui una piccola diramazione prima dell'ingresso dell'abitazione si dirigeva verso l'ambiente della cucina. Il profilo a livello del marciapiede è indicato in Figura 2. La torre n. 3 ha un'altezza di 6 m circa, secondo le misure di Ollson (6,05 m) e Dybkjaer - Larsen

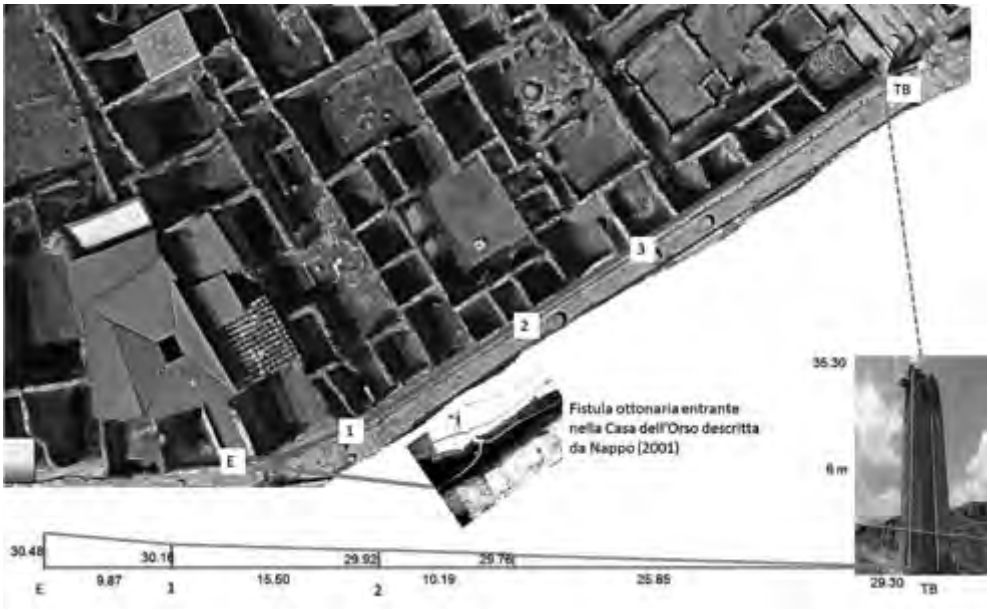


Fig. 2 – Casa dell'Orso: profilo e dati altimetrici del terreno al di sopra della tubazione di adduzione. Immagine da Google Earth, dati altimetrici dal Piano della Conoscenza di Pompei, SIAV Boscoreale.

(5,96 m), per cui la sommità della torre è stimata a 35,30 m s.l.m.; la quota all'ingresso della tubazione è di 30,48 m s.l.m. E' stata calcolata la portata della condotta adduttrice fino all'ingresso dell'abitazione, per i valori della scabrezza assoluta nell'intervallo 0,2÷2 mm, ipotizzando una pressione di 0.245 bar all'ingresso[1]. Per una fistula *ottonaria* di diametro pari a circa 3,77 cm, si ottiene: 0,61 l/s per 2 mm, 0,71 l/s per 1 mm, 0,83 l/s per 0,5 mm e 0,93 l/s per 0,1 mm. Considerando più probabili i valori di scabrezza compresi tra 0,2÷0,5 e 1 mm, si hanno valori della portata in arrivo al serbatoio privato dell'ordine di 0,70÷0,85 l/s. Le quote del marciapiede e di alcuni punti all'interno dell'abitazione sono state dedotti dai files GIS che fanno parte dei dati acquisiti nell'ambito del cosiddetto Piano della Conoscenza di Pompei, che rientrava nel Grande Progetto Pompei.

Le quote disponibili sono state verificate e ne sono state aggiunte altre grazie a rilievi svolti nell'aprile 2019.

La Figura 3 mostra la pianta dell'abitazione con le quote e le lunghezze del sistema di tubi individuato da Jansen (2001).

La fistula principale si dirama in una fistula che piega verso la zona dell'atrio, dove alimenta una fontana; oggi è visibile solo la traccia del tubo. Il secondo ramo

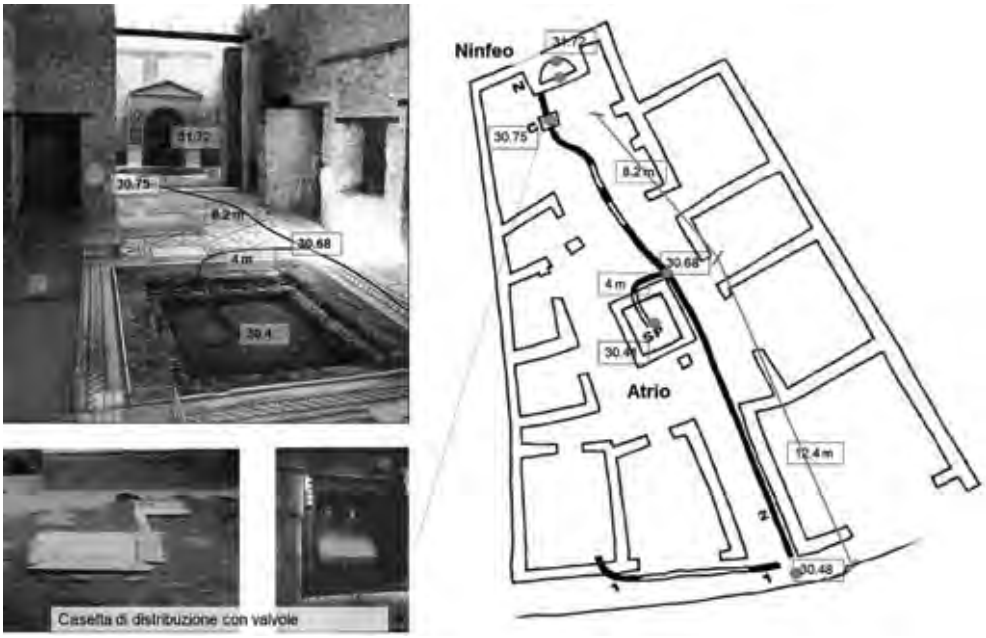


Fig. 3 – Casa dell'Orso: vista dell'atrio e del ninfeo con i dettagli delle tubazioni, lunghezze (valori in metri, riquadri blu) e quote (metri s.l.m, riquadri rossi), in alto a sin., schema della tubazione e fotografie della cassetta con chiavi, in basso a sin., e pianta, a dx. (da Jansen, 2001).

prosegue e attraversa tutta la lunghezza dell'abitazione per terminare in una cassetta di derivazione posta a sinistra della fontana ninfeo a edicola, da cui dipartono tre chiavi che comandano le tre tubazioni di alimentazioni della fontana-ninfeo.

La fontana-ninfeo

La fontana, ben conosciuta per la finezza della sua decorazione, è del tipo a tempietto con abside e bacino quasi semicircolare. Una bocca rettangolare di 1 cm · 6 cm è posta al centro dell'abside a un'altezza di 97 cm dal fondo del bacino; alimentata da un tubo più interno di 1 cm di diametro, doveva generare un getto a lamina, simulando una piccola cascata. Una seconda tubazione correva all'altezza di 32 cm dal fondo tutto intorno all'abside per terminare, da un lato e dall'altro, con due ugelli, di cui rimangono solo i fori di innesto nella tubazione principale, di diametro circa 0,9 cm; l'asse di un ugello è quasi orizzontale, producendo un getto verso il centro del bacino, quello dell'altro è quasi verticale e per il calcolo della traiettoria è stato assunto un angolo di 70° sull'orizzontale. Non si può escludere che due dei fori laterali alimentassero delle statuette-fontane poste sul bordo del

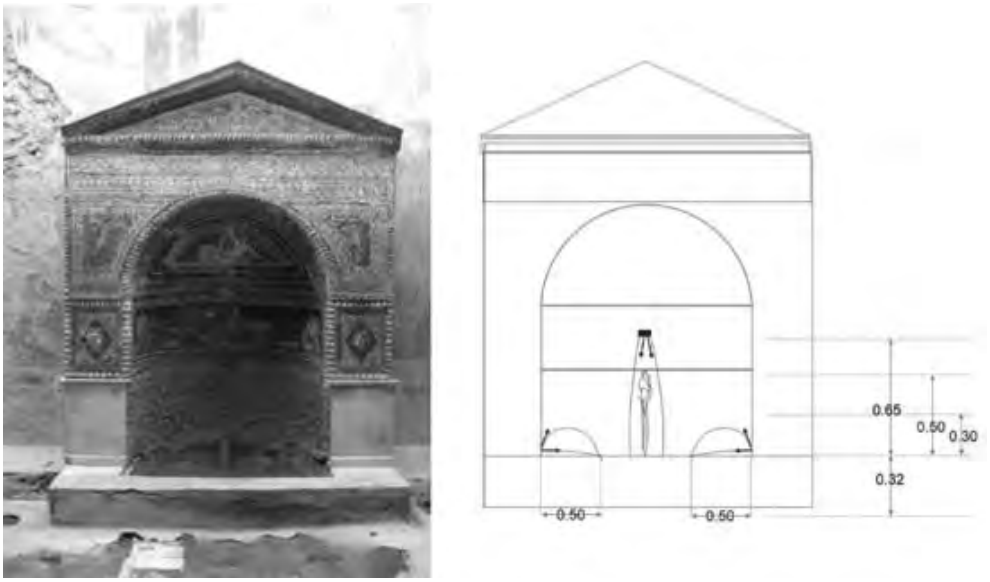


Fig. 4 – Vista della fontana- ninfeo, a sin., e ipotesi sulle traiettorie dei getti d'acqua, a dx.

Fig. 5 – Tubazioni e ugelli visibili all'interno del bacino della fontana-ninfeo, a sin., e possibile ricostruzione dei getti d'acqua, a dx.

bacino, come nella Casa della Fontana Grande[2]. Una terza tubazione probabilmente alimentava il pilastrino di sostegno circolare che si trova addossato alla parete anteriore del bacino; per il calcolo della portata è stata ipotizzata l'esistenza sia di un getto verticale alto circa 50 cm, sia di una statua da cui scaturisce un getto d'acqua alto circa 30 cm.

Qui di seguito è illustrato il calcolo delle velocità che permettono ai getti di raggiungere le distanze indicate in Figura 4. Nella Figura 5 sono mostrati i dettagli delle

tubazioni, gli ugelli oggi visibili e una possibile ricostruzione dell'effetto dell'azionamento contemporaneo dei getti. Si è stimato[3] che la portata necessaria per alimentare i 4 getti potesse essere intorno a 0,50 l/s. Per il pilastrino centrale, nel caso di zampillo di altezza di 0,50 m, si calcola[4] una portata di 0,20 l/s. Si ipotizza, per il getto uscente dalla bocca rettangolare che genera la piccola cascata dalla parete di fondo, una velocità compresa tra 0,17 e 0,25 m/s, cui corrisponde una portata compresa tra 0,10 l/s e 0,15 l/s.

Con queste ipotesi, la portata per il funzionamento contemporaneo delle tre condotte del ninfeo sarebbe pari a 0,80÷0,85 l/s. Considerando le perdite di carico lungo le varie tubazioni, la pressione richiesta alla cassetta di distribuzione è calcolata tra 1 e 1,2 m di acqua[5].

La fontana dell'atrio

La fontana dell'atrio consiste in installazioni idrauliche associate al bacino dell'impluvio, di dimensioni 1,55 m · 2,00 m. Del rivestimento del fondo, che è stato rimosso, si può vedere la traccia della tubazione diretta al centro del bacino. Dalla descrizione di Jansen (2001) risulta che per questa linea non vi sono chiavi di arresto né altre diramazioni; sappiamo infatti che le fontane dell'atrio potevano avere diversi punti d'acqua a varie altezze. Considerata la massima dimensione del bacino dell'impluvio, pari a 2 m, è possibile ipotizzare un'altezza massima del getto d'acqua di 1,2 m, in corrispondenza della quale si calcola una portata di 0,4÷0,5 l/s[6].

Nell'ipotesi in cui la fontana-ninfeo fosse chiusa e che quindi tutta la portata proveniente dalla torre-serbatoio n. 3 si riversasse nell'atrio, la portata, calcolata in base alla differenza di livello tra la quota del fondo dell'impluvio e del fondo del serbatoio pubblico, sarebbe stata superiore[7] a 1 l/s e ciò indica che, a meno che non fossero presenti altri getti, la fontana dell'atrio veniva azionata sempre insieme ad altre linee di distribuzione. Ricordiamo inoltre che Nappo (2002) ha rilevato una diramazione diretta verso una cucina, alla quale all'occorrenza una parte della portata poteva essere indirizzata.

Considerazioni sulla contemporaneità di uso delle due fontane

Considerato che le pressioni e le portate garantite dalla fornitura pubblica risultavano eccessive per la fontana dell'atrio, doveva essere necessariamente aperta una delle chiavi delle tubazioni del ninfeo o quella della cucina. D'altra parte, la portata di 0,70÷0,85 l/s distribuita dalla connessione alla torre-serbatoio n. 3 non riusciva ad alimentare contemporaneamente tutti i getti del ninfeo e il getto dell'atrio, motivo per cui le chiavi di arresto sono presenti su tutte le tubazioni del ninfeo, così` da essere azionate quando necessario.

La Casa dell'efebo e il 'castello privato'

La Casa dell'Efebo comprende un'area su vari livelli nella Regio I, con due ingressi principali, I.VII.11-12 e 19 identificati da Maiuri (1927). La figura 6 mostra la posizione della casa nella planimetria della zona e il tracciato della conduttura di collegamento con la torre d'acqua n. 5 sulla Via dell'Abbondanza.

Uno degli ingressi è quasi di fronte a una fontana pubblica, la n. 4 secondo il catalogo di Eschebach e Schafer (1983), che avrebbe potuto garantire il consumo quotidiano. La presenza di un piccolo bagno privato con catino in bronzo (Maiuri, 1927) e di varie fontane decorative del giardino identificano la volontà e capacità del proprietario di garantirsi una fornitura privata per confermare il proprio stato sociale; infatti, la peculiarità di questa abitazione è proprio la presenza di una torre serbatoio privata, generalmente identificata come *castellum privatum* e presente in un numero limitato di abitazioni a Pompei e a Ercolano (Dessales, 2006). Dessales ha ipotizzato che in alcuni casi le vasche sopraelevate potessero essere alimentate da acque piovane e che in questo tratto della Via dell'Abbondanza la fornitura di acqua potesse essere stata assai ridotta nell'ultimo periodo di vita della città, anche come conseguenza dei precedenti terremoti. Per la Casa dell'Efebo, come per i serbatoi della Casa di Trebio Valente o dei Praedia di Julia Felix, non sono ancora stati condotti studi per valutare le portate di acqua in gioco.

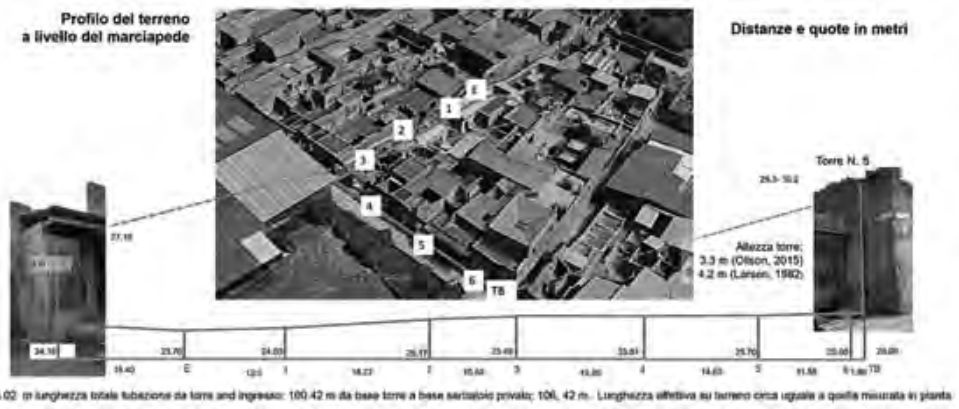


Fig. 6 – Profilo e dati altimetrici del terreno al di sopra della tubazione di adduzione di Casa dell'Efebo.

La tubazione di collegamento al serbatoio pubblico

Per il calcolo della portata che fluiva nella tubazione di collegamento con la torre-serbatoio n .5 è stato fatto riferimento al profilo del marciapiede descritto in Figura 6. Per la torre n. 5 sono state considerate le altezze del pilastro in muratura visibile fornite da Ollson (2015) e Dybkjaer - Larsen (1982), pari a 3,3 m e 4,2 m rispettivamente. Esaminando i tratti di tubazione visibili sul marciapiede sono stati rilevati valori di diame-

Fig. 7 – Vista dell'ingresso con il serbatoio in fondo, a sin., e vista della curva con cui la tubazione entra nell'abitazione, a dx.

tro interno ed esterno, leggermente diversi tra loro e leggermente inferiori al diametro della tubazione che entra nella proprietà. Di conseguenza è stato scelto di utilizzare i valori medi delle misure rilevate, corrispondenti a un diametro medio interno di 2,91 cm, compreso tra quello di una senaria, 2,77 cm, e quello di una settenaria, 3,23 cm.

La tubazione piega con una larga curva ed entra nel perimetro dell'abitazione a destra dell'ingresso 12, per dirigersi verso il castello privato, una costruzione in muratura con pianta di dimensioni esterne pari a circa 1,30 m · 1,60 m e altezza di 3,05 m, in Figura 7, per la quale Maiuri (1927) indicò per la vasca in sommità un volume di circa 3 m^3, che è quello utilizzato nell'analisi idraulica qui riportata, in quanto la vasca non è stata accessibile per un sopralluogo.

Con lo stesso procedimento utilizzato per la condotta di alimentazione della Casa dell'Orso, a partire dal dislivello tra il fondo del serbatoio pubblico e la sommità del serbatoio privato e la lunghezza della tubazione, sono stati ricavati[8] per le portate valori compresi tra 0,3 e 0,5 l/s.

È bene osservare che se in luogo del serbatoio a più di 2 m di altezza la tubazione fosse arrivata a una cassetta di distribuzione in piombo simile a quella della Casa dell'Orso, la differenza di quota tra il fondo del serbatoio pubblico e la base del serbatoio privato sarebbe stata compresa tra 5,14 m e 6,04 m. Nell'ipotesi che la pressione all'interno della cassetta di distribuzione fosse di 2,5 m di acqua, le portate in arrivo sarebbero rimaste nel range 0,3÷0,5 l/s e dunque l'abitazione avrebbe ricevuto la stessa portata calcolata nel caso del serbatoio. L'inserimento di una vasca sopraelevata di 3 m^3 è dunque giustificata dalla necessità di un accumulo per far fronte alla richiesta di portate maggiori per brevi periodi di tempo, per cui va verificato quale

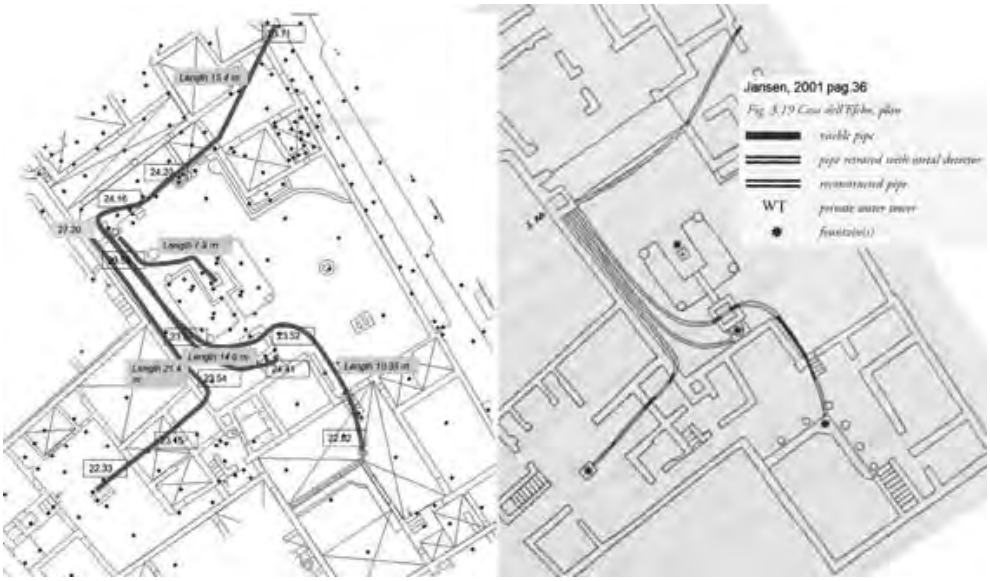


Fig. 8 – Pianta della Casa dell'Efebo con i tracciati delle tubazioni individuati da Jansen (2001); le quote e le lunghezze sono dedotte dai dati del Piano della Conoscenza di Pompei.

poteva essere la portata richiesta dalle altre installazioni del giardino. E' stato fatto riferimento allo schema delle tubazioni fornito da Jansen (2001) e alle quote estratte dai files GIS menzionati e a quelle rilevate in loco, come riportato in Figura 8[9].

Per la condotta diretta alla fontana dell'atrio, le parti di tracciato confermate con il metal detector da Jansen sono limitate, per cui in questo studio è stata considerata anche la possibilità che il tubo uscente dal bacino del ninfeo sul lato ovest potesse alimentare la fontana.

Portate e pressioni per la fontana a scaletta e per quella dell'atrio

La Figura 9 fornisce la vista del triclinio con il bacino e la fontana centrale e il ninfeo sul fondo e la vista laterale del ninfeo, con le quote e i dettagli della tubazione visibile. Il ninfeo presenta un'abside in cui è collocata una fontana a scaletta con gradini di larghezza circa 76 cm e altezza 11 cm. All'interno della nicchia è visibile una base di bronzo con un tubo sporgente, di circa 0,5 cm di diametro. Maiuri (1927) riporta che fu ritrovata sul bordo del bacino una statuetta di Venere con conchiglia, con un piccolo condotto inserito all'interno, alta circa 33 cm. All'interno della conchiglia, 5 ugelli a raggiera davano vita a un getto d'acqua che interessava tutta la larghezza del gradino. In Figura 10 sono riportati i dettagli della scaletta e della statuetta-fontana e la possibile ricostruzione dell'area occupata dall'acqua quando la statua era collocata sulla base visibile.

Fig. 9 – Triclinio con bacino centrale, a sin., e ninfeo sul fondo e vista laterale del ninfeo con quote e distanze, a dx.

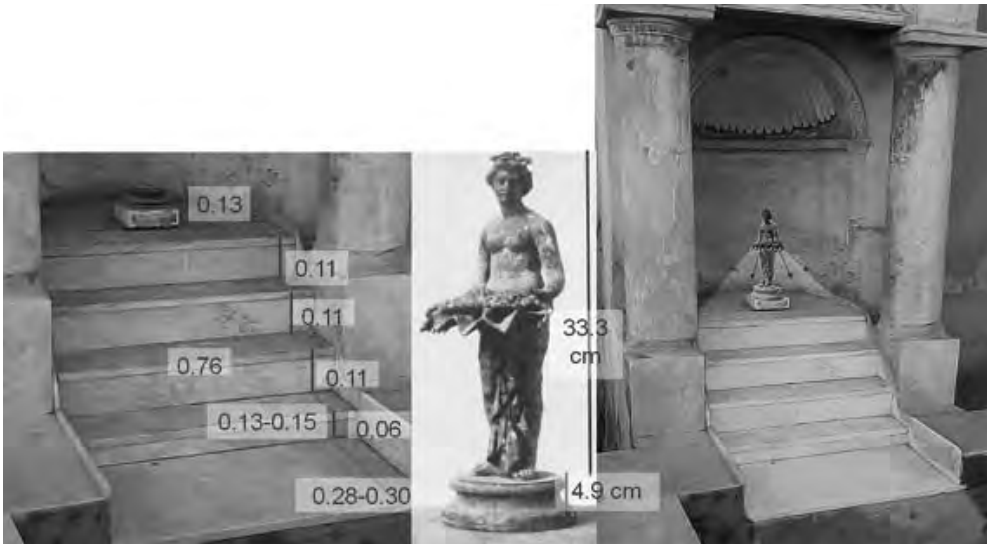


Fig. 10 – Dettagli della fontana a scaletta, della statua bronzea di Venere, a sin. (da Maiuri, 1927, modificata), e possibile ricostruzione della distribuzione dell'acqua sulla scaletta, a dx.

Dal dislivello tra la sommità del castello privato e la quota della conchiglia, considerata la lunghezza della tubazione, si ottengono valori delle portate compresi tra 0,20 e 0,30 l/s[10] che, se applicati alla sezione trasversale sopra il gradino terminale, starebbero a significare che un'altezza di acqua di meno di 1 cm corrisponde a una velocità del getto da 5 a 10 centimetri al secondo. L'atrio corrispondente all'ingresso 19 è dotato di una fontana posizionata al centro dell'impluvio, di cui rimane una base pilastrino di altezza 0,37 cm, non completa. Si ignora se in sommità fosse presente una statua, o un piccolo bacino-*labrum*, per cui per determinare il funzionamento di questa fontana sono state fatte delle ipotesi, partendo dal fatto che la quota dell'atrio, 22,33 m s.l.m., è a un piano inferiore rispetto a quella della base del serbatoio privato, 24,16 m s.l.m. La differenza di quota tra la cima del serbatoio e la parte superiore del pilastrino-base è di circa 4,51 m. Noti il diametro della tubazione e la sua lunghezza, è stata calcolata una possibile portata compresa tra 0,7 e 0,8 l/s[11]. Vista la portata di 0,3÷0,5 l/s della condotta esterna adduttrice, tale fontana poteva operare solo per un numero limitato di ore al giorno; in particolare, considerando il volume del serbatoio sopraelevato, pari a 3 m^3, la fontana dell'atrio poteva essere azionata per un massimo di 4 ore al giorno.

Tuttavia, vista l'assenza del tracciato esatto delle tubazioni raccordate a questa fontana, va esaminata un'altra ipotesi di funzionamento. Il bacino a pelo libero di fronte al ninfeo poteva agire da bacino di carico intermedio per abbassare il livello di carico sulla tubazione diretta alla fontana dell'atrio. In questo caso le portate sarebbero state comprese tra 0,4 e 0,5 l/s[12].

Fontana del peristilio inferiore e del bacino centrale del triclinio

La fontana del peristilio inferiore è una semplice tubazione che termina sopra un contenitore all'angolo del portico, come mostrato in Figura 11.

Fig. 11 – Possibile ricostruzione della fontana multigetto nell'atrio inferiore, a sin., tubazione discendente lungo le scale dal bacino del ninfeo al peristilio, al centro, dove termina con un rubinetto al di sopra di un dolium, a dx. (da Jansen, 2001).

Utilizzando i valori del diametro rilevato, dei dislivelli e delle lunghezze, si ottengono valori della portata tra 0,35 e 0,50 l/s[13]. Dal bilancio delle portate per il ninfeo e il suo bacino risulta che i vari orifizi sui tre lati (triclinium, possibile atrio e peristilio) potevano essere azionati uno alla volta. Probabilmente la fontana dell'atrio, se collegata al bacino del ninfeo, veniva azionata quotidianamente assieme alla fontana a scaletta, mentre il bacino del ninfeo veniva aperto solo durante i banchetti. Allo stesso modo, la fontana del peristilio inferiore veniva azionata all'occorrenza tramite il rubinetto finale.

Si consideri infine la fontana al centro del triclinio, della quale non si conoscono dettagli sufficienti per immaginare una ricostruzione. Con un semplice zampillo centrale, alto fino a 0,40÷0,50 m, e un foro di immissione di 0,8 cm, la portata risulta uguale a 0,10÷0,15 l/s [14].

Conclusioni e spunti per ulteriori ricerche

Le considerazioni sulle possibili portate delle tubazioni ritrovate all'interno della Casa dell'Orso e in quella dell'Efebo hanno permesso di derivare le seguenti conclusioni:

- nei due casi le portate provenienti dalla connessione alla rete pubblica non superavano 0,85 l/s e all'entrata dell'abitazione pervenivano con un carico totale di 2,5÷3 m di acqua;
- nei due casi la portata ricevuta non era sufficiente ad alimentare tutte le fontane presenti, che venivano azionate all'occorrenza, mantenendo aperta possibilmente la fontana dell'atrio nelle ore di apertura dell'ingresso alla domus e utilizzando le altre quando più opportuno;
- il castello privato della casa dell'Efebo trova ragione nella sua funzione di compensazione, nel caso sia la fontana dell'atrio che quella del triclinio fossero azionate; si è anche considerato che la fontana dell'atrio, potesse essere alimentata non dal serbatoio, ma dal bacino del ninfeo, al fine di ridurre il carico-dislivello;
- la portata della maggior parte delle installazioni è compresa tra 0,3 e 0,50 l/s, con pressioni di esercizio da 1 a 1,5 m di acqua.

L'estensione dello studio ad altre abitazioni permetterà di acquisire ulteriori dati sui valori possibili della scabrezza delle tubazioni a Pompei, che dai nostri calcoli risultano con grande probabilità compresi tra 0,2 e 1 mm di scabrezza assoluta. Nel prossimo futuro, lo studio di abitazioni con installazioni di maggiori dimensioni e con vari tipi di serbatoi privati farà luce su questo accattivante e particolare aspetto della ricerca riguardante la distribuzione dell'acqua potabile nelle città romane.

Ringraziamenti

Si ringraziano la dottoressa A. Sodo e il dottor N. Vitiello, dell'Ufficio SIAV a Boscoreale per il supporto nel reperimento dei dati altimetrici e planimetrici necessari e per la gentile condivisione dei files GIS associati.

Bibliografia

Cochet A., Hansen J. 1986. Conduites et objets de plomb gallo- romains de Vienne. Gallia. Supplement 46, Paris.

Dessales H. 2006. Castella privata: water towers and tanks in roman dwellings. Wiplinger, G. (Ed.) Cura aquarum in Ephesus: Proceedings of 12th International Conference on the History of Water Management and Hydraulic Engineering in the Mediterranean Region, Ephesus/Selçuk, Turkey, 2004 October 2-10, 6,363 - 370.

Dessales H. 2013. *Le partage de l'eau : fontaines et distribution hydraulique dans l'habitat urbain de l'Italie romaine.* Roma: École française de Rome.

Dybkjaer-Larsen J. 1982, The water towers in Pompeii. Analecta Romana Instituti Danici 11, 41-67.

Eschebach H., Schafer, T. 1983. Die öffentlichen laufbrunnen Pompejis: Katalog und Beschreibung. Bollettino dell'associazione Internazionale Amici di Pompei 1, 11- 40,

Jansen G. 2001, Water pipe systems in the houses of Pompeii: distribution and use. In: *Water Use and Hydraulics* (Koloski-Ostrow et al. eds.), 27-40, Boston: Kendall/Hunt Publishing Company.

Jashemski W.F. 1979. *The gardens of Pompeii: Herculaneum and the villas destroyed by Vesuvius*. New Rochelle, New York: Aristide D Caratzas Publisher.

Leander Touati A.M. 2010. Water, well-being and social complexity in Insula V 1, A Pompeian city block revisited. Opuscula. Annual of the Swedish Institutes at Athens and Rome, 3, 105-161.

Maiuri A. 1927 Pompei. Relazione sui lavori di scavo dal marzo 1924 al marzo 1926, Reg I Ins.VII casa nn 10-12, NSc, 32-82.

Nappo S.C. 2002. L'impianto idrico a Pompei. Documentazione e nuovi dati. In binos actos lumina. Rivista di studi e ricerche sull'idraulica storica, 1, 91-108.

Ollson R. 2015. *The water supply system in Roman Pompeii.* Licentiate Degree Thesis, Lund University, Lund.

Pace P. 1983. *Gli acquedotti di Roma e il De Aquaeductu di Frontino*. Roma: Art studio S. Eligio.

Note

1. Dall'esame delle evidenze archeologiche a Pompei si ritiene che nella maggior parte dei casi l'acqua non veniva condotta ai piani superiori; per questo motivo è stato ipotizzato un valore della pressione inferiore ai 3 m all'ingresso della tubazione, sufficiente, nella maggior parte dei casi, per alimentare solo le fontane a livello della strada.
2. La fontana ninfeo della Casa della Fontana grande (Jashemski, 1979), oltre al piedistallo centrale che supportava una statuetta-fontana in bronzo, aveva anche due getti laterali, corrispondenti alle altre due statue-fontana ritrovate.
3. La formula utilizzata per la triettoria del getto inclinato, considerando la distanza orizzontale d, la velocità all'uscita V, e l'inclinazione sull'orizzontale α è:
   $d = (2V^2 \cos \alpha \operatorname{sen} \alpha)/g$, da cui si può calcolare il valore della velocità, per $d = 0{,}50$ m.
   Per il secondo getto con velocità all'uscita diretta secondo l'orizzontale, è stata utilizzata la formula della traiettoria: $y = ½\, g\, (x/V)^2 + h$ ponendo $y = 0$ quando $x = 0{,}50$ m; l'altezza sul fondo, h, e' stata posta pari a 0,20 m. I valori risultanti della velocità sono 2,47 m/s e 2,76 m/s. Supponendo per gli ugelli un diametro di 0,8 cm, le portate corrispondenti risultano 0,12 l/s e 0,13 l/s, per una portata complessiva nella tubazione che alimenta i quattro getti, 2 sul lato sinistro e 2 sul lato destro, di 0,50 l/s.

4. In questo studio, per ricavare il valore della portata necessaria per generare un getto verticale di altezza nota, è stato fatto riferimento alla formula: $H = (Q / 5{,}68\ k\ D^2)^2$, dove k è un coefficiente compreso tra 0,87 e 0,97; Q è espresso in gpm e D e H sono in inches. Nelle unità di misura del sistema metrico l'espressione diventa: $Q = 0{,}03144\ D^2\ H^{½}$, dove Q è la portata in l/s, D è il diametro in cm, H è l'altezza del getto in cm.
5. In questo studio si sono utilizzati, per il calcolo delle perdite concentrate, i coefficienti: 0,7 per curva a gomito; 0,5 per curva a largo raggio, 0,5 per diramazione a Y. Per l'allargamento alla bocca centrale del ninfeo della casa dell'Orso è stato considerato un coefficiente 1, per la giunzione a T un coefficiente 3. Non disponendo di dati sperimentali, la perdita di carico alla cassetta di distribuzione è stata considerata equivalente a una perdita di carico per brusco allargamento (coefficiente 0,8) seguita da un brusco restringimento (coefficiente 0,5). Le perdite di carico distribuite si sono calcolate per ogni tratto, considerando la perdita di carico per metro lineare ricavata dai valori tabellati dell'abaco di Moody per i tubi romani, in corrispondenza ai valori noti delle portate e dei diametri, e mediando i valori ottenuti per valori di scabrezza assoluta compresi tra 0,2 e 1 mm.
6. Si veda la nota 4.
7. Portata calcolata in base alla differenza di livello tra la quota del fondo dell'impluvio e del fondo del serbatoio pubblico.
8. Dai dati GIS forniti dal Piano della conoscenza di Pompei si ottiene la quota del terreno vicino alla torre pubblica N. 5, 25 m s.l.m., che aggiunta all'altezza della torre già identificata fornisce un livello minimo del fondo serbatoio tra 29,3 e 30,2 m s.l.m. Allo stesso modo, dalla quota a lato del serbatoio privato, 24,16 m s.l.m., sommando l'altezza di 3,04 m, si ottiene la quota della sommità del serbatoio, pari a 27,20 m s.l.m. Essendo la condotta di lunghezza tale da rendere trascurabili le perdite di carico concentrate e considerando una lunghezza totale della tubazione di 106,42 m, si ottiene una perdita di carico per metro lineare di 0,0201÷0,028 m/m e, analogamente a quanto fatto per la Casa dell'Orso, considerata la formula di Colebrook tabellata per i tubi standard romani, si ricava che a tale valore corrispondono, nel tubo del diametro considerato di 2,9 cm, le seguenti portate: 0,25÷0,3 l/s per scabrezza assoluta di 2 mm; 0,3÷0,4 l/s per scabrezza assoluta di 1 mm; 0,35÷0,50 l/s per scabrezza assoluta di 0,5 mm e 0,36÷0,6 l/s per scabrezza assoluta di 0,1 mm. Considerando più probabili i valori di scabrezza compresi tra 0,2 e 1 mm, se ne deduce che la portata in arrivo al serbatoio privato doveva essere dell'ordine di 0,3÷0,5 l/s.
9. Si noti che Jansen non include nel suo schema la tubazione che alimentava la fontana al centro dei letti triclinari, che invece è inclusa da Dessales (2013). Le tubazioni che potevano servire il piccolo catino di bronzo identificato da Maiuri (1927) e la vasca in muratura nella zona N-E dell'area del triclinio scoperto non sono state trattate dagli autori citati e non sono considerate in questo studio.
10. Considerando la quota dei getti-conchiglia a 24,62 m s.l.m., quella massima del castello privato come 27,20 m s.l.m. e una lunghezza della tubazione fino alla base in bronzo di 19,11 m, per un diametro interno medio del tubo visibile pari a 1,8 cm costante fino al serbatoio e per vari valori della scabrezza assoluta tra 0,1 e 2 mm la portata risulta compresa tra 0,2 e 0,3 l/s. Nell'ipotesi invece che la tubazione proseguisse con un diametro maggiore, uguale a 2,3 cm, la portata sarebbe di 0,4÷0,54 l/s.
11. La lunghezza della tubazione, considerando i dislivelli, è stimata uguale a 19,77 m. La tubazione è visibile per alcuni tratti al piano inferiore, alle spalle dell'atrio, e le sue caratteristiche sono: perimetro esterno 7 cm, diametri esterni 4 e 5 cm, diametri interni 2,3 e

3 cm, spessore variabile tra 4,3 e 5,9 mm. Utilizzando un diametro interno medio di 2,6 cm, vicino a quello della *senaria* e considerando le varie possibili perdite di carico concentrate, il calcolo idraulico fornisce valori ammissibili di velocità solo se si considera un livello delle bocche-ugelli di almeno 1 m sopra il fondo dell'impluvio; infatti, per livelli inferiori la velocità di uscita dell'acqua e le portate conseguenti supererebbero i valori di 1,4 m/s e 0,8 l/s. Si ipotizza quindi che, piuttosto che un unico getto d'acqua verticale di altezza superiore a 1,2 m dal fondo dell'impluvio, le cui dimensioni sono 0,86 m · 1,08 m, sopra il pilastrino-base uno fosse collocata unastatua fontana provvista di ugelli multipli a circa 1 m di altezza sul fondo dell'impluvio, fornendo una portata tra 0,7 e 0,8 l/s.

12. Eseguendo dei calcoli con una lunghezza di tubazione di 13,87 m e un'altezza del pelo libero nel bacino di 23,69 m s.l.m., la differenza di quota fino alla sommità del pilastrino risulta di 1,73 m. Sempre nell'ipotesi di un'ulteriore statua o di un sistema che elevava il punto di distribuzione di 0,80 m sul fondo dell'impluvio, le portate varierebbero tra i 0,4 e 0,5 l/s, valori compatibili con il range di portate del ninfeo, alimentato da una tubazione *quinaria*. Dunque possono essere considerate le seguenti due ipotesi:
    - fontana dell'atrio funzionante con portate elevate per non più di 4 ore giornaliere, esaurendo la capacità del serbatoio privato;
    - fontana dell'atrio collegata al bacino scoperto del ninfeo, che riduceva il carico rispetto al serbatoio sopraelevato e alimentata con l'acqua scaturita dal ninfeo e raccolta nel bacino, quando le altre aperture verso il bacino del triclinio e verso il peristilio venivano mantenute chiuse.
13. Le caratteristiche della sezione sono: diametro esterno 2,7 e 4,5 cm, diametri interni 2,4 e 3,1 cm, con media di 2,75 cm, spessore tra 4,4 e 5 mm. Il dislivello tra l'imbocco della tubazione e il livello del peristilio è di 1,67 m, la lunghezza della tubazione circa 11,15 m. Se il livello del rubinetto finale fosse intorno a 0,90÷1 m, la portata per vari valori della scabrezza risulterebbe compresa nell'intervallo 0,35÷0,50 l/s, che corrisponde al range calcolato per il ninfeo.
14. Considerato il dislivello tra l'altezza del serbatoio privato e la bocca del getto di circa 3 m e un diametro della tubazione di meno di 2 cm di diametro, la portata risulta compresa tra 0,17 e 0,4 l/s. Si ritiene improbabile che tubazioni di piccolo diametro si allacciassero direttamente alla torre, piuttosto si pensa che tale tubazione si innestasse, tramite una chiave di arresto, sulla tubazione diretta verso il ninfeo.

Giuseppina Ferriello

Antichi testi di Meccanica, nuovi ritrovamenti La Majmu'a (Raccolta) n° 197 di Tehrān

Abstract
The Persian manuscripts are an important source of information on the transmission of Mechanics from the Greek-Roman world to the Renaissance. The translations were made during the period that corresponds to the Middle Ages, for the West, and to the Formative Period for the Islamic world. The collection No.197, which is preserved in Tehrān, offers new contributions for studies. It includes: a short Persian text by Apollonio On the cogwheels; a paraphrased Persian translation of the Ist and IInd books of Mechanics of Heron attributed - as the previous work - to Abū Hatim Muzaffar ben Ismail Isfizārī Isfarledī, who lived at the turn of the 11th and 12th centuries; an Astronomical study, in Arabic language. TheBook on the cogwheels - that Pappus mentions in the Mathematics Collection - was missing, the I° Book of Mechanics, was available only in the Arabic version of Qusṭā b. Lūqā al-Baʿlabakkī, on which Carra de Vaux based his French version published in 1893-1894.

Una ricerca inconsueta nelle fonti persiane di meccanica
Gli Storici della scienza, di solito, non ricorrono a testi persiani di matematiche tradotti dal greco e dal latino per studiare testi antichi pervenuti al Rinascimento attraverso le traduzioni eseguite presso cenacoli privati e soprattutto presso la Bayt al'-Ḥikma fondata nel IX secolo a Baghdād dal Califfo abbaside Hārūn *al*-Rashīd promotore di studi e ricerche di testi (Ferriello, 2004). Questo filone di indagine, infatti, è recente rispetto a quello che, da tempo, utilizza fonti arabe (Ferriello 1998). Ciononostante, nei primi anni Novanta, la casuale scoperta del codice *Supplement Persan n° 369* della sezione Manuscrits Orientaux della Bibliothèque Nationale de France a Parigi, con la versione persiana del II Libro della *Meccanica* di Erone accompagnata da una sintesi del trattato *La Bilancia della saggezza/dei Filosofi* (Ferriello, 2003), avviò un settore di studi fino ad allora poco o affatto esplorato per ragioni sintetizzabili in assenza di curiosità per la produzione di altri Popoli, presunzione che siano state svolte tutte le possibili indagini, mancato ricorso a fonti originarie, scarsa conoscenza delle lingue, limitato studio degli ambiti geografici interpretati in chiave storica, confusione fra lingua araba e altre lingue che utilizzano alfabeti simili ma hanno differente struttura linguistica, variabilità della classificazione del sapere in rapporto agli ambiti geografici e storici e, non ultimi, i pregiudizi (Ferriello, 1993).

Il codice SupplementPersan n° 369

Il manoscritto, trovato svolgendo una ricerca sulla trasmissione di testi di matematiche fra il mondo greco-romano e quello medievale islamico (Ferriello, 1998), nel 1676 era stato portato a Parigi da Isfahān, a quel tempo capitale persiana, grazie a François Pétis de la Coix (1653-1713), emissario del re Sole inviato in Oriente sei anni prima da Colbert, perché imparasse usi e costumi di quei Popoli (Ferriello, 2016). Quasi certamente, il codice era un dono di Mir Morteẓā, genero di Shāh Abbās II, dei cui figli il giovane fu il precettore per alcuni anni,dopo essere stato introdotto a corte dal Superiore dei Cappuccini e da Jean Thévenot, suo padrino di battesimo (Ferriello, 2007). Singolare fu il tentativo di De la Croix di tradurre il testo su pagine bianche affiancate alla versione persiana. Infatti, il suo intervento sul lavoro di Erone, che egli però non identificò come tale, precedeva di oltre due secoli la traduzione francese della Meccanica eseguita da Camille Carra De Vaux sulla base del testo arabo di *Qusṭā b. Lūqā* al-Baʿlabakkī solo alla fine dell'Ottocento (Carra De Vaux, 1893). Altre versioni della Meccanica, che anticiparono quella di Carra de Vaux, ma delle quali ben presto si perse traccia, si deducono da Giambattista Venturi: "*Golio aveva riportato d'Oriente una Traduzione Araba del Tirapesi di Erone, da lui resa in Latino; la quale si giacque lungo tempo inedita, sinchèBrugmans la trasse fuori, e la pubblicò nelle memorie di Gottinga all'Anno 1785* [...]. *Si potrà confrontare la traduzione mia dell'originale, con quest'ultima tratta dall'Arabo, e col transunto datone da Pappo* [...]" (Venturi, 1814).

Il trattatello sulla bilancia idrostatica, che conclude il *Supplement Persan n° 369,* è stato determinante per l'ipotesi di datazione e di attribuzione del Codice. Difatti, il modello a tre bracci rappresentato è quello ideato da Abū 'l-Fatḥ 'Abd al-Raḥmān Abū Manṣur al-Khāzinī al-Khorāsānī (XI-inizi XII secolo), schiavo greco affrancato, nato a Khwāzin nella regione orientale del Khorāsān, studioso e traduttore di Archimede, Erone, Euclide, Menelao e Pappo (Ferriello, 1998). L›immagine della bilancia riprodotta nel Supplement Persan è speculare e ha variazioni secondarie rispetto a quella descritta da Khāzinī stesso nel testo tradotto e pubblicato da Nikolai Khanikoff (Khanikoff, 1860). Dopo la citazione dei lavori di studiosi greci e musulmani che lo avevano preceduto in esperimenti analoghi e nello studio dei centri di gravità, Khāzinī fornisce varie informazioni scrivendo: "[...] *The eminent teacher AbūḤātyim al-Muẓaffarben Isma'il al-Isfazārī* [...] *also handled the subject, for some lenght of time, in the best manner possible, giving attention to the mechanism, and applying his mind to the scope of the instrument, with an endeavour to facilitate the use of it to those who might wish to employ it. He added to it two movable bowls, for distinguishing between two substances in composition; and intimated the possibility of specific gravities of metals being [marked] upon its beam, for reading and observation, relatively to any particular sort of water. But he failed to note the distance of specific gravities from the axis, by parts divided off and numbers* [...] *named*

it "balance of wisdom" [...]" (Khanikoff, 1860). La denominazione dello strumento misuratore si deve ad AbūḤātyim al-Muẓaffar ben Isma'il al-Isfazārī al-Isfarledī (l'eccelso), anch'egli di origine persiana, scienziato; morto nel 1116, fu traduttore di Euclide e di Hypsicle e oggi aggiungiamo anche di Apollonio e di Erone (Ferriello et al., 2016); il suo modello precedeva nell'immediato quello a tre bracci. Ritroveremo lo stesso strumento misuratore in tre dei nove codici persiani con il II Libro di Erone rinvenuti nella primavera 2019, dei quali sono in corso approfondimenti e confronti. La bilancia nei testi degli autori musulmani è indicativa dell'approccio euclideo (Sinopoli, 2015), benché non fosse loro estraneo l'approccio archimedeo, come si evince dalla Raccolta n° 197. Essi ripartivano la Meccanica in *'elm-e ṭaqil* (Scienza dei pesi e del sollevamento dei corpi), che rinviava a Erone, e in *'elm-e ḥiyal* (Scienza dei congegni) collegata a Filone di Bisanzio; funzionali ad ambedue erano la bilancia e lo studio dell'equilibrio dei corpi.

La Majmu'a n° 197 di Tehrān

La *Majmu'a* (Raccolta) *n° 197*, appartenuta all'Imām della moschea di Kerman, oggi è nella Biblioteca della Facoltà di Lettere dell'Università di Tehrān; in Figura 1 ne è riportata una immagine; contiene la versione persiana di un trattatello *Apollonio sulle pulegge* - in realtà è sulle ruote dentate - di cui diede notizia Pappo, al quale risultava già disperso, oltre ai testi, anch'essi in persiano, del I e del II Libro della *Meccanica* di Erone e un trattato arabo di Astronomia, che esula dal presente studio. Dei primi due lavori sono disponibili due copie in arabo: una nella Osmania University di Hyderabād e un'altra nella Ryland Collection di Manchester, che la cataloga al *N° 351*. Quest'ultima include due manoscritti in persiano: un testo catalogato da Mingana come *Costruzione di una ruota idraulica* ed un piccolo frammento sulla *Corrispondenza dei calendari Rūmī e musulmano* tradotto male ed erroneamente riportato in Catalogo. Ambedue i lavori scritti in persiano sono confusi tra i fogli in arabo (Ferriello e Gatto, 2019) e sono assenti nella collezione di Tehrān. Le informazioni errate, la grafia poco comprensibile, la perdita e/o lo spostamento di fogli e la commistione di testi in arabo e in persiano nella Raccolta di Manche-

Fig. 1 – Inizio del Trattato di Apollonio, sulle ruote dentate, Majmu'a n° 197, ff.1v-2r (da dx a sin).

ster impediscono di rendersi conto del vero contenuto: una ruota idraulica ipotizzata per il moto perpetuo e la corrispondenza fra calendario occidentale e musulmano. Il testo sulla ruota assume ben altra importanza rispetto a quella già di per sé intrigante come istruzioni per realizzare un congegno. Il prosieguo del testo è stato identificato dall'équipe di studio di Mohammad Bagheri, che ne ha trattato a Napoli il 12 dicembre scorso in occasione dell'inaugurazione della Mostra 'Leonardo e il rinascimento nei codici napoletani' esposta nella Biblioteca Nazionale.

La Raccolta n° 197 di Tehran e la n° 351 di Manchester riportano rispettivamente in persiano e in arabo i primi due libri della *Meccanica* di Erone e il *Trattato di Apollonio sulle ruote dentate*. Torchild Schiøler, agli inizi degli anni Settanta, accennava di sfuggita al *MS 351* (Schiøler, 1973) ma l'assenza di elementi sul contenuto del codice ne determinava l'oblio. Della versione araba aveva dato notizia già M. Reẓā 'Arshī qualche anno prima, in un articolo in lingua persiana del 1969-1970 su Isfizārī e le sue opere, fra le quali annoverava il *Compendio degli Elementi di Euclide*, ('Arshī, 1970). Nel 2015, nel *Corpus di Meccanica di Isfizārī*, Mohammad Abattouy e Salim al-Hassani diedero alle stampe la versione inglese senza trascrizione di alcuni testi della raccolta di Manchester. Nel 2017, la rivista *Miras-e Elmi-ye Eslam va Iran* (Eredità della Scienza dell'Islām e dell'Irān) ha pubblicato una breve presentazione e la trascrizione del testo del matematico di Perga (c.262-c.180 a.C.) eseguite da Hamid-RezaNafisi in collaborazione con M. Abattouy (Nafisī Abattouy, 2016) preceduta da una sintesi di quanto già espresso nel *Corpus*.

L'indicazione dell'esistenza di una versione persiana dell'inedito lavoro di meccanica di Apollonio sulle ruote dentate stimolò la mia curiosità, che appagai poco dopo, nel 2017, quando Mohammad Bagheri ci fece dono di una copia della rivista di cui è caporedattore; l'anno dopo, ancora grazie a lui, ottenemmo una riproduzione completa della *Majmu'a n° 197*. Scoprimmo così, che, dopo il trattatello di Apollonio, nella raccolta ci sono il I e il II Libro della *Meccanica* di Erone, parafrasati e con vari richiami a studiosi greci vergati da Isfizārī, autore della *Bilancia dei Filosofi* acquisita da Khāzinī e amico di 'Omar Khayyām, col quale operò per qualche tempo ('Arshī, 1969-70). La raccolta è un volumetto rilegato con copertina rigida in similpelle nera e dorso marrone, su cui c'è un bollo di carta di forma circolare e col numero di inventario. Le dimensioni della copertina, 21,5 cm · 13 cm, inducono a ipotizzare un utilizzo di carattere pratico e frequente. Il titolo non è riportato nella scheda incollata in quarta di copertina. Il codice ha due fogli di guardia per lato; la carta è colore beige-avorio ed è consunta in varie zone; i bordi dei fogli non sono netti a causa di evidenti segni di usura e di umidità. Il blocco di pagine, cucito con cotone di medio spessore e multicolore, si stacca dalla costola. Lo specchio di scrittura è rettangolare e non è bordato; i righi in genere sono 15 per pagina; la numerazione è stata effettuata con cifre persiano-arabe e non è riportata su tutti i fogli. I disegni sono inseriti in riquadri, dai quali a volte fuoriescono invadendo i bordi laterali delle

pagine. Secondo il bibliografo Moḥammad Taqi Danesh Pajouh, morto nel 1996, che ha lavorato alla indicizzazione e alla catalogazione dei manoscritti della Facoltà di Lettere che possiede il codice la grafia dell'anonimo copista è la Nastāliq del XVII secolo, come ci ha riferito con una nota personale lo storico della scienza Mohammad Reza Nafisi.

Per non alterare la trascrizione e snaturare l'interpretazione di uno scritto e la sua collocazione storica, nello studio, che è stato concluso per il testo di Apollonio ed è in corso per quello di Erone adottiamo una traduzione rispettosa della ripartizione conferita dall'autore e il più possibile aderente al testo persiano, riportando in tabelle le varianti di tipo grafico e fonetico e nelle note osservazioni su varianti di lemmi e affinità etimologiche o grafiche. Le analogie fonetiche fanno supporre che il copista possa avere scritto talvolta sotto dettatura e/o che non padroneggiasse gli argomenti (Ferriello e Gatto, 2019). La lingua dei testi è eterogenea e non fluente. Talvolta, le difficoltà di interpretazione sono riferibili agli argomenti o alla loro frammentazione originata dalle annotazioni di Isfizārī; altre volte, possono essere ascritte alla struttura sintattica e linguistica. Infatti, spesso Isfizārī adotta la costruzione della frase persiana, ma utilizza lemmi e verbi arabi, oppure fa il contrario. Le complessità supportano l'antichità dell'elaborato ed esaltano il ruolo conferito dai linguisti a Isfizārī, incluso tra i principali formatori della lingua persiana (Lazard, 1963). Alle difficoltà insite nella struttura del testo e nei contenuti delle due opere che analizziamo si aggiungono varie peculiarità del copista, che a volte inverte le lettere di un lemma, altre volte raccoglie all'inizio di parola tutti i diacritici invece di distribuirli in corrispondenza delle lettere che ne sono contrassegnate, ovvero utilizza la 'grafia *shekastè*' (scrittura appesa) per recuperare spazio; forse, può avere scritto talvolta sotto dettatura. Infatti, egli, di tanto in tanto, confonde fonemi e scrive lemmi non pertinenti col tema, ma che hanno affinità grafica o fonetica con quelli giusti. Perciò, è necessario procedere per successivi tentativi e verifiche ricorrendo a vocabolari persiani e arabi. Non mancano variazioni di tipo grafico-fonetico combinate. Ricorrenti sono le assonanze fra گ (G)e ک (K), mentre l'omissione o lo spostamento dei punti diacritici complica la scrittura di molte consonanti:ض, ص, ف, ق, غ, ع, ح, خ, ج, چ, ش, س, ب, ن, ت, پ, ز, ر, د, ذ, ط, ظ. L'inchiostro utilizzato è la china nera e rosso seppia per la rubrica, per l'*incipit* del *II Libro della Meccanica* e per i disegni, ad eccezione di alcuni denti di ruote o di particolari di macchine quasi sempre eseguiti in nero, colore che caratterizza l'*abjad*, cioè la notazione alfabetica. I disegni sono tracciati con penna a punta sottile e in genere con inchiostro rossastro sbiadito dal tempo. Per talune loro parti o per qualche disegno schematico è impiegata la china nera. Il disegnatore ha usato righe e squadrette per i tratti rettilinei e sagome per le circonferenze. Alcuni dettagli come le dentature degli ingranaggi sono elementari, non rispettano proporzioni e sono ridotti all'essenziale; viceversa, alcuni poli-sollevatori, piedritti/colonne e viti scanalate sono disegnati con meticolosa attenzione per i dettagli. La duplice scelta

e il differente grado di approfondimento induce a ipotizzare esecuzione in tempi diversi o intervento di più mani. Le immagini della versione araba del MS *n°351* della *Ryland Collection* e di quella persiana della *Majmu'a n° 197* di Tehrān tranne eccezioni concordano a meno di qualche variazione nella notazione.

I lavori di Apollonio e di Erone nella versione persiana di Isfizārī

1. Il Trattato di Apollonio sulle ruote dentate

Questa breve opera non era nota, se non attraverso un richiamo indiretto al testo greco già disperso quando Pappo scrisse le *Collezioni Matematiche* (Ferriello Gatto, 2019). Le versioni araba e persiana di Isfizārī hanno, perciò, significativa rilevanza quali testimoni dell'attività di meccanico dell'autore antico, che si formò ad Alessandria con i discepoli di Euclide (De Young, 2008-09). Di lui in ambito islamico erano note le *Coniche* tradotte da Hilāl Abī Hilāl al-Ḥimṣī, Thābit b. Qorrah, Ibrāhim ibn Sinān, Abū-'l Fatḥ al-Esfahānī e al-Shirāzī. In particolare, la prima e la seconda sezione furono corrette da Thābit sulla base della traduzione di Ḥonayn ibn Isḥāq. Ibn al-Nadīm, redigendo, nel X secolo, la lista dei libri contenuti nel negozio di suo padre, specifica che circolavano: il *Sectionum conicarum* (7 sezioni e parte della VIII), l'*Apollonii de rationis sive proportionis sectione*, il *De proportione determinata* (2 sezioni), il *De locorum planorum sectione proportionata* (1 sezione), il *De circulis sese invicem tangentibus*, il *Quod duae lineae, si vel minimum a duobus anguli srectis deflectant, in se concurrant* (al-Nadīm, 1970). Ibrāhim ibn Sinān, detto anche Abū Isḥāq ibn Thābit, tradusse sue opere e Moḥammad ibn Mūsā, forse pure Aḥmad, commentò le *Coniche;* Thābit b. Qorrah compilò un *Commento di Apollonio sulla sezione determinata* e tradusse i primi 7 libri delle *Coniche* (Ferriello, 1993). I lavori di Apollonio erano familiari ai musulmani per il nesso con i calcoli astronomici, molto frequenti per motivi religiosi.

Il testo sulle ruote dentate occupa i fogli 1v, 2r, 2v e tre quarti di 3r.; l'incipit è: *"Libro di Apollonio sulla puleggia. Le pulegge A e B siano connesse ad un'altra (J) tramite i loro ingranaggi"*; prosegue quindi esponendo sette tesi con dimostrazioni, in Figura 1, delle quali 5 sulle ruote dentate e le ultime due sui rapporti dimensionali proporzionali dei quali tratta Euclide. Forse, i sette enunciati appartenevano a due diversi capitoli di un'opera più ampia, oppure facevano parte di due differenti opere, come è ipotizzabile considerando la discontinuità tra i soggetti e la maggiore complessità linguistica delle ultime due tesi. Non escludiamo che il testo greco utilizzato possa essere stato già lacunoso, come si desume dalla ḥamdala, cioè dalla preghiera rituale conclusiva con l'explicit: *"A questo punto tutto ciò che abbiamo trovato sul libro di Apollonio è completato. Rendiamo grazie e premio a Dio"*, mostrata in Figura 1. Le argomentazioni sono accompagnate da sei immagini, due delle quali differentemente orientate pur riguardando il medesimo meccanismo (Ferriello e Gatto, 2019).

Per motivare la commistione fra le discussioni sulle ruote e le ultime due sulle proporzioni possiamo riflettere su quanto riportato in un breve studio persiano dello storico della scienza Moḥamad Reza 'Arshī circa Isfizārī, che fu autore anche di un *Commento a Euclide*: "*il saggio del IV libro intitolato Al-maqāle-ye'asharmin Akhteṣār al-Imām al-Muẓaffar al-Isfizārī, (Lavoro sui Fondamenti di Euclide) è consultabile nella Biblioteca Nazionale di Parigi* [...]. *Questo saggio sugli Elementi comprende otto commenti riguardo a dodici procedimenti e venti regole; tuttavia, il IV articolo di Isfizārī comprende undici commenti. Sadillot nella traduzione francese fatta nel 1838 d.C. ha pubblicato la maggioranza di questi argomenti senza spiegare la dimostrazione*" ('Arshī, 1969-70).

2. I primi due libri della Meccanica di Erone

Sul recto del terzo foglio della Majmu'a n° 197, il testo di Apollonio si conclude con un disegno orientato in orizzontale, che doveva essere diversamente alloggiato nella pagina, come dimostra una correzione che, sotto l'abrasione, fa intravedere il vecchio schizzo, come mostrato in Figura 2. Senza soluzione di continuità, si riconosce il I Libro della Meccanica di Erone introdotto dalla basmala: "Nel nome di Dio Clemente e misericordioso la sua benedizione cada su Maometto l'eletto, il giusto. Inizia il discorso su tutto quello che si sa su Erone il meccanico ed Euclide circa il sollevamento di cose pesanti con piccole forze. Questo discorso si compone di tre argomenti. Il primo argomento così dice: supponiamo di avere questa situazione: una forza motrice

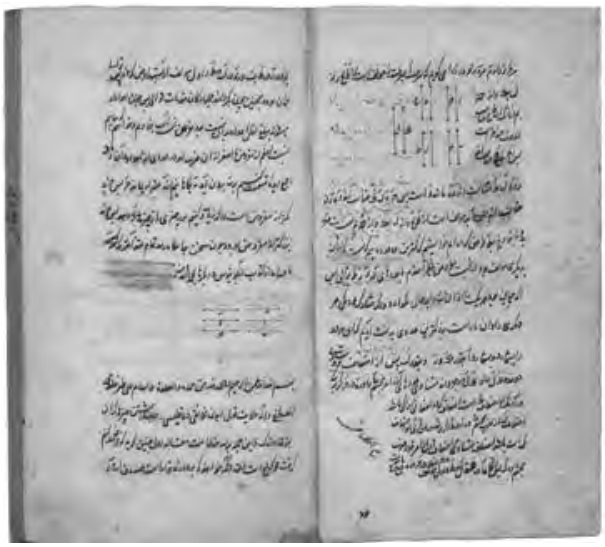


Fig. 2 – Inizio del I Libro di Erone ff. 2v-3r. (da dx a sin).

Fig. 3 – Inizio del II Libro ff.13v-14r (da dx a sin).

di 5 [man] e la forza [resistente] che si vuole quella forza sollevi. Costruiamo la cassa […]". I ragionamenti iniziali, in Figura 3, riguardano le ruote del baroulkos, e si collegano, quindi, in maniera coerente al trattatello di Apollonio. Temi e svolgimento corrispondono alla versione araba della *Meccanica* di Qusṭā b. Lūqā nel codice *OR 51* di Leiden, ma Isfizārī inserisce osservazioni e riferimenti che esprimono nuovi elementi rispetto a quelli finora tradotti dal persiano e dall'arabo. Dopo i primi tre righi, a pagina 13v, inizia il II Libro, in Figura 3, la cui transizione è rubricata con china rossa: "Compendio del secondo libro di Erone sul sollevamento dei corpi pesanti con una forza più piccola. Il discorso riguarda la posizione di una forza che, grazie a uno strumento, sposta un carico noto grazie a quei cinque strumenti […]".

Dopo le macchine semplici e composte derivate da diversi assemblaggi e dopo le relative dimostrazioni, il libro termina sul f. 21v con il ringraziamento finale: "*È concluso il saggio sul secondo libro. Sia lodato Mohammad e ringraziato Allah"*. La preghiera indica che l'autore voleva concludere l'opera esattamente a quel punto, avendo egli collazionato il materiale disponibile ed essendosi assicurato la possibilità di tramandarlo ai posteri, lasciando intendere che le opere complete già non erano più disponibili.

Nonostante la presenza di uno stesso testo in due differenti lingue diffuse in ambito islamico, arabo e persiano, e in una moderna europea, inglese, la traduzione è complessa, né grande supporto dà la versione di Abattouy e al-Hassani, i quali suddividono il testo in paragrafi ed enunciati che non esistono nel testo; per di più

essi semplificano i passaggi complessi, oppure eliminano qualche rigo, come nella proposizione n° 2, o, addirittura, intere tesi, come la n° 6 e la n° 7 di Apollonio. La loro suddivisione agevola la comprensione degli argomenti, ma non consente l'analisi filologica, che è un valido strumento di indagine per intendere l'epoca e l'originalità di un testo antico (Ferriello, 2007). La sequenza delle proposizioni è la stessa dell'*OR 51*di Leiden; anche le immagini devono essere state attinte da uno stesso archetipo, le ritroveremo nei manoscritti rinvenuti recentemente a Tehrān, dove sono in numero differente forse per la presenza di lacune o per scelte dei copisti. Fondamentali e innovativi sono gli accenni a studiosi greci come Apollonio, Euclide e Archimede, in quanto offrono opportunità di nuovi approfondimenti. È verosimile che l'autore di ambedue le opere qui analizzate sia stato Isfizarī, matematico arabografo e persografo, il quale rivestì un ruolo significativo nella costruzione della lingua. Infatti, Gilbert Lazard lo annovera fra gli specialisti determinanti per la formazione del persiano grazie a due testi tradotti direttamente dal greco: *Risāla-e Shabaka* (La rete) e *Athār-e 'ulwī* (L'opera celestiale) sui fenomeni atmosferici (Zakari). Del Nostro il linguista scrive: "*Abū Ḥātyim al-Muẓaffar ben Isma'il al-Isfazārī, savantmort u début di VIe/XIIesiècle, est l'auteur, en persan, d'un traité des phémomènes atmospheriques (*āθār i 'ulvī*)…et d'un autre opuscule de sciences naturelles (*Risāla-i shabaka*)* […] *Ces écrits ne fournissent guère au linguiste qu'un témoignage sur le vocabulaire"* (Lazard, 1967). I disegni della copia persiana della Meccanica sono tracciati dalla stessa mano che ha illustrato il trattato di Apollonio sulle ruote dentate. Difatti, gli accorgimenti sono gli stessi, anche se, talvolta, sono stati eseguiti tratteggi differenti. Il disegnatore ha utilizzato righe e altri ausili per disegnare le parti circolari e ha schematizzato appoggi verticali e travi, laddove nel I Libro si tratta della distribuzione e dell'equilibrio dei carichi. Particolarmente curati sono i disegni delle corde delle pulegge, fino a dettagliare le maglie delle catene nell'argano e le torsioni delle gomene. Lo sviluppo grafico di alcuni poli-sollevatori sembra limitato dallo specchio lasciato libero dal copista. L'abjad, cioè la notazione alfabetica delle figure è di colore nero, mentre i disegni sono a china rosso-seppia, il tratto è sempre sottile e fermo. A volte, per adattare i disegni al foglio, il disegnatore li ha ruotati.La difficoltà di interpretazione del testo, la complessità linguistica e la grafia rallentano lo studio, gravato ancora da scelte ascrivibili al copista, il quale, a volte, sembra scrivere sotto dettatura; altre volte, omette punti diacritici, ovvero li accorpa all'inizio di parola oppure agisce sull'ampiezza delle varie lettere. Lo svolgimento degli argomenti e la loro complessa trattazione sono appesantiti linguisticamente dai richiami ad autori antichi e ad accorgimenti entrati nella pratica comune, tanto da essere solitamente trascurati. Dalla trattazione emerge l'importante funzione di Isfizarī, che va ben oltre il ruolo già di per sé notevole di esperto nell'arte della bilancia e in astronomia. Nello stesso tempo, si evidenzia la funzione indispensabile delle fonti nella trasmissione del sapere tecnico-scientifico e nella relativa documentazione.

Il rinvenimento di altri nove manoscritti persiani del II Libro della Meccanica di Erone con illustrazioni che in massima parte si ripetono, sebbene con figurazioni legate alla singola personalità e al tempo in cui opera il disegnatore accredita l'ipotesi del ricorso a un archetipo che doveva essere molto considerato dai traduttori musulmani. Esso doveva essere illustrato con immagini passate sostanzialmente indenni attraverso il tempo, testimoni importanti della diffusione dell'opera eroniana. I nuovi reperimenti portano a 13 le copie persiane del II Libro di Erone. Intanto, la Majmu'a n° 197 è un caposaldo per la meccanica, poiché contiene commenti e riferimenti assenti altrove e il I Libro, finora disponibile esclusivamente nella versione araba di Qusṭa e in quelle in lingue europee da essa tratte (Ferriello, 2006). Isfizarī è esperto in più discipline; conosce autori antichi, che recupera nei richiami a Euclide, Archimede ed Apollonio. Egli ha contribuito alla formazione della lingua persiana traducendo dal greco vari testi e impiegando costruzioni sintattiche e lemmi che trasferisce dall'arabo al persiano e viceversa, rafforzando quanto afferma Lazard circa il maggiore e determinante contributo dato alla formazione della lingua dai testi scientifici rispetto a quelli letterari o poetici, in quanto essi concorrono a formare e a stabilizzare un linguaggio pertinente e necessariamente preciso e conciso.

Vita e opere di Isfizari

Le informazioni più complete oggi disponibili su Isfizārī sono nell'articolo di 'Arshī ('Arshī, 1960), qui di seguito riportato in una traduzione originale.

«p.2. *Vita e Opere di Isfizārī.* Abū Hātim Al-Muẓaffar Ibn Ismail Isfizārī, grande astronomo, matematico e naturalista iraniano, detto l'Imām saggio, nacque entro la metà del V secolo dell'Egira a Isfizār, antica contrada del Kororāsān, lungo la strada per Herāt. Non disponiamo di molte informazioni sulla sua vita. Il testo più antico consultato che tratti di lui è il libro *Complemento della giusta saggezza* di Bayaqī (493H. [1099 d.C.] – 565H. [1169 d.C.]), che succede di poco la morte di Isfizārī. Nell'introduzione del libro *al-Shabaka* (la rete) e nel libro *al-Kāmal* (Il Completamento) Ibn Athir, fra gli eventi dell'anno 467 H. [1074], sotto il nome di Abū Al-Muẓaffar Isfizārī ricorda e scrive che egli dal 467 al 475 H. [1082 d.C.] (Malekshāh il selgiuchide) fu ad Isfahān, successivamente in Khorāsān ad Herāt, da lì poi andò a Balkh. Nezāmī 'Arūẓī di Sarmarcanda nel libro *I Quattro discorsi*, compilato fra il 551H. [1156 d.C.] e il H.552 H. [1157 d.C.], nel II capitolo, a pag. 300, narra che nell'anno 506 il principe Imam Muẓaffar Isfizārī fu visto nell'abitazione di Abū Sa'id Yary a Balkh e nel mese di Shaharivar lo incontrò per strada a Balkh. Bahyaqī accennò a una disputa fra Khayyam e Isfizārī sulle congiunzioni dell'intelletto. Shamardān b Abī al-Khair (V-VI sec. H.) nel libro *Nuzhat nāmè-ye 'elmī* (Il Nutrimento dell'intelletto), composto prima dell'anno 513 H. [1119 d.C.], segnala che nel libro *La misericordia di Allāh* era scritto che Isfizārī in quell'anno non era in vita. Ma è possible che siano state apportate aggiunte al testo di Ibn Anwān da parte

di altri scrittori. L'anno dopo la compilazione di questo libro (477 H. [1084 d.C.]), fu scritto che Isfizārī terminò di vivere in quell'anno. Così 'Abd al-Rakhmān Khāzinī (VI secolo H.) contemporaneo e suo collega, scrive nel libro *Mizān al-Ḥikmah* (La bilancia della saggezza/dei filosofi): "*Abū Hātim Muẓaffar morì - pace all'anima sua - prima che terminasse il libro Mizān al-Ḥikmah*". Da ciò si deduce che Isfizārī morì fra gli anni 506 H. e 515 H. [1121 d.C.] .

p.3. *Attività intellettuale ed opere di Isfizārī.* Fra le sue attività principali c'è la collaborazione nell'osservazione astronomica dell'equinozio di primavera e delle misure necessarie per la precisa determinazione della lunghezza dell'anno solare per stabilire la riforma del calendario e la redazione dell'almanacco Jalali. Fu collaboratore nella costruzione dell'edificio dell'osservatorio di Isfahān, che verosimilmente è il più grande [costruito] del governatore Malekshāh selgiuchide Khwājè Nizām al-Molk, ultimato nell'anno 467 H. [1074 d.C.]. Si occupò anche della bilancia di Archimede, famosa come *Bilancia della frode*, che era una bilancia costruita per determinare la non purezza dei materiali come l'oro e l'argento e anche per determinare la quantità di metalli adoperati nelle monete, con cura studiò ed agevolmente individuò in tutte loro alterazioni; aggiunse due piatti e la chiamò *Bilancia della saggezza*. Dicono che consegnò la bilancia al tesoriere del califfo che, temendo che fossero svelati i suoi imbrogli, la ruppe e ne nascose i pezzi nel terreno. Abū Hātim, quando ricevette tale notizia si crucciò, soffrì per circa un anno e per effetto di ciò morì. Questo viene detto da alcune persone sue contemporanee che nei propri scritti citano e indicano il luogo e la città in cui egli si trovava a quel tempo. Alcune persone sue contemporanee nei propri scritti riportano l'evento nominando il luogo e la città in cui egli allora si trovava. Isfizārī compose una quantità di opere di astronomia, matematiche, scienze naturali ecc., molte delle quali oggi non sono disponibili oppure non sono ancora note. Alcune delle sue opere attribuite sono le seguenti:

- مراکز الاثقال و صنعتہ *Centri di gravità e* (Guida all'uso e all'arte della bilancia). Abd al RaḥmānKhāzinī nel titolo del II Libro di *La Bilancia della saggezza* dà notizia di questo trattatello in arabo, che si compone di 4 capitoli, introduzione e istruzioni su come si pesa. Una copia è conservata nella Biblioteca Zahir di Damasco.
- **میزان الحکمۃ** (*La Bilancia della saggezza*), Khāzinī nel V capitolo tratta del lavoro di Isfizārī e dice che quest'opera è rimasta integra.
- **آثار علوی** *(L'opera celestiale)*.Sull'atmosfera, fu composta prima dell'anno 500 H. in persiano, per Fakhr al-Molk figlio di Neẓam al-Molk.Quest'opera è stata pubblicata a Tehrān nel 1319 H. [1901 d.C.] con correzioni del testo e note di Moḥammad Taqī Reẓa, dottore in teologia.
- **رسالہ در احکام حرب و اختیار عالت ومغلوب** *(Trattato sulle regole della guerra e sull'elezione del vincitore e del vinto)*. Il trattatello si occupa della guerra e delle disposizioni per la vittoria e per la sconfitta. Quest'opera di Isfizārī è citata da

Ismā'il Bāḥarzi, studioso dell'epoca di Sulṭān Sanjar, nel libro *I poteri di un mistico*; della relazione fino ad oggi non è stata tratta alcuna copia.

- **اختصار فى اصول اقليدس** *(Compendio degli Elementi di Euclide)*. Il saggio del XIV libro col titolo *Al-maqāle-ye'asharmin Akhteṣār al-Imām al-Muẓaffar al-Isfizārī*. Il lavoro sui Fondamenti di Euclide dell'imam Al-Muẓaffar al-Isfizārī è consultabile nella Biblioteca Nazionale di Parigi al n° 2458/4. Questo saggio sugli Elementi comprende 8 spiegazioni riguardo a 12 procedimenti e 20 regole; tuttavia, il quattordicesimo articolo di Isfizārī comprende 11 spiegazioni. Sadillot ha pubblicato la maggioranza di questi titoli senza spiegazione della dimostrazione nella traduzione francese fatta nel 1838 d.C.
- **مقدمة فى المساحة** (*Introduzione al rilievo/agrimensura*). Una copia si trova nella Biblioteca Lālellī di Istanbul catalogata al n° 2708/3.
- **تلخيص كتاب الحيل بنى موسى** (*Compendio del Libro sui congegni dei Banū Mūsā*). Una copia è nella Biblioteca di Manchester classificata al n° *B351*; un altro testo sullo stesso argomento è al numero *O351* della stessa Biblioteca ed è probabile che delle parti siano anteriori. Nell'introduzione non c'è traccia dei due trattatelli di Abū Hātim Isfizārī rinvenuti di recente sulla base di un'annotazione a margine. Il defunto Qorbānī, dopo avere citato tre opere di matematica di Isfizārīe il trattatello *Athar-e 'ulwi* (L'opera celestiale) cita un altro lavoro di Isfizārī, sparito, da lui, però, visto».

Ringraziamenti

La mia riconoscenza va a Moḥammad Bagheri, per l'aiuto nel recupero di codici e per la ventennale amicizia ricca di scoperte, a Akbar Irani e agli studiosi della *Miras-e Maktub* che mi hanno accolta fra gli Storici della scienza.

Bibliografia

Abattouy M. Al-Hassani S. 2015. *The corpus of al-Isfizārī in the Sciences of Weights and Mechanical Devices*, London: Al-Furqān

'Arshī M. R. (trad.). 1969/70. Due componimenti di Abū Ḥātyim al-Muẓaffar ben Isma'il al-Isfizārī, trovati di recente sul calcolo e la meteorologia. Tarich-e 'elm, 9, 1-36.

Carra de Vaux C.M.B. 1893. Les Mécaniques ou l'élévateur de Héron d'Alexandrie, ubliées pour la primière fois sur la version arabe de Qustā' ibn Lūqā, et traduit en français par le M. Le Baron Carra de Vaux. Journal Asiatique, I, 386-472; II, 152-194 e 227-269; III, 461-514.

De Young G. 2008-09. A Persian translation of al-Jawharī's Additions to Elements, Book V. Tarikh-e elm, 7, 1-24.

Ferriello G. 1993. *Le tecniche costruttive nel Medio Evo Islamico attraverso le fonti persiane*, Tesi di laurea in Lingue e letterature straniere moderne orientali, Istituto Universitario Orientale di Napoli.

Ferriello G. 1998. *Il sapere tecnico-scientifico fra Iran e Occidente una ricerca nelle fonti*, Ph. D. in Studi Iranici, I. U.O., Napoli, a.a. 1997-1998.

Ferriello G. 2003. La meccanica di Erone in una inedita versione persiana medievale annotata dall'emissario di Luigi XIV. Atti Convegno AIMETA, Ferrara, 175-183.
Ferriello G. 2004. I "costruttori" e Il "costruire", nel Kitâb (Libro) del mondo islamico fra il VII ed il XVII secolo. Atti dell'Accademia Pontaniana, 127-146.
Ferriello G. 2007. The Lifter of heavy bodies of Heron of Alexandria in the Iranian world, Nuncius, 327-345. Firenze: Leo S. Olschki.
Ferriello G., Gatto M., Gatto R. 2016. *The Baroulkos And The Mechanics Of Heron*. Firenze: Olschki.
Ferriello G. 2016. La diffusione della Meccanica di Erone in ambito Iranico. In: *Scienze e Rappresentazioni* (P. Caye, R. Nanni, P.D. Napolitani eds), 69-87. Firenze: Leo S. Olschki.
Ferriello G., Gatto R. 2019. Apollonius Mechanicus. Isfizārī's Persian Version of the Treatise On the Pulleys and Two Other Anonymous Persian Texts.Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche, Pisa, 51-105.
Ibn al-Nadim. 1970. *al-Fihrist*, (edit. e trad. Bayard Dodge, *The Fihrist of al-Nadīm, a Tenth-century Survey of Muslim Culture*), 2 voll. New York and London: Columbia University Press.
Khanikoff N. 1860. Analysis and estracts of Book of the Balance of Wisdom. Journal of American Oriental Society, VI, 1-128. Ristampa anastatica, 1982. Vaduz
Lazard G. 1963. *La Langue des Plus Ancients Monuments de la Prose Persane*. Paris: Kliensieck
Nafisī H.R. Abattouy M. 2016. Risāleha-ye Abū Ḥātim Isfizārī dar 'elm-e mekanīk (ḥiyal). Miras-e Elmi-ye Eslam va Iran, 9(5), 6-34.
Nateg J. N. KarimiM. 2015-16.An Investigation on the Originality of the Persian Manuscripts on Lifting Heavy Weights. Tarikh-e Elm, Iranian Journal for the History of Science, 12(1), 95-113.
Schiøler T.1973. Roman and Islamic Water-lifting Wheels. Acta Historica Scientiarum Naturalium et Medicinalium, 28.
Sinopoli A. 2015. *Il problema dell'equilibrio da Aristotele a Varignon*. Milano: F. Angeli.
Gianbattista Venturi 1814. *Commentarj sopra la storia e le teorie dell'ottica*. Bologna, Masi. 1814.
Zakeri M. 2008. The reception of Aristotle's Meteorologia in the Persian world: Isfizārī's Meteorology. In: AA.VV., A Shared Legacy, Islamic Science East and West, 309-320, Barcelona: Publicacion i Edicions de la Universitat de Barcelona.

Massimo Corradi

Sir Robert Seppings (1767–1840): l'invenzione nella tecnica e l'arte della costruzione navale

Abstract
The history of shipbuilding has always shown an exuberance of "doing" over "knowing". The wisdom of the ancient builders and shipbuilders was the result of extensive experience gained in shipyards: a system of uninterrupted traditions based on knowledge and repetition of techniques and knowledge of construction, and above all on the creative fidelity that is proper to historical memory. This system had pervaded shipbuilding until the end of the 19th century, when the advent of iron construction and the entry of steam propulsion produced a paradigm shift in its irreconcilability with a linear view of the history of shipbuilding. At the debut of the nineteenth century, Robert Seppings introduced important innovations and improvements in the shipbuilding technique in the shipyards of Chatham, a construction system that combined tradition and innovation in the construction of the naval skeleton, thanks to the creation of a frame structure with diagonal beams which significantly increased the longitudinal rigidity of the hull, thanks to a greater resistance to bending. It was a significantly improved solution compared to the traditional shipbuilding structure, which allowed the construction of ever larger and more robust ships.

Introduzione
La storia della costruzione navale ha sempre manifestato un'esuberanza del "fare" sul "conoscere". La saggezza degli antichi costruttori e dei maestri d'ascia era il risultato di una vasta esperienza maturata nei cantieri navali: un sistema di tradizioni ininterrotte basate sulla conoscenza e sulla ripetizione delle tecniche e della conoscenza della costruzione, e soprattutto sulla fedeltà creativa che è propria della memoria storica. Questo sistema ha pervaso la costruzione navale fino alla fine del XIX secolo, quando l'avvento della costruzione in ferro e l'ingresso della propulsione a vapore ha prodotto un cambio di paradigma nella sua inconciliabilità con una visione lineare della storia della costruzione navale.

Al debutto del diciannovesimo secolo, un giovane assistente di cantiere, Robert Seppings, introdusse nei cantieri navali di Chatham, nel sud-est della Gran Bretagna, importanti innovazioni e miglioramenti nella tecnica di costruzione delle navi, nonostante una certa diffidenza verso l'innovazione ostentata sia dalle autorità del can-

tiere sia dalla Royal Navy. La sua proposta progettuale fu "The Seppings Method", un sistema costruttivo che univa tradizione e innovazione nella costruzione dello scheletro navale, grazie alla realizzazione di una struttura a telaio con travi diagonali che aumentava sensibilmente la rigidezza longitudinale dello scafo, grazie a una maggiore resistenza alla flessione. Una soluzione notevolmente migliorativa rispetto alla tradizionale struttura ortogonale della costruzione navale, ottenuta attraverso un attento uso di strutture trasversali e longitudinali, che rivoluzionava la forma delle navi, e consentiva di costruire navi sempre più grandi e robuste. Per Seppings la tecnica non era solo uno strumento invasivo e indifferente al fatto artistico, come la tradizione della costruzione navale voleva, ma la nave era soprattutto un simbolo artistico e costruttivo della potenza navale di una nazione; lo scheletro della nave non era dunque solo l'esternazione di ossatura e muscoli, ma anche un ricordo della memoria di un'arte costruttiva che faceva sì che la nave fosse la macchina meccanica "perfetta" per eccellenza. È per questo motivo che Seppings affrontò anche il tema del castello di poppa, simbolo indiscusso di eleganza e magnificenza di un vascello, modificando il design degli archi di poppa, in modo che diventassero più forti e più resistenti contro i colpi dell'artiglieria nemica, ma consentendo anche di inserire un potente armamento, non disdegnando tuttavia una "geometria artistica" in grado di ammorbidire forma e struttura. La tecnica non aveva per Seppings solo uno scopo funzionale, ma anche un valore simbolico e artistico, non era più solo *ratio*, ma anche simbolo che combina struttura e ornamento e non distingue più tra ciò che è necessario e ciò che è superfluo. Il ruolo rivestito da Seppings nello sviluppo della costruzione navale non era più solo una questione di conoscenza della cultura costruttiva propria dei Maestri d'ascia, ma era la ricerca di soluzioni innovative che sapessero combinare le conoscenze proprie del pensiero scientifico con quelle che esprime la concretezza del fare costruttivo e artistico.

Robert Seppings: cenni biografici

Giovane rampollo di Robert Seppings (c. 1730-1781) e Lydia Milligen (1734-1821), Robert Seppings nacque a Fakenham, Norfolk, il giorno 11 dicembre 1767. All'età di quasi quindici anni diventò apprendista nei cantieri navali di Devonport, a Plymouth, poi divenuta base navale della Marina di Sua Maestà. Dal 1797 al 1803 fu maestro assistente, Master Shipwright Assistant, nei cantieri di Plymouth e dal 1804 al 1813 in quelli di Chatham, nel Kent, e nel 1804 fu promosso maestro d'ascia, Master Shipwright. Negli anni 1813-1832 divenne Appointed Surveyor of the Navy, e nel 1819 fu nominato Appointed Knight Bachelor. Il 14 giugno 1813, Seppings assunse l'importante ruolo di Ispettore della Marina (Surveyor of the Navy) con Joseph Tucker (c. 1760-1831)[1] incarico che mantenne fino al suo ritiro nel 1832. Fu nominato membro della Royal Society il 10 marzo 1814 e ottenne il cavalierato il 17 agosto 1819. Nel 1818 ricevette la medaglia Copley, premio riconosciuto dalla Royal So-

ciety agli scienziati di tutte le discipline, per i suoi meriti scientifici, oltre a numerosi riconoscimenti in Russia, Danimarca e Olanda.

Fin da giovane Seppings mostrò un profondo interesse per la sua professione, anche se non era molto preparato nelle matematiche (Stephen, 1897), e si fece notare per una capacità inventiva nel lavoro, associata a una determinazione nel conseguire i risultati sperati, grazie alle sue qualità di buon osservatore e lavoratore coscienzioso e preciso (Beloe, 1897). Quando era ancora un giovane assistente al maestro d'ascia, nel cantiere navale di Plymouth, il suo lavoro consisteva nel puntellare e sollevare le navi nello scalo. Questo sistema di lavoro, da lui reputato complesso e dispendioso in termini di tempo, gli fece ideare un metodo che consentiva di sospendere le navi nello scalo o nel bacino di carenaggio anziché sollevarle e che si dimostrò utile, perché ridusse notevolmente il tempo necessario per riparare le parti inferiori delle navi in manutenzione nei bacini di carenaggio, rispetto ai complessi sistemi di sollevamento allora in uso. Laddove il vecchio sistema di sollevamento della nave necessitava l'impiego di cinquecento uomini, il sistema di Seppings ne richiedeva solamente venti e necessitava solo i due terzi del tempo in precedenza impiegato. L'idea di Seppings consisteva nel far adagiare la chiglia del vascello su una serie di sostegni posti sul fondo del bacino, ciascuno di essi era composto di un cuneo di legno duro, la cui superficie superiore era piatta e i lati inferiori tagliati a formare un angolo ottuso di 170°, e sottostante un cuneo rivestito di ferro. Due cunei di ghisa, ciascuno con un angolo acuto di 5°, erano allora posti sotto ai due cunei, su ciascun lato del blocco centrale, che poteva essere facilmente tolto da sotto il fondo della nave per mezzo di alcuni colpi di mazza dati con "intelligenza", alternativamente, sui due lati dei due piani inclinati; attraverso la rimozione in successione dei blocchi, si evitava di sollevare la nave, come invece bisognava fare in precedenza (Smedley, 1845). Il risultato fu che divenne possibile, in un tempo relativamente breve, rimuovere le strutture di supporto della chiglia della nave e procedere agevolmente ai lavori di manutenzione della chiglia dei vascelli nei bacini di carenaggio, perché la nave era sollevata e ancorata alle spalle del bacino[2]. La prima esperienza fu fatta a Plymouth sul vascello di 1a classe da 114 cannoni HMS San Josef, già vascello spagnolo San José. In breve tempo, l'idea di Seppings divenne comunemente nota come "Seppings Blocks" (Seppings, 1805) e adottata in tutti i cantieri navali inglesi. Per questa invenzione, Seppings ricevette 1.000 sterline dall'Ammiragliato britannico anche grazie al sostegno datogli dall'allora Sovrintendente John Henslow (1730-1815)[3].

Nel 1804 Seppings fu nominato *Master Shipwright* a Chatham e la sua attività fu dedicata alla riconversione, alla manutenzione e alla costruzione di importanti navi per conto della Marina di Sua Maestà: costruì numerose fregate, sloop, corvette e navi di linea[4], e negli ultimi anni di lavoro in qualità di *Appointed Knight Bachelor* si dedicò alla sola progettazione di sloop, fregate e corvette[5], realizzando, tra l'altro, i

disegni di alcune navi a vapore[6]. Nondimeno, la sua attenzione fu rivolta alla ricerca di tecniche innovative nella costruzione navale che, a suo parere, dovevano essere in grado di migliorare la qualità del naviglio in forza alla Royal Navy, partendo dal concetto che era fondamentale aumentare la resistenza strutturale, necessaria soprattutto durante il combattimento navale, oltre che migliorare la tenuta in mare.

Robert Seppings morì a Taunton il 25 aprile 1840[7].

Una continua ricerca tra tradizione e innovazione

Come detto, nel 1804 Seppings fu nominato *Master Shipwright* a Chatham e iniziò a occuparsi dello sviluppo di un nuovo metodo di costruzione navale per affrontare e risolvere una serie di problemi associati alla progettazione tradizionale delle navi di legno. Le navi a vela di legno erano note per subire forti deformazioni longitudinali, in primis all'atto del varo e poi in navigazione; le estremità tendevano a incurvarsi verso il basso rispetto alla sezione maestra per effetto della pressione dell'acqua all'intradosso della carena, fenomeno che si riscontrava dopo un periodo di servizio non sempre lungo. Ciò era in parte causato dai problemi di galleggiabilità della sezione a mezza nave e delle ordinate a poppa e a prua e questo fenomeno era accentuato vieppiù dalla distribuzione uniforme dell'armamento nelle navi da guerra e dal movimento della nave nell'acqua, oltre che, naturalmente, dai più ovvi problemi causati dai carichi dinamici imposti dalle onde che fortemente incidevano sulla resistenza dello scafo e delle strutture interne. Il risultato era che la nave perdeva la forma iniziale, le sue articolazioni e i suoi giunti tendevano ad allargarsi e quindi le sue qualità nautiche diminuivano, comportando il suo ritiro dal servizio per provvedere ai necessari lavori di manutenzione o addirittura di ricostruzione. Il problema era ovvio, ma la soluzione non era stata presa in considerazione fino a quando le guerre rivoluzionarie e napoleoniche francesi imposero alla Royal Navy di massimizzare le attività in mare, con un numero sempre crescente di navi in servizio permanente. La mancanza di legname da costruzione navale era un'altra complicazione. Il problema era già stato affrontato dai costruttori inglesi, ma senza giungere a una soluzione valida. Nel 1791 e nel 1796 Gabriel Snodgrass (1719-1799), impiegato nella Compagnia delle Indie Orientali, suggerì di rinnovare le vecchie navi con l'aggiunta di ginocchia di ferro e rinforzi incrociati per aumentare la loro resistenza trasversale. Sebbene questa fosse una tra le soluzioni adottate, non era del tutto sufficiente per risolvere il problema.

A Chatham, nonostante una certa diffidenza ostentata in quel periodo dalle autorità del cantiere verso l'innovazione navale, Seppings fu in grado di introdurre importanti innovazioni e miglioramenti nei metodi di costruzione navale. Nel febbraio 1805 decise di provare a mettere in pratica le sue idee su due navi, la HMS *Orion* e la HMS *Kent*, in corso di ricostruzione, e nei successivi sei anni sviluppò un sistema da lui ideato, impiegato per la prima volta sulla HMS *Albion* nel 1811 e, in una nuova

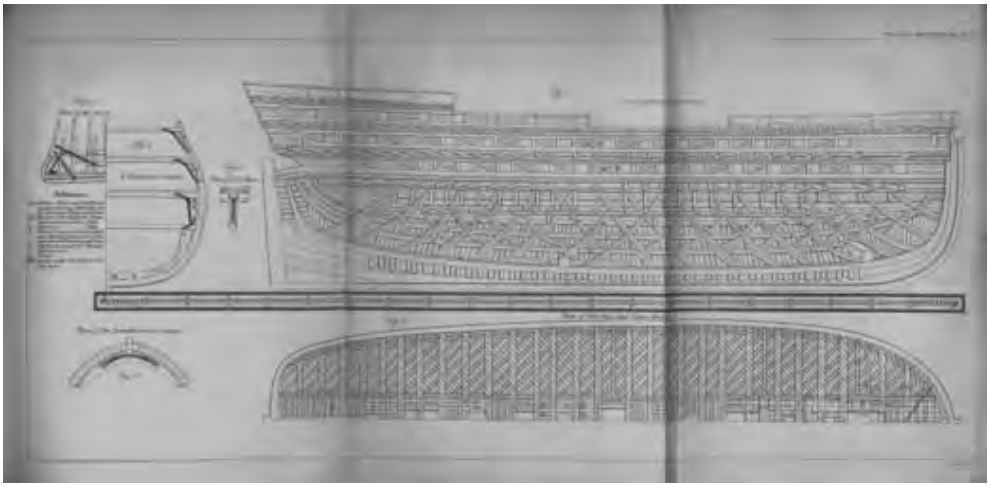


Fig. 1 – Sistema di rinforzi diagonali, il Seppings truss system, dell'ossatura portante dell'opera viva ideato da Robert Seppings (da Seppings, 1814).

nave la HMS *Howe*, nel 1815. In particolare, si trattava di aumentare la forza longitudinale delle navi con un sistema di rinforzi costituito da controventi diagonali[8], che fu chiamato "The Seppings Method" e che è illustrato in Figura 1 creando di fatto una struttura a telaio con aste diagonali, che aumentava drasticamente la rigidezza longitudinale dello scafo[9]. Il sistema di Seppings prevedeva, inoltre, di riempire gli spazi tra i telai trasversali fino al ponte della stiva con legno vecchio di recupero, inserendo anche un sistema di telai di legno trasversali lungo tutta la nave, sostituendo le ginocchia a trave di legno con elementi di ferro e inserendo degli spazi vuoti per far correre l'eventuale acqua di risulta dalla navigazione lungo un anello di scarico quasi orizzontale; inoltre, il tavolato del ponte, all'epoca disposto perpendicolarmente ai bagli, era sostituito con un tavolato disposto a quarantacinque gradi rispetto alla linea d'asse centrale. Questa innovazione di Seppings, la più famosa fra le sue, insieme all'introduzione del telaio longitudinale, fu completamente sviluppata sulla HMS *Tremendous* quando fu oggetto di riparazione e restauro nel 1810. L'Ammiragliato, grazie all'intermediazione di Charles Philip Yorke (1764-1834), Segretario di Stato per gli Affari Interni, scavalcò il Navy Board e fece in modo che il sistema strutturale di Seppings fosse usato per la ricostruzione delle navi da 74 cannoni HMS *Tremendous*, HMS *Ramilles* e HMS *Albion*. Il sistema a travi diagonali consentiva, infatti, di ottenere una maggiore resistenza flessionale nella direzione longitudinale, sicuramente migliore di quella ottenibile con l'ossatura ad angoli retti della costruzione tradizionale, che era ottenuta con telai trasversali e fasciame longitudinale. In questo modo si risolveva anche il problema dell'inflessione della poppa e della prua

verso l'alto, il cosiddetto hogging, fenomeno che era dovuto all'irregolarità della distribuzione dei pesi, causata da una maggiore pressione verso l'alto nel centro nave rispetto alle estremità, e da una forte pendenza dello scafo a prua e poppa, dove la galleggiabilità è minima. Inoltre, il sartiame aveva i punti di ancoraggio migliori per sopportare la forza dei venti trasversali a centro nave, mentre le forze di taglio agenti lungo lo scafo erano assorbite in modo insufficiente dal fasciame in quercia che rivestiva l'ossatura trasversale. Seppings suggerì quindi di introdurre un sistema di rinforzi disposti in diagonale a formare una serie di triangoli perché, a suo parere, una figura rettangolare o quadrata può facilmente deformarsi in un parallelogramma, mentre ciò non può avvenire con un telaio formato da elementi triangolari, molto rigido come quello da lui proposto. Il sistema a ossatura a telaio diagonale consentiva, inoltre, di realizzare navi di lunghezza maggiore, proprio per le sue caratteristiche di resistenza, e fu quindi rapidamente adottato su entrambe le sponde dell'Atlantico (Lardas, 2003).

Già a Plymouth, nel 1800, Seppings aveva sperimentato questa sua idea innovativa sulla HMS *Glenmore*, una fregata da 36 cannoni, durante una serie di lavori di manutenzione. L'ottimo risultato conseguito fece sì che questo sistema costruttivo fosse installato con successo la prima volta su una nave di linea da 74 cannoni, la HMS *Kent* nel 1805 e nel 1810 nella HMS *Tremendous*, nave di linea di 3a classe da 74 cannoni (Stephen, 1897). La HMS *Howe*, nave di linea di 1a classe da 120 cannoni varata il 28 marzo 1815, fu invece la prima nave costruita interamente adottando il sistema di rinforzo diagonale proposto da Seppings.

Nonostante ciò, questa tecnica costruttiva incontrò una forte opposizione da parte dei vecchi maestri d'ascia, contrari a innovazioni al di fuori della loro pratica costruttiva, giudicando peraltro questo sistema tecnologico-strutturale "senza senso o scienza". Seguì una sorta di disputa con Thomas Young (1773-1829), registrata in articoli pubblicati nelle *Philosophical Transactions* della Royal Society, nei quali lo scienziato inglese tentò un approccio analitico teorico ai problemi di resistenza delle navi, dell'hogging e della resistenza trasversale. Sebbene Young alla fine convenisse che il sistema di Seppings era quello al momento più idoneo, Seppings e i suoi sostenitori sentirono comunque il dovere di giustificare le scelte adottate e confutarono anche le accuse di plagio, che tendevano a distogliere l'attenzione dei costruttori e degli studiosi dai meriti delle sue innovazioni, e anche dai tentativi di Young di fornire una base teorica per la progettazione navale a discapito della pratica di cantiere allora gelosamente tramandata. Seppings nel 1813 riconobbe, tuttavia, il suo debito d'onore con Yorke, divenuto nel frattempo Primo Lord dell'Ammiragliato. È interessante ricordare che Seppings affermò di aver tratto ispirazione per il suo sistema di irrigidimenti diagonali dall'osservazione del ponte in legno di Sciaffusa. Il ponte di Sciaffusa presenta, infatti, una serie di elementi diagonali che hanno sicuramente ispirato la tecnologia costruttiva introdotta da Seppings.

John Barrow (1764-1848), Secondo Segretario dell'Ammiragliato, prese invece in considerazione con grande favore Seppings, ne descrisse i meriti in un articolo pubblicato sulla *Quarterly Review*[10] e, inoltre, indusse Yorke ad adottare questo metodo in tutti i cantieri governativi. Seppings fu invitato a illustrare il suo metodo alla Royal Society il 10 marzo 1814, e il suo testo fu pubblicato nel 1818 nelle *Philosophical Transactions* della Royal Society di Londra (Seppings, 1818a), mostrando il disegno di una sezione longitudinale che indicava in dettaglio il suo sistema costruttivo. In quell'occasione Seppings dimostrò, attraverso un semplice esempio fatto con un telaio rettangolare, che il suo sistema di irrigidimento della carena, che utilizzava una coppia di aste diagonali di legno, associato anche all'impiego di squadre in ferro diagonali poste su entrambi i lati della nave, con i rinforzi incrociati tra le travi ai lati della carena, rendeva la nave dotata di qualità essenziali di "strength, safety, and durability", resistenza, sicurezza e durata, (Smedley, 1845: 389). Un secondo documento, letto alla Royal Society il 27 novembre 1817 (Seppings, 1818b), dimostrò il successo del suo sistema costruttivo utilizzato sulle navi HMS *Nelson,* HMS *Howe*, HMS *St Vincent*, quest'ultima nave di linea di 1a classe da 120 cannoni, e sulla HMS *Justitia*, una vecchia nave danese di linea di 3a classe da 74 cannoni, catturata durante la Battaglia di Copenaghen nel 1807 (Seppings, 1818b: 2). Tuttavia, il suo sistema fu anche oggetto di numerose critiche, soprattutto da parte di esperti "matematici" (Knowles, 1822: 12), ma Seppings, seppure privo di una formazione matematica, riuscì a dimostrare la fondatezza del suo metodo attraverso semplici prove sperimentali; il suo metodo costruttivo fu successivamente sviluppato e brevettato nel 1816 da John Walters (1782-1821)[11].

Il lavoro di Seppings fu accompagnato da una serie tentativi di misurare la deformazione della nave; durante i lavori in corso nel 1817 sulla HMS *Justitia* che stava per spezzarsi, il rinforzo temporaneo posto nella direzione opposta, quella compressa, rispetto a quella normalmente adottata, produsse un'inflessione ridotta, e confermò a Seppings che il suo sistema, in Figura 2, era quello più adatto a risolvere il problema. Queste osservazioni, nel campo dell'architettura navale, furono tra le prime fatte su strutture di così grandi dimensioni e riflettono l'approccio pratico di Seppings alla progettazione ingegneristica. Nel linguaggio moderno si può dire che egli sviluppò una membrana rinforzata in grado di resistere molto bene alle forze di taglio, sebbene a quel tempo gran parte della discussione teorica fosse invece focalizzata sul comportamento resistente a flessione delle travi.

Nella sua continua ricerca di migliorie da apportare alla costruzione dei vascelli, soprattutto quelli da guerra, Seppings modificò il disegno della poppa, introducendo una forma ad arco, in modo che la struttura del castello di poppa, dove peraltro erano tra l'altro disposti l'alloggio del comandante e il quadrato degli ufficiali, diventasse più robusta, offrendo così una migliore protezione contro il fuoco nemico rispetto alle forme tradizionali piane, e fosse anche in grado di poter imbarcare un

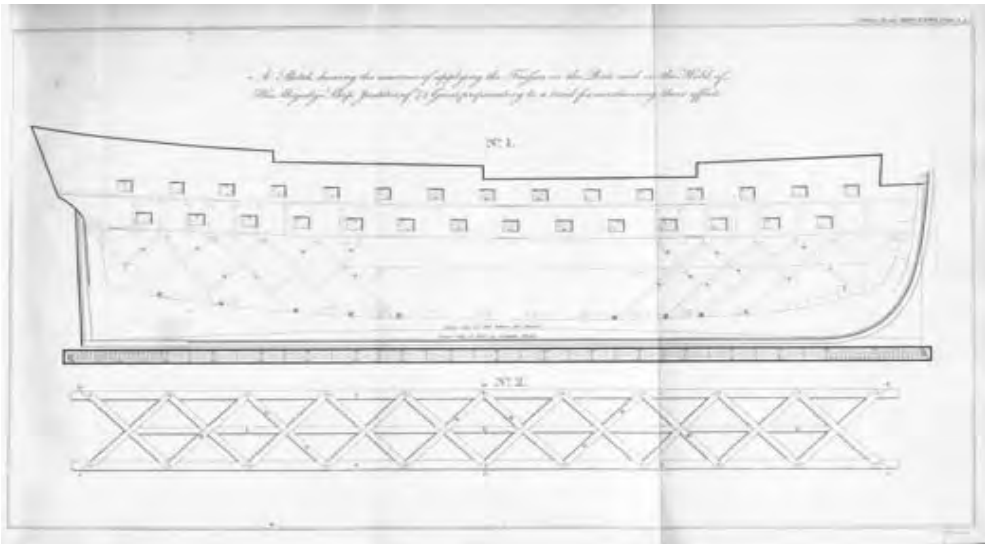


Fig. 2 – Schema del sistema di rinforzi diagonali impiegato sulla HMS Justitia. Il titolo del disegno cita: «A Sketch shewing the manner of applying the Trusses in the Ports and in the Hold of His Majesty's Ship Justitia of 74 Guns; preparatory to a trial for ascertaining their effects» (da Seppings, 1818b).

potente armamento di difesa. Questa idea gli fu suggerita dalla perdita di vite umane riscontrate sulla HMS *Victory*, nave di linea di 1a classe da 100 cannoni, durante la battaglia di Trafalgar, che fu bersaglio di numerosi colpi di cannone ricevuti a poppa e si dimostrò poco robusta.

Probabilmente nel 1819 Seppings partecipò ai lavori di ricostruzione della HMS *Worcester*, una nave di linea da 80 cannoni, introducendo per la prima volta una prua arrotondata per una grande nave, sebbene altri rivendicassero la priorità di questa idea.

Un'altra importante miglioria introdotta da Seppings nella costruzione navale fu l'inserimento di ginocchia di ferro, invece che di legno, a collegamento dei bagli di sostegno dell'impalcato dei ponti con i ginocchi e le coste. Nel disegno in Figura 3, che rappresenta la sezione mediana della fregata HMS *Euryalus*, costruita nel 1803 e demolita nel 1860, si vedono chiaramente le ginocchia di ferro introdotte nella costruzione navale da Robert Seppings[12]. L'uso delle ginocchia di ferro riduceva anche la necessità di utilizzare i cosiddetti legni coltivati, fatti crescere con forme prestabilite e modellate sull'albero vivente, i *crooked trusses* (travature storte), al fine di dotare l'elemento strutturale richiesto di caratteristiche di resistenza maggiori rispetto a quelle dell'analogo elemento lavorato e piegato in cantiere; va detto peraltro che i legni coltivati erano diventati col tempo sempre più scarsi (Seppings, 1818b: 6).

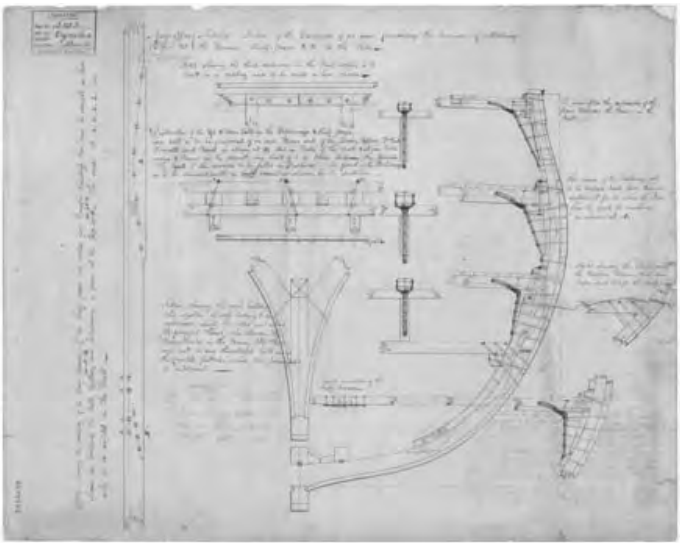


Fig. 3 – Sezione mediana della fregata HMS Euryalus (National Maritime Museum, Greenwich, London).

La continua ricerca portata avanti da Seppings sul tema delle migliorie alla forma della carena e dello scafo complessivo e delle sue strutture di legno, irrobustite da numerosi elementi di ferro, fece sì che i cantieri inglesi riuscirono a costruire navi più potenti, che offrivano una protezione migliore agli equipaggi contro il fuoco nemico, consentivano l'installazione di un armamento più potente e permettevano di allungare l'attività in servizio anche in caso di cattivo tempo, poiché la nave così progettata era maggiormente in grado di resistere alle sollecitazioni prodotte dalle condizioni meteo-marine avverse riducendo, di conseguenza, l'usura dello scafo e le conseguenti perdite e il danno causate dalle acque salate, situazioni particolarmente insidiose e pericolose per una nave in cui legno e ferro erano in contatto. Seppings era solito dire che «partial strength produces general weakness», una resistenza parziale produce una debolezza generale (Seppings, 1814: 287; Walters, 1815: 623). Certamente il costruttore navale inglese era ben conscio dei problemi di stress cui era sottoposto lo scafo di una nave. Le costruzioni navali di legno erano prive di un'adeguata resistenza al taglio e ciò rendeva più deboli le giunzioni tra gli elementi costruttivi; soprattutto ne risentivano i comenti e il calafataggio del fasciame, creando non indifferenti problemi di permeabilità con l'invecchiamento della nave. Questo era un problema complesso soprattutto in un'epoca in cui la maggior parte delle operazioni di pompaggio dell'acqua fuori coperta era fatta a mano; per questo, e più in generale per ovviare ai problemi di resistenza e durata (Gordon, 1999: 257),

con il passare degli anni divenne sempre più antieconomico tenere in servizio navi in legno e, dopo la metà del XIX secolo, le Marine mercantili dei maggiori Paesi a vocazione marittima sostituirono gli scafi di legno con scafi formati da compositi e costruzioni in ferro e acciaio.

Conclusioni

Con le sue innovazioni Seppings rese le navi più idonee alla navigazione e meglio adatte alla difesa durante il combattimento navale. I suoi metodi di costruzione navale furono presto adottati nella realizzazione di numerose navi, sia per la Royal Navy sia per la Marina mercantile.

L'attenzione mostrata da Seppings a tutte le fasi della costruzione navale è ulteriormente testimoniata dalla sua viva preoccupazione per la durata del cantiere, che incideva sensibilmente sulla resistenza e la longevità della nave. Durante la costruzione le navi rimanevano scoperte negli scali anche per lunghi periodi. Per questo motivo, alla fine del diciottesimo secolo alcune marine continentali si organizzarono per costruire navi in bacini di carenaggio coperti, anche se non specificatamente per affrontare il problema legato al fatto che nella cattiva stagione la nave rimanesse in balia delle condizioni meteorologiche avverse e dunque risentisse dei problemi legati alla variazione di umidità nel legno, peraltro uno dei problemi maggiormente sentiti dai tecnici dell'Ammiragliato britannico. Samuel Bentham (1757-1831), ispettore generale dei cantieri navali, vide questi scali e bacini coperti all'estero e sostenne la loro causa già nel 1812 presso l'Ammiragliato della Royal Navy, ma l'adozione di scali coperti fu invece opera di Seppings, che l'iniziò dopo il licenziamento di Bentham e la sua nomina a *Surveyor of the Navy* nel 1813, anche se sembra che già nel 1812 fosse stato costruito un ricovero in uno scalo. Nel 1814, probabilmente inizialmente a Plymouth, Seppings sviluppò un progetto di copertura a falde, adatto per ampie campate, che fu approvato da John Rennie (1761-1821), rinomato costruttore di ponti e ingegnere di fiducia di John Foster (1740-1828), allora cancelliere irlandese dello Scacchiere. La sua forma era qualcosa di ibrido, un arco rinforzato con un telaio e degli sbalzi: uno schema strutturale chiaramente sviluppato sull'esperienza di Seppings nella costruzione di navi da guerra e che probabilmente evolse, nelle forme che ancora oggi possiamo osservare negli edifici rimasti, in un breve lasso di tempo. All'inizio del 1820 quasi tutti gli scali dei cantieri navali furono coperti, e la maggior parte con tetti "alla Seppings". Le coperture realizzate sono di particolare interesse per le dimensioni delle loro campate, 29 m a Plymouth e 30 m a Chatham: si tratta di dimensioni raramente superate prima di allora per strutture di copertura di grandi dimensioni. Molte di queste coperture sono sopravvissute nei cantieri di Chatham a dimostrazione della solidità del sistema, se adeguatamente conservato e manutenuto (Sutherland, 1988).

I contributi di Seppings alla marina furono ampiamente riconosciuti all'epoca, e nel 1819 il Finance Committee of the House of Commons osservò che *Il comitato*

delle finanze, nel dare la propria opinione sui miglioramenti apportati all'architettura navale da questo signore, aveva affermato che "questi servizi, sebbene non abbiano nulla di quella brillantezza che attira forzatamente l'ammirazione pubblica, continueranno a conferire un beneficio duraturo alla Gran Bretagna"[13]. Nel 1827 la Royal Navy, su suggerimento di Seppings, approvò la ricostruzione della poppa ellittica della vecchia nave da guerra HMS *Ganges*, utilizzando il legno di teak che si era dimostrato particolarmente resistente all'umidità. Questa innovazione fu però rivendicata da Richard F.S. Blake (Skempton, 2002; Ekins, 1824; Blake, 1833), *Master Shipwright* nei cantieri navali di Portsmouth dal 1835 al 1844, perché già utilizzata a Bombay nella costruzione della nave *Imaum* nel 1826 (Winfield, 2014: 92).

Nel 1891, in occasione della Naval Exhibition di Chelsea, la sala in cui furono esposti i modelli che illustravano il progresso dell'architettura navale, fu intitolata a Seppings, a testimonianza del genio costruttivo di Robert Seppings (Clerc Smith, 1828: 289-290).

Bibliografia

Barrow J. 1814. Reports and papers on the impolicy of employing Indian-built Ships in the trade of the East-India company, and of admitting them to British registry and of admiting them to British registry. In: *The Quarterly Review*, XIX, October 1814, 1-30. London: J. Murray.

Beloe M.E. 1897. Seppings, Rober. In: *Dictionary of National Biography, by Sidney Lee*. LI, 249-251. London: Smith, Elder & Co.

Blake R.F.S. 1833. An Apology for English ship-builders showing that it is not necessary the country should look to the navy for naval architects. London: E. Wilson. In: Blake, R.F.S. 1833. *Description of various plans for the improvement of Naval Architecture*. 225-232. London: J.W. Norie & Co.

Brewster and Jameson 1823. Observations on the arguments adduced in support of Circular Sterns. 1823. In: The Edinburgh Philosophical Journal, IX(18), 353-358. Edinburgh: A. Constable & Co.

Brown D.K. 1979. The structural improvements to wooden ships instigated by Robert Seppings, The Naval Architect, 3, 103-104.

Burridge J., Seppings R. 1824. *The Naval Dry Rot.* London: Ridgway.

Clerc Smith T. 1828. Origin and progress of Shipbuilding. In: The Naval and Military Magazine, IV. No. VIII, 281-290. London: Saunders and Otley.

Colburn H. 1836. A list of ships composing His Majesty's Navy, specifying the Dates when, and the Places where, they were respectively built, together with other interesting Particulars, taken from actual Observations and Notes. The United Service Journal and Naval and Military Magazine. 20, Part I, 422-423. London: Henry Colburn.

Colledge J.J. 1964. *British Sailing Warships*. London: Ian Allan.

Ekins C. 1824. *A Reply to the letter of Sir Robert Seppings, Knt. F.R.S. Surveyor of H.M. Navy, on the Round bows and circular Sterns*. London: Baldwin, Cradock, and Joy.

Farr G. 1971. *Bristol shipbuilding in the nineteenth century*. Bristol: Bristol branch of the Historical Association The University.

Gardiner R. 2000. *Frigates of the Napoleonic Wars*. London: Chatham Publishing.

Gordon J.E. 1999. *The new science of strong materials*. London: Penguin Books.
Harvey G. 1822. Observations on Sir Robert Sepping's Plan for the Circular Sterns of Ships of War. In: Walsh R. 1822. *The Museum of Foreign Literature and Science*, 111-116. Philadelphia and Trenton: E. Littell; New York: R. Norris Henry.
Harvey G. 1824. On the Circular Sterns of Ships of War. In: The Edinburgh Journal of Science, 239-248. Edinburgh: W. Blackwood.
Knowles J. 1822. An Appendix, containing the principles and practice of constructing ships, as invented and introduced by Sir Robert Seppings. In: *The elements and practice of naval architecture,* 1-62. London: Printed for W. Simpkin and R. Marshall.
Lambert A.D. 2006a. Robert Seppings and the British Technical response to the lessons of Trafalgar, 18. In: Fernández-González F., Ferreiro L.D., & Nowacki H. (eds.). *Technology of the ships of Trafalgar, Proceedings of an International Congress Held at the Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid, and the Diputación Provincial, Cádiz, 3-5 November 2005*. Madrid: ETS de Ingenieros Navales de Madrid.
Lambert A.D. 2006b. Science and sea power: the Navy Board, the Royal Society and the structural reforms of Sir Robert Seppings. In: Transactions of the Naval Dockyards Society, 1, 9-19. Portsmouth: Ray Riley Naval Dockyards Society.
Lardas M. 2003. *American Heavy Frigates 1794–1826*. Botley: Osprey.
Lemmers A. 2013. Shipworm, Hogbacks and Duck's Arses: The influence of William May on Sir Robert Seppings. In: The Mariner's Mirror, 99(4), 410-428.
Mudie M., Wynford D. 2015. *HMS Trincomalee 1817, Frigate*. Barnsley: Seaforth Publishing.
Packard J.J. 1978. Sir Robert Seppings and the Timber Problem. In: The Mariner's Mirror, 64(2), 145-156.
Seppings R. 1804. *A Statement of the Case between Captain Robert Keen, of the Royal Navy, and Mr. Robert Seppings, Master Ship-wright, of his Majesty's Yard at Chatham, respecting an Invention for obviating the Necessity of lifting Ships in the King's Docks*. Chatham: Townson; London: Egerton.
Seppings R. 1805. *A Statement of the Case between Captain Robert Keen, of the Royal Navy, and Mr. Robert Seppings, Master Ship-wright.* Chatham: Townson; London: Egerton. Il testo di Seppings è citato in: The Anti-Jacobin Review and Magazine*,* XX, 427. London: J. Hales.
Seppings R. 1805. Method of suspending Ships instead of lifting them. In: The Repertory of Arts, Manufactures, and Agriculture. VI-Second Series, 426-434. London: J. Wyatt.
Seppings R. 1814. On a new principle of constructing His Majesty's ships of war. Philosophical Transaction, 104, 285-302.
Seppings R. 1815. *A further explanation of the new principle of constructing His Majesty's Ships of war*. Manuscript. Royal Society, AP/8A/16.
Seppings R. 1818a. *On a new principle of constructing ships the mercantile navy. From the Philosophical Transactions*. London: W. Bulmer & W. Nicol.
Seppings R. 1818b. On the great strength given to Ships of War by the application of Diagonal Braces. Philosophical Transactions, 108, 1-8. London: Bulmer & Co.
Seppings R. 1819. *Observations on the new system of diagonal framing, introduced into the Royal Navy by R Seppings*. Manuscript. Royal Society, AP/9/23.
Seppings R. 1820. On a new principle of constructing ships the mercantile navy. Philosophical Transaction, 110, 133-143.

Skempton A.W., Chrimes M.M., Cox R.C., Cross-Rudkin P.S.M., Rennison R.W., Ruddock E.C. 2002. *A Biographical Dictionary of Civil Engineers in Great Britain and Ireland*. 1, 600-602. London: Thomas Telford.

Smedley E., Rose H.J., Rose H.J. 1845a. *Encyclopædia Metropolitana; or, Universal Dictionary of Knowledge*. Vol. VI, 329-424. London: B. Fellowes *et alii*.

Smedley E., Rose H.J., Rose H.J. 1845b. *Encyclopædia Metropolitana; or, Universal Dictionary of Knowledge,* Vol. XVIII, 194. London: B. Fellowes *et alii*.

Stammers M.K. 2001. Iron knees in wooden vessels-an attempt at a typology. The International Journal of Nautical Archaeology, 30(1), 115-121.

Steel D. 1822. *The Elements and Practice of Naval Architecture or a treatise on ship-building, theoretical and practical, onthe best principles established in Great Britain, with copious tables of dimensions, scantlings, &c.* London: W. Simpkin & R. Marshall.

Stephen L. 1897. *Dictionary of National Biography*. 51, 249-251. London: Smith, Elder, & Company.

Sutherland R.J.M. 1988. Shipbuilding and the long span roof. Transaction of the Newcomen Society, 60(1), 107-126.

Taylerson R. 1859. Taylerson's Diagonal Principle of Iron Ship Building. Journal of the Royal United Service Institution, 3(10), 227-238.

Walker F.M. 2010. *Ships and Shipbuilders: Pioneers of Design and Construction*. Barnsley: Seaforth Publishing.

Walters J. 1815. Improvements in Naval Architecture. In: The Antijacobin Review. For January, 1815. XLVIII. London: C. Cradock.

Winfield R. 2008. *British Warships In The Age Of Sail 1793-1817: Design, Construction, Careers and Fates*. Barnsley: Seaforth Publishing.

Winfield, Rif. 2014. *British Warships in the Age of Sail 1817-1863: Design, Construction, Careers and Fates.* Barnsley: Seaforth Publishing.

Note

1. Tucker è ricordato per aver progettato, nel 1809, un vascello da 170 cannoni disposti su cinque ponti complessivi, compreso il ponte di coperta, al quale sarebbe stato attribuito il nome *Duke of Kent*; il vascello non fu mai costruito.
2. Alle pagine 211-12 del testo *The British critic* (Volume XXVI. London: F.C. and J. Rivington, 1805) la paternità di questa invenzione è assegnata senza dubbio alcuno a Seppings.
3. Sir John Henslow è stato *Surveyor to the Navy*, incarico che ha ricoperto congiuntamente o esclusivamente dal 1784 al 1806; fu membro del Consiglio dell'Ammiragliato dal 1848 al 1859. Il *Surveyor of the Navy*, appartenente al *Department of the Surveyor of the Navy*, e originariamente noto come *Surveyor and Rigger of the Navy*, era un ex commissario di bordo e membro di entrambi i Navy Board già a partire dall'inaugurazione di quel corpo nel 1546 e fino alla sua abolizione nel 1832. Nel 1860 il *Department of the Surveyor of the Navy* fu ribattezzato *Controller of the Navy* fino al 1869, quando fu inglobato nel *Third Naval Lord's*, il cui titolare aveva la responsabilità generale del progetto delle navi da guerra britanniche.
4. Negli anni che vanno dal 1805 al 1813, presso i cantieri di Chatham, Seppings costruì le navi di linea da 74 cannoni HMS *Revenge*, HMS *Warspite* e HMS *Tremendous*; la HMS *Impregnable* da 98 cannoni, e le fregate HMS *Thames* da 32 cannoni, HMS *Orlando* da

36 cannoni, HMS *Tenedos* da 38 cannoni; due brigantini-sloop, il HMS *Merope* da 14 cannoni e il HMS *Bacchus* da 16 cannoni, oltre a un brigantino-corvetta, il HMS *Muros*, da 14 cannoni (Colburn, 1836; Winfield, 2008).

5. Dopo la sua promozione ad *Appointed Surveyor of the Navy* Seppings costruì ancora una fregata da 38 cannoni, la HMS *Lively*, una nave di linea da 80 cannoni appartenente alla classe *Canopus*, una nave di linea da 120 cannoni, la HMS *Howe*, e una fregata da 46 cannoni, la HMS *Leda* (Colledge, 1964). Quindi, divenuto *Appointed Knight Bachelor* si dedicò al progetto di sloop da 18 cannoni (classi *Satellite* e *Scout*) e fregate da 28 cannoni (classi *Conway* e *Andromache*). Dopo il suo ritiro dall'attività pubblica, nel 1832, progettò ancora una corvetta della classe HMS *Daphne* da 18 cannoni.
6. Le imbarcazioni steam packet *Lord Beresford* e steamship *Bristol* furono costruite nei cantieri navali William Scott Shipbuilders a Bristol nel 1824 su disegno di Seppings (Farr, 1971: 12).
7. Nel necrologio apparso a pag. 7 del quotidiano *The Taunton Courier, and Western Advertiser*, giornale pubblicato a Taunton, nel Somerset, il 29 aprile 1840 e conservato nel The British Newspaper Archive, si legge: «It is with sincere regret we have to announce the death of [...] Sir Robert Seppings, F.R.S., M.R.I., &c., for so many years Surveyor of the British Navy. [...] He died in this town, on Saturday, the 25th instant, aged 72 years.»
8. Sulla priorità dell'invenzione di Seppings è aperto un dibattito. Sembra che il sistema a rinforzi diagonali attribuito a Seppings fosse già stato sperimentato sulla fregata americana USS *Constitution*, impostata nel 1795 nel cantiere navale di Edmund Hartt (c. 1699-1776) nel North End di Boston su progetto di Joshua Humphreys (1751–1838) ed entrata in servizio nel 1798, dunque parecchi anni prima. Il progetto di Humphreys fu insolito per l'epoca, poiché prevedeva una lunga chiglia, con un baglio stretto e un pescaggio generoso, che permetteva di imbarcare cannoni molto pesanti. Per questo Humphreys aveva pensato di irrobustire la chiglia con un sistema di correnti diagonali, alla Seppings, con l'intento di migliorare la resistenza dello scafo, anche se questo comportava un appesantimento delle strutture (Gardiner, 2000: 56; Mudie, 2015: 16). Un esame del piano di costruzione della USS *Constitution*, disegnato nel 1996 e rivisto nel 2011, mostra delle enormi ginocchia di quercia bianca, ombreggiate di nero sul ponte di ormeggio, installate a prua e a poppa a livello del ponte in corrispondenza della linea di galleggiamento, e un sistema di travi a ginocchio a rinforzo dei bagli, oltre a un numero limitato di costole diagonali a rinforzo della chiglia, secondo il progetto di Humphreys. Questo sistema strutturale di irrigidimento, a mio avviso, non anticipa l'idea costruttiva di Seppings che invece vedrà l'impiego di un sistema diffuso di elementi di irrigidimento diagonali incrociati, distribuiti lungo tutta l'estensione dell'opera viva. Il progetto di Humphreys del 1794 è illustrato nel documento "*Sheer, Half Breadth and Body Plan*", conservato al Naval History & Heritage Command Detachment di Boston: disegno n. 14925, che raffigura la sezione longitudinale delle tre fregate da 44 cannoni, USS *United States*, USS *Constitution*, and USS *President*.
9. La soluzione proposta da Seppings fu in seguito commentata positivamente dalla stampa. Nel *Dundee, Perth, and Cupar Advertiser* del 16 ottobre 1835 si può infatti leggere: «...the planks in some parts are placed not exactly transverse with the timbers, but in a slanting or oblique position. It is found materially to add to the strength of vessels, and to prevent them becoming hugged or bent, as well as to keep their various parts firmly together when at sea.»

10. «Mr. Seppings, the ingenious builder of Chatham-yard, might be said to have established a new era in naval architecture» (Barrow, 1814: 25-26).
11. La notizia del brevetto di Walter, Walters' internal diagonal bracing, fu pubblicata a pag. 529 del giornale *The Monthly Magazine* (Vol. XLI. No. 285, July, 1 1816. London: Richard Phillips) e alle pagine 336-341 del *The Repertory of Arts, Manufactures and* Agriculture (Vol. XXVIII – Second Series. London: J. Wyatt, 1816).
12. Un vasto repertorio di disegni costruttivi dove si vedono le ginocchia di ferro introdotte da Seppings à conservato presso il National Maritime Museum di Greenwich a Londra.
13. Commons Sitting of 11 June 1819, Series 1 Vol. 40, c. 1117; cfr. anche l'Appendice al testo di Steel (Steel, 1822), compilata da John Knowles (1781-1841).

Salvatore D'Agostino

Appunti per l'arte del costruire: postille ai quattro libri dell'Architettura di Andrea Palladio

Abstract
Reading anew the *Four Books of Architecture* by Andrea Palldio, specifically looking for his contribution to the art of building, has highlighted a large number of rules and best practices, which have enabled the building od Architecture for many centuries. It has also more clearly emerged how much the groundbreaking Palladio was complying with the structural building techniques of ancient Rome.

Premessa
È ben nota la fondamentale importanza che i quattro libri di Andrea Palladio (1508-1580) hanno avuto per il Rinascimento non solo italiano.

In uno alla grandezza immortale delle sue numerose opere, da San Giorgio a Venezia a La Rotonda, con la sua concezione della progettazione architettonica Palladio ha influenzato la storia dell'architettura non solo in Italia: si ricorda a questo proposito, come esempio, l'opera di Inigo Jones in Inghilterra.

L'influenza diretta di Palladio perdura fino all'avvento del Barocco, anche se, pur nella diversità del nuovo stile la sua opera, ben nota a Lorenzo Bernini, ha sempre segnato la cultura dell'Architettura. Con l'architettura neoclassica il suo nuovo predominio non ha avuto confini, come nell'opera di Campbell (1676-1729), che illustra le architetture ispirate alla cultura italiana e in particolare al "Great Palladio". Thomas Jefferson (1743-1826), architetto e Presidente degli Stati Uniti, riscontra in Palladio i principi fondativi della rivoluzione americana: semplicità, integrità, razionalità, nobiltà, democrazia, uguaglianza "*Vero e proprio "archimaitre".... Palladio riapparirà a lampi da Ledoux a Courbusier*" (Biraghi, 2018).

La concezione "modulare" dell'architettura, nel suo articolarsi nel progetto, ritrova una "composizione musicale", da lui ripresa e illuminata di nuova luce. Questa concezione è già presente in Vitruvio, ma ancor prima, configurandosi nel suo complesso come una costruzione pitagorica, presiede alla costruzione della grande architettura greca e magnogreca (Mertens, 2016; 2018).

Andrea Palladio, prima di addentrarsi nella sua complessa quanto coerente concezione della progettazione architettonica, così diffusamente illustrata nei "Quattro Libri", da architetto-costruttore si sofferma sui canoni principali dell'arte del co-

struire, ad incipit del primo libro e ancora nel terzo libro, esemplificando le regole dell'arte e del buon edificare.

Il problema delle regole dell'arte è un problema centrale per la comprensione della concezione costruttiva antica. Esse hanno presieduto per millenni alla complessa pratica dell'edificare e hanno rappresentato di fatto l'Arte del Costruire dall'antichità più remota a tutto il XIX secolo, per poi lasciare il passo alla nuova Scienza delle Costruzione fondata sulla meccanica razionale (D'Agostino, 2002).

Purtroppo la profonda dicotomia tra la concezione costruttiva antica e quella moderna, caratterizzata dalla diversa natura della costruzione e della struttura, la prima organismo completo eseguito secondo le regole dell'arte, la seconda progettata attraverso modelli matematici e realizzata autonomamente, come organismo a se stante all'interno della costruzione, ha indotto una profonda ignoranza delle regole dell'arte da parte dei moderni strutturisti chiamati a intervenire nel "restauro costruttivo" del patrimonio costruito storico.

Essi sono intervenuti secondo una visione totalmente estranea al costruire antico, cercando di "reinterpretare" la costruzione secondo il nuovo modello di carattere scientifico.

In assenza di una cultura di storia materiale dell'antica architettura, e nell'ignoranza dell'arte del costruire, si è diffuso il cosiddetto "consolidamento", una pratica tecnica che non ha nulla né di storico né di scientifico. Il consolidamento si è di fatto configurato come una cementificazione diffusa del patrimonio storico mediante, protesi, iniezioni, cuciture, solai in latero-cemento, cordoli e pareti armate. Ignorando che il monumento è un documento dell'archivio storico dell'umanità ne hanno irreversibilmente contraffatto la natura materiale, arrecando così un gravissimo danno alla conoscenza storica e a quella scientifica.

Solo negli ultimi decenni la cultura storica più avvertita si è resa conto dello stravolgimento avvenuto e ha cominciato a denunciare la cementificazione diffusa. Parallelamente, gli studiosi più avvertiti di Scienza delle costruzioni da Benvenuto (Benvenuto, 1981) a Di Pasquale (Di Pasquale, 1998), da Corsanego a chi scrive (Corsanego e D'Agostino, 1992; D'Agostino, 2017), hanno riportato il restauro costruttivo nell'alveo naturale della concezione antica, rivalutando le regole dell'arte, eliminando ogni cementificazione e riproponendo le tecniche tradizionali che per millenni, nonostante guerre e terremoti, hanno consentito la plurisecolare conservazione del patrimonio monumentale e archeologico.

È nata quindi l'esigenza di una approfondita ricerca delle regole dell'arte dell'antico costruire, regole che peraltro ovviamente mutavano in funzione dei materiali e della cultura locale.

È in tale filone di ricerca che è apparsa utile una rilettura dei quattro libri di Andrea Palladio, al fine di individuare il contributo del grande architetto alla conoscenza delle regole dell'arte.

Istruzioni generali

"*Quali cose devono considerarsi e prepararsi avanti che al fabbricare si pervenga*": Palladio indica l'utile o comodità, la perpetuità e la bellezza. L'utile o comodità è puntualmente suggerito in tutta l'opera con l'indicazione della distribuzione planimetrica e altimetrica degli spazi, la cui ratio è ben diversa da quella dell'architettura moderna, con ambienti che si susseguivano in continuità, privilegiando il primo piano, detto appunto piano nobile, e relegando servizi e servitù ai piani alti. La perpetuità indica che si costruisce con la certezza di una durabilità pressoché infinita, che può essere inficiata solo da eventi eccezionali, quali incendi, guerre e terremoti. La bellezza è garantita dalla concezione modulare, e pertanto "pitagorica", e dalla simmetria. Questi principi presiedono alla concezione architettonica per almeno due millenni. Essi, perseguiti fino alla modernità, si pensi al prestigioso esempio di Ville Sayoie, hanno inoltre una intrinseca valenza antisismica in quanto la simmetria riduce, se non elimina, gli effetti torsionali indotti dal sisma. Si ricordi che sono gli stessi anni nei quali Pirro Ligorio progetta la prima casa antisismica, ovviamente doppiamente simmetrica. Questo principio sarà messo in discussione solamente da una nuova visione dell'architettura, non più simmetrica, tra la fine del secolo scorso e il secolo corrente, anche aiutata dalla potenza dell'ingegneria strutturale nella sua elaborazione digitale.

Infine, il progetto deve essere definito in tutte le sue parti e dimensioni, con la determinazione dei materiali da impiegare e della loro quantità. Era indispensabile prevedere accuratamente il costo dell'opera che, unitamente al progetto, doveva essere approvato da una committenza severa ed oculata.

Si enunciano quindi principi generali del buon edificare sottolineando la soldezza delle fondazioni, la precisione dell'appiombo dei muri, e la rastremazione di questi ultimi in altezza. Così per le colonne, sottolineando la simmetria dei piani e dei vuoti nella realizzazione di porte e finestre "*onde il pieno venga sopra il pieno e il vuoto sopra il vuoto*". Vengono inoltre indicate le dimensioni delle pietre degli stipiti di porte e finestre. In conclusione si enunciano anche, come si vedrà meglio nel seguito, puntuali regole dell'arte che vengono dipanate nel discorso evidenziando sia la loro perfetta conoscenza sia la loro naturale diffusione nel mondo dell'edificare.

I materiali

Per il legname, sull'abbrivio di Vitruvio, le prescrizioni di Palladio sono molteplici a cominciare dal taglio degli alberi, che deve avvenire in autunno e in assenza di luna; vanno tagliati fino al midollo e poi lasciati seccare. Si conserveranno al coperto e saranno unti di sterco di bue e stagionati per almeno tre anni.

Per le pietre vengono date regole per il cavamento e la stagionatura a seconda della loro natura, distinguendo tra marmi e pietre dure, che possono essere subito impiegate, e pietre tenere che vanno cavate in estate, tenute allo scoperto e messe in opera non prima di due anni di stagionatura.

Questi suggerimenti indicano una conoscenza empirica della petrografia e sottolineano l'impegno dei grandi architetti verso la scelta dei materiali. Un caso esemplare è il tufo campano, che può essere anche molto tenero. Di solito il tecnico moderno si limita ad indicare "muratura di tufo", ma i tufi sono tanti (si fa presto a dire tufo) e ovviamente particolare attenzione veniva esercitata nel caso di monumenti ai quali doveva essere assicurata "perpetuità". Si pensi ad esempio al tufo della vanvitelliana Reggia di Caserta.

Analoghi accorgimenti vengono suggeriti per i mattoni. La terra deve essere "cretosa" e si caverà in autunno, si macererà nell'inverno e si faranno i mattoni in primavera. Essi vanno seccati per due anni e se grandi vanno opportunamente forati affinché "*meglio si secchino e cuociano*".

Palladio distingue la sabbia in tre qualità: di cava, di fiume e di mare. Se la prima è la migliore, la peggiore è la terza. Ed ecco una semplice quanto importante regola dell'arte che dura ancora ai giorni nostri:

> *"Sarà ogni sabbia nella sua specie ottima se con mani premuta e maneggiata striderà, e che posta sopra candida veste non la macchierà, né vi lascerà terra. Cattiva sarà quella che nell'acqua mescolata la farà torbida e fangosa, e che lungo tempo sarà stata all'aria, al sole, alla brina perciocché avrà assai terreno e di marcio umore atto a produrre arboscelli e fichi, che sono di grandissimo danno alle fabbriche".*

Ovviamente, sull'esempio di Vitruvio, Palladio indica come ottima la pozzolana.

Per la calce, le pietre si cavano dai monti o si prendono dai fiumi, *"sarà migliore quella durissima, soda e bianca e che cotta, rimarrà un terzo più leggera della sua pietra. Sono anche certe pietre spugnose, la calce delle quali sarà molto buona all'intonicatura dei muri"*.

Si distingue così tra la calce "strutturale" e quella per intonaci. Le pietre di regola cuociono in sessanta ore, poi devono essere bagnate lentamente finché siano ben stemperate. La calce deve macerare e quanto più sarà macerata tanto più sarà tenace e migliore. La malta si realizza mescolando tre parti di sabbia (arena di cava) con una di calce; nel caso di sabbia di fiume o di mare due parti di arena e una di calce. Queste ultime regole dell'arte sono seguite per secoli e operative fino alla attualità.

Con riferimento ai metalli tratta del ferro, del piombo e del rame, Palladio ne descrive la lavorazione e gli usi correnti negli edifici. Rilevante è l'uso di grappe tra le pietre spesso di rame

> *"che si tengono per tenere unite e congiunte due pietre a paro, e di questi chiodi e grappe ci serviamo acciocché tutto l'edificio, il quale di necessità non si può fare se non di molti pezzi di pietra, essendo quelli in tal modo congiunti*

e legati insieme, venga ad esser come di un pezzo solo e così molto più forte e durabile".

E l'insieme, così come già fatto dai romani e fino a tutto il XIX secolo, può resistere a sforzi di trazione. Palladio infine sottolinea che alcune coperture possono essere rivestite di bronzo o di rame.

Terreni e fondazioni

Il paragrafo dedicato a terreni e fondazioni si configura come un piccolo testo di geotecnica sperimentale. Preliminarmente, Palladio sottolinea l'importanza della fondazione. Innanzitutto cita i terreni nei quali si può direttamente fondare: sono il sasso, la tofa e lo scaranto, che è una concrezione calcarea. Poi riporta che lo scavo deve essere approfondito fino a quando non si riterrà il terreno sufficientemente solido e comunque non meno della sesta parte dell'altezza del muro della fabbrica, se non si hanno cantine. A questo punto è bene tener presente che le costruzioni di Palladio, a meno delle chiese, difficilmente superano i dodici metri di altezza, il che significa avere al disotto del più basso piano di calpestio un muro di fondazione di circa due metri. Questa regola, in buona sostanza, si ritroverà fino a tutto il XIX secolo. Per valutare la sodezza del terreno bisogna indagare sugli edifici limitrofi, sull'eventuale esistenza di pozzi e cisterne e ancora sul tipo di vegetazione che vi cresce. Questa capacità di valutare la sodezza del terreno, dalla vegetazione è di fatto andata perduta. Ma non basta, è fondamentale la seguente prova: "*sarà segno di sodo terreno se esso, per qualche grave peso gettato in terra non risuonerà o non tremerà, il che si potrà riconoscere dalle carte dei tamburi messi per terra, se a quelle percosse, leggermente muovendosi, non risuoneranno, e dall'acqua posta in un vaso, se non si muoverà*". Questa raffinata pratica è stata poi semplificata fino al XIX secolo, senza acqua e tamburi, ma lanciando un largo masso dalla superficie piatta dalla sommità dello scavo e osservandone il movimento: se il terreno è sodo rimbalzerà. Ma se il luogo sarà arenoso e ghiaioso si continuerà a cavare fino al terreno sodo, altrimenti, così come nei fiumi, si ricorrerà a palificate di legno fino a giungere a un terreno sodo. Inoltre non si fabbricherà su rovine esistenti se non ci si sarà accertati della loro solidezza e consistenza. Se però il terreno si presenta sempre molle allora si faranno le palificate. I pali si faranno lunghi l'ottava parte dell'altezza del muro e grandi la dodicesima parte. Per un edificio alto dodici metri si avranno pali di diametro un metro e lunghi un metro e mezzo. I pali si porranno in modo che tra essi non se ne possano fissare altri. Questa ultima regola indica che i pali erano molto ravvicinati e di fatto resistevano essenzialmente di punta, una concezione diversa da quella moderna, secondo la quale i pali di calcestruzzo armato vanno distanziati tra loro da un minimo di tre a cinque volte il diametro e il contributo alla resistenza per attrito laterale diventa fondamentale. Se si fonda su pali, giustamente la palificata va estesa a tutto l'edificio.

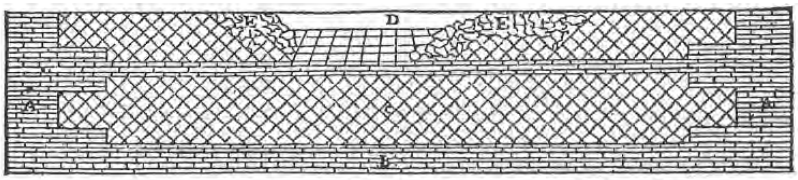
Delle fondamenta

Ad incipit Palladio enuncia la regola fondamentale "*Le fondamenta devono avere spessore doppio del muro in elevazione e ancor più sui terreni paludosi*". Questa regola assicura che la muratura in fondazione abbia almeno circa un metro di spessore per edifici di altezza contenuta. Via via che l'altezza dell'edificio aumenta questa regola viene ridimensionata, come, ad esempio, nell'edilizia in muratura del XIX secolo che per altezze di circa 20 metri prevede murature a piano terra di 0,8 ÷ 0,9 metri e muri di fondazione dell'ordine di 1,20 metri. Questi dati possono ovviamente presentare modeste variazioni a seconda dei diversi cantieri e della "monumentalità" dell'edificio. Il piano di sedime deve essere unico affinché il carico si distribuisca uniformemente su di essa. Si sconsigliano fondazioni a gradoni che richiedono particolari accorgimenti per terreni in forte declivio. Viene anche indicato l'accorgimento, in terreni paludosi, di realizzare le fondamenta "con alcuni volti". Si presume quindi che siano ipotizzate fondazioni "ad arco rovescio". Viene anche indicato che "gli antichi" talvolta lastricavano l'area di sedime con travertino, al fine di consolidarla.

Delle maniere dei muri

Palladio indica sei tipi di muratura: reticolata, terra cotta o quadrello, da noi oggi indicata come muratura di mattoni, di conglomerato, di pietre rozze di montagna o di fiume, di pietre incerte, di sasso quadrato e infine la "riempiuta". L'opera reticolata, in Figura 1, caratterizzata dal taglio conico dei tufelli, appartiene essenzialmente al mondo antico ed è poco usata dai moderni. I cantonali del muro sono di mattoni e anche di mattoni sono tre corsi, i due esterni di chiave e il centrale di testa, che si alternano alla muratura reticolata ogni due piedi e mezzo, circa 90 cm. All'interno dei tufelli veniva gettato il "caementum" romano costituito da un impasto di pezzi di pietra, solitamente tufo, e malta.

La muratura di mattoni è costituita da due paramenti esterni in mattoni con all'interno un "sacco" di cemento, contenente spesso scarti di laterizio. Anche in questo



A *cantonate fatte di quadrello*
B *corsi di quadrello che legano tutto il muro*
C *opera reticolata*
D *corsi dei quadrelli per la grossezza del muro*
E *parte di mezo del muro fatta de cementi*

Fig. 1 – Muratura in opera reticolata (da Biraghi, 2018).

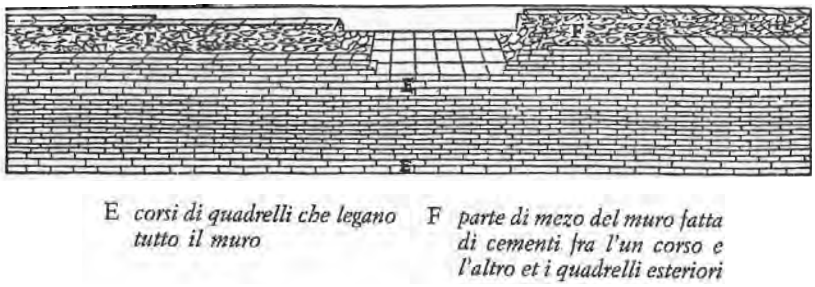


Fig. 2 – Muratura di conglomerato con paramenti di rivestimento (da Biraghi, 2018).

caso ogni circa tre piedi, circa un metro, si dispongono tre corsi di mattoni, alternando i corsi, i due esterni di chiave e il centrale di testa.

I muri di conglomerato sono gettati in casseformi e hanno i cantonali in mattoni di pietra squadrata. Ancora oggi, generalmente nel conglomerato si usano pezzi di tufo nel mezzogiorno d'Italia e ciottoli di fiume al nord. In entrambi i casi è buona regola interrompere il getto ogni due piedi, circa 70 cm, con tre strati di mattoni disposti come già più volte descritto e riportato in Figura 2.

Nei muri di pietre incerte le pietre sono tagliate in modo che si connettano bene insieme realizzando così paramenti a faccia a vista con il disegno del contorno delle stesse pietre. I cantonali sono sempre di pietra viva o di mattoni.

I muri di sasso quadrato sono realizzati con pietre squadrate disposte a strati alterni di testa e di punta. I paramenti sono più pregiati quanto più le pietre sono perfettamente tagliate, riducendo al massimo lo strato di malta.

I muri "riempiuti" o a sacco sono in tutto simili ai muri di conglomerato. Sono previsti alcuni accorgimenti perché il muro sia eseguito a regola d'arte: innanzi tutto la listatura del muro e i cantonali rinforzati, talvolta interpretati come provvedimenti antisismici (Cairoli, 2011), e i fori lasciati nella muratura, che garantiscono una adeguata ventilazione e che non andrebbero mai occlusi come spesso è stato fatto in alcuni moderni e incauti presunti interventi di "miglioramento".

Infine si suggeriscono scale a chiocciola per l'ispezione e la manutenzione degli edifici, cosa che peraltro si riscontra in molti monumenti insigni.

Per le facciate di pietra "a faccia a vista", in Figura 3, le pietre devono essere lavorate con grande precisione dapprima dalla parte interna della facciata, mentre quelle delle zone di facciata vanno lavorate e ben levigate in opera.

Con riferimento agli spessori della muratura in elevazione, non si distingue tra i vari tipi di muratura, ma è prescritto che quello del primo ordine sia la metà di quello del muro di fondazione e che quelli superiori diminuiscano di mezzo quadrello a ogni piano. È preferibile che i muri dei baricentri in elevazione si corrispondano, e

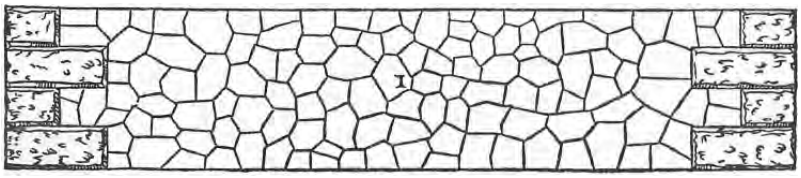


Fig. 3 – Muratura di pietre con cantonali di pietra viva "a faccia vista" (da Biraghi, 2018).

ciò è immediato per i muri interni. Per le facciate si consiglia che siano allineate le pareti all'interno, lasciando esterna la risega. Le riseghe vanno coperte da cornici che costituiscono sia un ornamento che un "legame" di tutta la fabbrica. Pertanto ogni risega è lunga mezzo mattone e quindi circa dieci centimetri, che con il mattone attuale sarebbero tredici. La preziosa indicazione di lasciare la risega all'interno, realizzando cornici "*a mo' di catena*" è andata perduta quando le facciate non sono più state decorate da cornici. Mentre quindi non la si ritrova nell'edilizia del XIX secolo, sembra suggerire la leggera inclinazione all'interno delle pareti veneziane[1].

Inoltre i cantonali devono essere fortissimi e "*con lunghe e dure pietre come braccia tenuti*"; per l'apertura di porte e finestre bisogna allontanarsi da essi e lasciare almeno un tratto di muro largo quanto l'apertura.

Infine viene segnalata la funzione irrigidente degli orizzontamenti che assicurano un comportamento "scatolare" a tutta la fabbrica.

Della gonfiezza e dimensione delle colonne, degli intercolumni e dei pilastri

Le colonne devono diminuire di diametro con l'altezza: per l'entasis Palladio consiglia di lasciare a piombo un terzo di altezza e di realizzare una diminuzione lineare del diametro per gli altri due terzi. La dimensione del diametro superiore è funzione dell'altezza delle colonne e Palladio la indica con precisione, in funzione del variare dell'altezza della colonna espressa in numero di diametri. Infatti, sulla scorta di Vitruvio e cosciente della variabilità delle unità di misura da regione a regione, Palladio utilizza sempre il diametro della colonna come modulo per l'intera fabbrica. Nelle logge in cui sostituiscono le colonne, i pilastri devono avere un diametro uguale ad almeno un terzo dello spazio tra pilastro e pilastro e quelli d'angolo devono essere spessi i due terzi di detto spazio. Talvolta, come nel teatro di Verona, i pilastri sono spessi quanto la larghezza del vano; dovrebbero essere quadrati ma spesso si privilegia la forma rettangolare per non ingombrare il passaggio nella loggia.

Palladio illustra poi l'opera dei maestri muratori che scolpivano le pietre prima per le sole parti interne e si assicuravano che combaciassero bene per ridurre al minimo il giunto di malta; in opera veniva rifinita la parte esterna dei conci. Infine, fa un lungo esame dei piedistalli di colonne presenti in molti monumenti romani e in particolare negli archi onorari.

Delle logge, delle entrate, delle scale, delle stanze e della loro forma
Palladio indica la posizione della loggia nella casa e la sua funzione, dando il canone di dieci piedi per venti. Al piano terra ci sono le entrate e disopra le sale che sono quanto più spaziose è possibile, perché servono ad ogni tipo di ricevimento: teatrale, commerciale e feste. Palladio suggerisce che la loro forma si avvicini il più possibile al quadrato. Per le stanze richiede una distribuzione simmetrica rispetto all'entrata e alla sala "*acciocché …… i muri sentano il carico del coperto ugualmente*", sottolineando che le dissimmetrie plano volumetriche possono, nel tempo, causare dissesti. Fornisce poi una serie di indicazioni per le dimensioni delle stanze.

Dei pavimenti e dei soffitti
Palladio dà preziose indicazioni sui diversi tipi di pavimento. Nelle stanze, disposte una di seguito all'altra, si mette lo stesso pavimento, alla veneziana o di pietre cotte, mentre la pietra viva, come il marmo, troppo freddo per le stanze, è usato nelle sale.

Nei soffitti si dispongono travi belle e ben lavorate, distanti tra loro una grossezza e mezza di trave, così "*riescono belle all'occhio e vi resta tanto di muro tra le teste delle travi che è atto sostenere quello di sopra"*. Se le travi sono più distanti, il solaio è brutto, se più vicine interrompono eccessivamente la continuità della muratura di appoggio".

Sono indicazione preziosissime, ma alquanto incomplete. Forse Palladio dà per scontata la ovvia presenza di un tavolato che funge da cassaforma per il pavimento, così come quella del massetto di allettamento della pavimentazione. È evidente che il solaio cui si riferisce è "a faccia vista" con belle travi di legno ben squadrate. L'interasse tra le travi è tra trenta e quaranta centimetri. Manca una regola dell'arte per il dimensionamento delle travi, forse perché di conoscenza assai comune.

Quando il solaio è controsoffittato e dipinto l'interasse tra le travi aumenta fino a 60÷80 centimetri e compare una orditura secondaria solitamente costituita da panconcelli, ossia rami tagliati a metà.

Dell'altezza delle stanze
Le stanze possono essere coperte a volta e a solaio. Se con solaio, l'altezza dal pavimento alla travatura è uguale alla larghezza della stanza, mentre quelle superiori sono alte per la sesta parte meno di quelle inferiori. Se coperte da volte, come si fa di solito al primo piano perché sono più belle e meno esposte agli incendi, l'altezza della volta nelle stanze quadrate sarà la terza parte della larghezza della stanza più la larghezza stessa, ad esempio una stanza larga tre metri sarà alta quattro metri. Nelle stanze rettangolari l'altezza sarà la metà del semiperimetro, cioè una stanza tre per quattro sarà alta tre e cinquanta. È evidente che, stante l'esigenza di avere lo stesso livello di solaio a ogni piano, ciò condiziona anche la misura delle stanze e la loro regolarità. Vengono infine illustrati altri due modi per determinare l'altezza dei piani affinché le stanze siano armoniose.

Delle maniere dei volti
È un paragrafo molto sintetico. Vi sono indicati i vari tipi di volte e si prescrive che la freccia della volta sia uguale a un terzo della larghezza della stanza. Queste regole, fissato l'interpiano, rendono abbastanza rigida la definizione delle larghezze delle stanze. Nulla viene detto con riferimento agli spessori delle volte in chiave e alle spalle, come del resto già notato per i solai. Anche qui la regola dell'arte doveva esistere ed essere di dominio comune.

Delle scale e delle coperture
La collocazione delle scale nell'edificio è fondamentale affinché ci sia una armonia con la distribuzione planimetrica. Palladio individua alcune proprietà che le rendano "*lodevoli……se lucide, ampie, comode da salire…..*" e ciò dipende anche dalla loro illuminazione, quindi dalla dislocazione delle finestre che devono essere larghe quattro piedi, circa un metro e venti. I gradini devono essere non più di undici per rampa e in numero dispari, bassi e non più alti di sei once di piede, circa venti centimetri, e larghi non meno di un piede e non più di un piede e mezzo, cioè non meno di trenta e non più di quarantacinque centimetri.

Le scale, che devono essere diritte o a chiocciola, vengono ampiamente descritte, sia quelle che hanno un muro o una colonna centrale, sia quelle aperte.

Palladio non dà indicazione sullo spessore dei gradini, se a sbalzo, o dell'eventuale volta di sostegno. Indica invece alcune scale particolarmente prestigiose come quella del Belvedere di Bramante senza gradini.

Con riferimento alle coperture l'Autore si riferisce principalmente a quelle a tetto e privilegia la presenza di un muro di colmo che limita la copertura a un solaio inclinato, la cui pendenza dipende dalla regione in cui è ubicato l'edificio. Ulteriori dettagli riguardano il manto di copertura e le gronde.

Note sul terzo libro
Il terzo libro è dedicato alle vie, ai ponti, alle piazze, alle basiliche ed alle palestre.

Già nel proemio ci sono due affermazioni di grande valore. La prima riguarda l'affidabilità della costruzione antica così come sancito dalla moderna teoria della conservazione (D'Agostino, 2017). Afferma infatti Palladio

> *"essere molto manifesto quanto il modo che tenevano gli antichi nel fabbricare fosse buono, quando che, dopo tanto spazio di tempo e dopo tante ruine e mutazione di imperi, ne siano rimasti in Italia e fuori i vestigi di tanto loro superbi edifici per li quali noi veniamo in certe cognizione delle virtù e della grandezza romana che altrimenti forse non sarebbe creduta". Ed ancora: "Così nell'ordinar le vie posero grandissime cure che fossero fatte in modo che anco in quelle si conoscesse la grandezza e la magnificenza dell'animo*

loro, onde per farle che fossero comode e brevi, forarono i monti, seccarono le paludi e congiunsero con ponti, e così resero facili e piane quelle che erano o dalle valli o dai torrenti abbassate".

Non si potrebbe evidenziare meglio la grandezza e la durabilità del costruito storico.

Delle vie

Palladio descrive le qualità fondamentali che deve avere una strada, distinguendo tra strade di città e strade esterne, stabilendo la larghezza minima di otto piedi, circa 2,5 metri, che però diventa sedici nelle curve. Emblematica la ristrutturazione dell'Appia antica in condizioni precarie per il passare del tempo, voluta da Traiano il quale "*asciugò i luoghi paludosi abbassò i monti, pareggiò le valli e facendo, dove bisognava, ponti, ridusse l'andar per essa molto facile e spedita*". Sottolinea poi Palladio che le strade di campagna devono avere gli argini per migliorarne sicurezza e viabilità, mentre quelle cittadine, definite ai lati dai palazzi che l'arricchiscono, oltre agli alberi devono avere marciapiedi laterali. Inoltre, le dimensioni delle strade cittadine devono essere condizionate dal clima; strade strette nelle regioni calde, ampie in quelle fredde, orientate tenendo conto dei venti. Talvolta possono realizzarsi portici sopraelevati e pavimentati.

La pavimentazione è realizzata con lastre di pietra al disopra di un sottofondo di sabbia e ghiaia, e trasversalmente profilate "a schiena d'asino".

In Figura 4 si riporta il disegno di Palladio di una strada con la campata centrale per i pedoni e le corsie laterali per i cavalli.

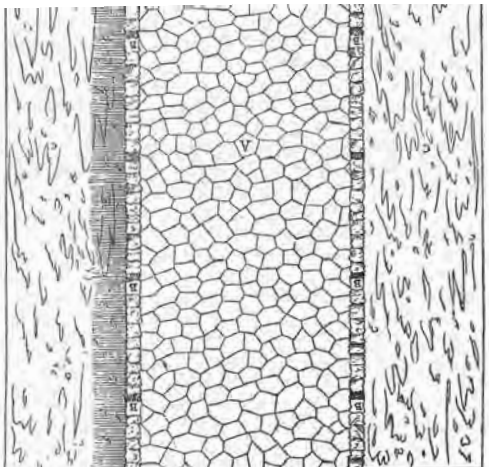


Fig. 4 – Pianta di strada con corsia laterale per i cavalli (da Biraghi, 2018).

I ponti

Palladio puntualizza tutte le precauzioni da tenersi nella scelta e natura del sito e nella configurazione del tracciato dei ponti. Si farà il ponte dove il fiume è poco profondo, l'alveo rettilineo e il fondo possibilmente di roccia o di tufo.

Ponti in legno

Inizialmente Palladio parla di ponti romani in legno, indicando alcuni accorgimenti e rilevando la robustezza delle travi; e sottolinea che pur dando delle misure, i particolari costruttivi sono numerosi e ogni costruttore deve cercare di approfondire le proprie conoscenze. Passa poi a illustrare alcune tipologie di ponti a partire da quelli romani.

Del ponte ordinato da Cesare sopra il Rheno

Riporta il passo di Cesare che ha avuto diverse interpretazioni. Palladio ne suggerisce una molto chiara e ingegnosa che segue le indicazioni di Cesare: le travi hanno altezza di due piedi, circa settanta centimetri. Il disegno e la leggenda in Figura 5 descrivono chiaramente l'opera.

Del ponte del Cimone

Palladio ricorda che strutturalmente questo ponte si presenta come una trave armata e di fatto è una travatura reticolare di luce circa trentacinque metri con travi di circa 35 cm · 25 cm, a meno dell'orditura secondaria della pavimentazione. La descrizione della costruzione delle travature è molto puntuale e ricca di dettagli.

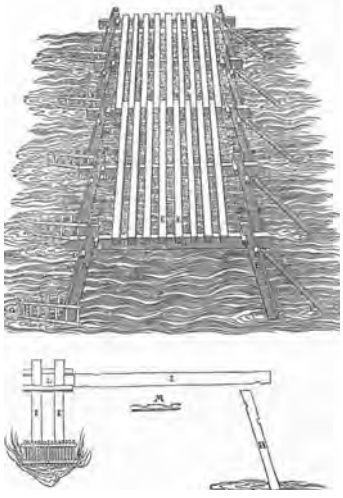


Fig. 5 – Vista del ponte sul Reno (da Biraghi, 2018).

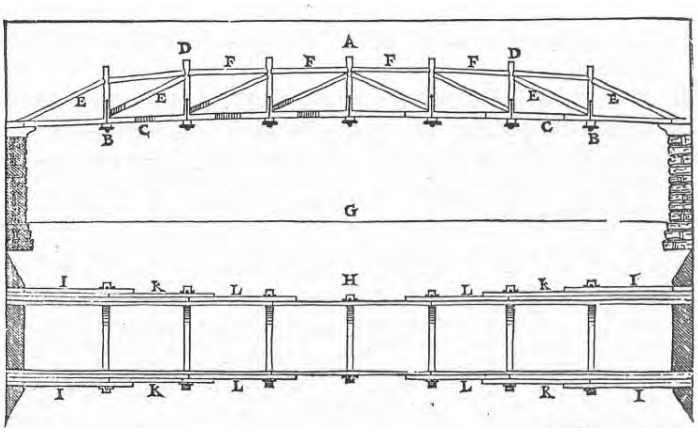


Fig. 6 – Ponte in legno realizzato "a sbalzo" (da Biraghi, 2018).

Di tre altre invenzioni secondo le quali si possono fare i ponti di legno senza porre altrimenti pali nel fiume

Palladio descrive tre tipi diversi di travature reticolari: quella riportata in Figura 6 è la più raffinata e per la quale si desume anche il varo a sbalzo.

Per l'altezza delle travi si indica la undicesima parte della luce del ponte. Egli conclude con le seguenti affermazioni: "*I ponti di queste quattro maniere si potranno far lunghi quanto richiederà il bisogno, facendo maggiore tutte le parti loro in proporzione*". Questa affermazione è stata criticata perché interpretata in maniera astratta pensando alla realizzazione di ponti di grande luce. In effetti qui si evidenziano "la cultura e la sensibilità" del costruttore che sa bene, come del resto avviene in ogni campo, che ciascuna regola dell'arte ha in sé evidenti limiti di applicazione. Ad esempio, con le regole costruttive di Palladio, così come di tutta l'architettura fino al XIX secolo non si può costruire l'Empire State Building. Un semplice calcolo può evidenziare che i ponti in legno a sbalzo, nel disegno Palladiano, non sono superiori a circa venticinque metri di luce, circostanza di grandissima rilevanza nell'attraversamento di fossati e burroni.

Del ponte di Bassano

Il ponte, ben descritto, è costituito da cinque campate di circa nove metri ciascuna. Palladio non fornisce le dimensioni delle travi limitandosi a riportare che le pile sono realizzate con una serie di pali disposti longitudinalmente. Il ponte, in Figura 7, è coperto ed è oggi monumento nazionale. Ha subito numerosi rifacimenti e ricostruzioni.

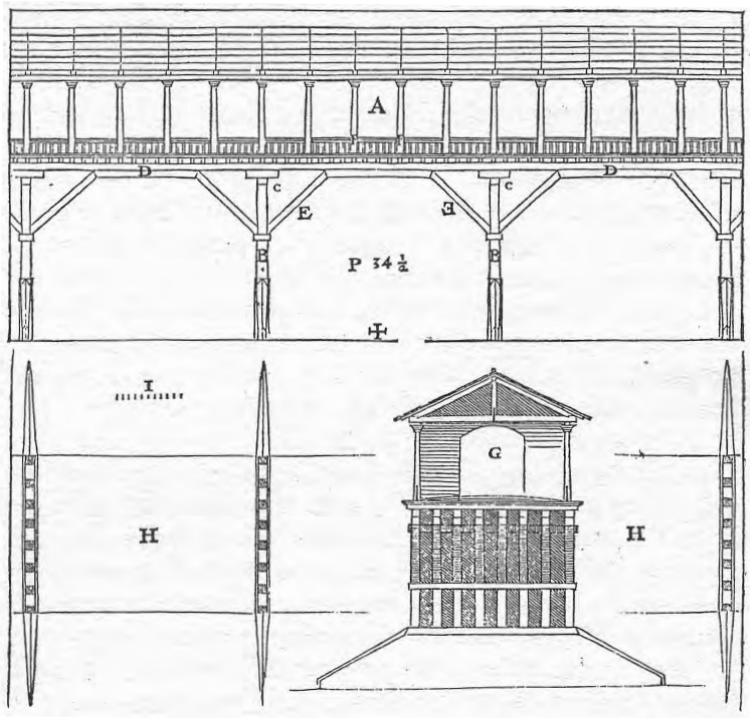


Fig. 7 – Il ponte di Bassano (da Biraghi, 2018).

Ponti di pietra e di quello che nell'edificarli bisogna osservare

Palladio descrive di questi ponti le spalle, le pile, gli archi e la pavimentazione. Le spalle vanno fatte "*fortissime per tener chiuso* " il ponte. I pilastri devono essere in numero pari, affinché non capiti un pilastro al centro del fiume, e devono essere spessi non meno della sesta parte della luce dell'arco, né solitamente più di un quarto della luce. Vanno realizzati con grandi blocchi collegati da staffe. Le fronti verso il fiume devono essere sagomate, o ad angolo retto o tonde in modo da fendere i flutti. Le fondazioni dipendono dal terreno, dirette se roccioso o fortemente solido, con pali di legno con puntazza di ferro infissi fino a trovare terreno molto solido se molle. Il fiume va sbarrato di volta in volta per la realizzazione di ciascuna pila, in modo da non ostacolarne molto la corrente.

Seguono poi alcune indicazioni idrauliche. Gli archi devono essere realizzati con pietre grandi, ben connesse e molto forti; la loro freccia è circa un terzo della luce e il loro spessore può essere assunto pari a un dodicesimo della luce centrale e a un nono per quelle laterali. Le centine sono montate su basi di appoggio in pietra previste al colmo delle pile.

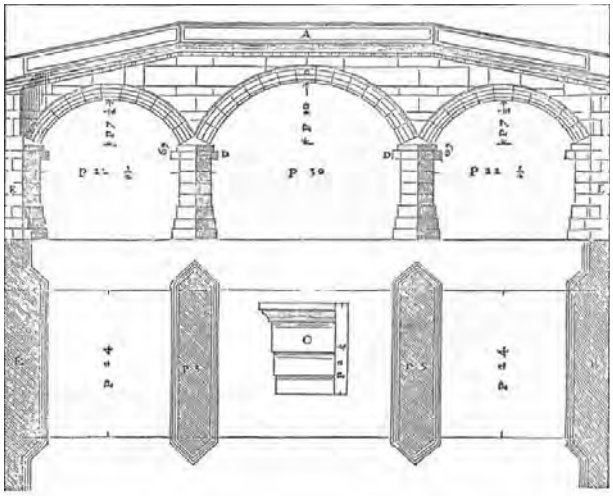


Fig. 8 – Ponte del Bacchiglione (da Biraghi, 2018).

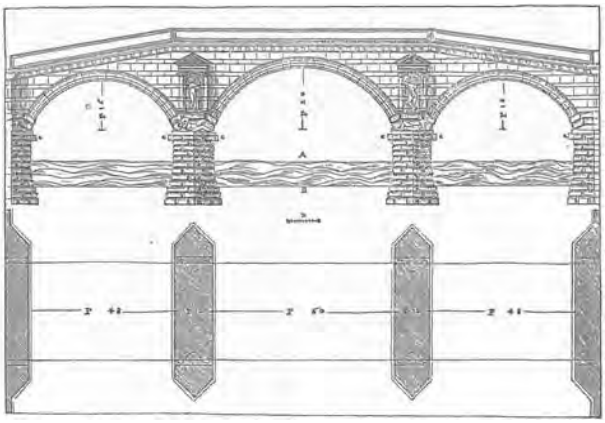


Fig. 9 – Ponte a tre campate di grandi luci (da Biraghi, 2018).

Segue la descrizione di numerosi ponti, ad esempio quello di Vicenza sul Bacchiglione, in Figura 8, che è un ponte a tre campate con luce centrale di circa dieci metri, laterali di circa otto metri e pile di circa quattro metri munite di rostri anteriori e posteriori.

Palladio riporta poi un altro ponte, sempre a tre campate con quella centrale di circa venti metri e quelle laterali di circa tredici, in Figura 9, e un ponte monumentale con logge e botteghe, in Figura 10.

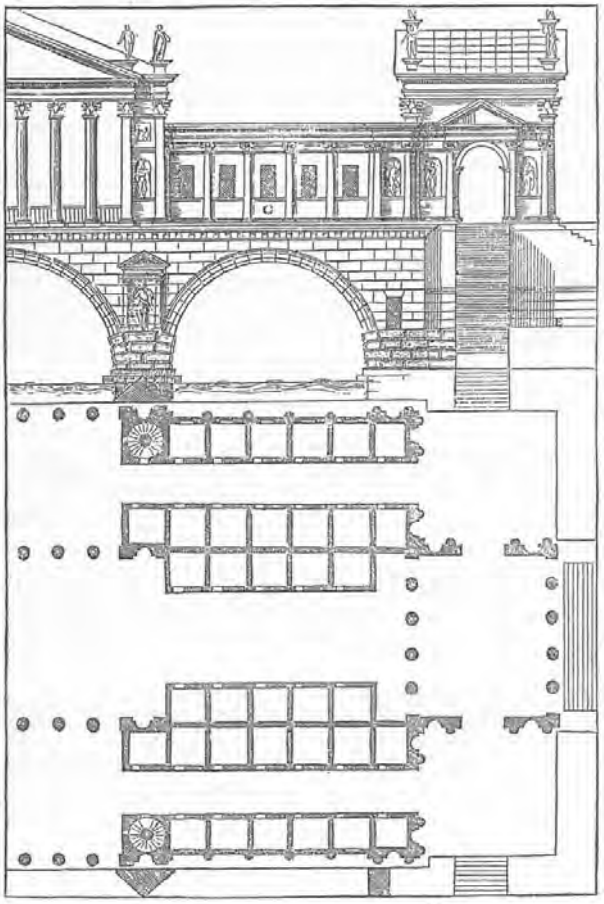


Fig. 10 – Ponte monumentale con logge e botteghe (da Biraghi, 2018).

È ben evidente, che la concezione palladiana dei ponti si rifà in tutto a quella romana. Questi ultimi di grande robustezza e durabilità, come dimostra la permanenza di numerosi di essi ancora in piena efficienza, da quello di accesso a Salamanca, recentemente pedonalizzato, a quello di Porto Torres in Sardegna che, senza alcun restauro, ha smaltito, per oltre venti anni, il pesante traffico al servizio dell'adiacente petrolchimico.

Questa concezione dei ponti durerà a lungo nei secoli ed è ancora presente nel secolo XIX in molti ponti ferroviari. Occorrerà l'avvento di nuovi materiali industriali, acciaio e calcestruzzo armato o precompresso per modificare drasticamente la teoria e la pratica della costruzione dei ponti.

Conclusione

I quattro libri dell'architettura, pur essendo universalmente e giustamente celebrati sia come un'opera fondamentale per la conoscenza dell'architettura antica, sia come un poderoso trattato di composizione architettonica, sono anche un non comune contributo fondamentale alla conoscenza dell'arte del costruire e delle regole dell'arte che hanno presieduto per tanti secoli alla edificazione del patrimonio costruito storico.

Attraverso lo studio del primo e terzo libro, all'attento lettore vengono fornite via via tutte le regole fondamentali che regolano l'antica arte del costruire, dalla scelta dei materiali a quella del sedime di fondazione, e così via via per le murature sia in fondazione che in elevazione. Non mancano preziose indicazioni su solai e volte fino alle coperture. Infine vengono illustrate le regole dell'arte che presiedono alla costruzione delle strade e dei ponti.

In definitiva, un manuale completo dell'edificare che arricchirebbe in modo esemplare la cultura di architetti e ingegneri moderni chiamati a interventi sul patrimonio costruito storico per assicurarne durabilità e sicurezza nel pieno rispetto della Teoria della Conservazione (D'Agostino, 2017).

Bibliografia

Benvenuto E. 1981. *La Scienza delle Costruzioni nel suo sviluppo storico*.Roma: Edizioni di Storia e Letteratura.

Biraghi M. (a cura di). 2018. *I quattro libri dell'Architettura di Andrea Palladio*. Roma: Edizione Studio Tesi.

Cairoli F.G. 2011. Provvedimenti antisismici nell'antichità. Journal of Ancient Topography, XXI, 25-52.

Corsanego A., D'Agostino S. 1992. Italian Guidelines for Intervention on acient architectonics complexes of great value in sesmic areas. European Journal of Earthquake Engineering, 3, 50-55.

D'Agostino S. 2002. Dalle regole dell'arte alla Scienza delle Costruzioni. Atti del Convegno "Scienziati Artisti", Napoli 5-6 giugno. Napoli: Giannini Editore.

D'Agostino S. (a cura di). 2017. *Ingegneria e Beni Culturali*. Bologna: Il Mulino.

Di Pasquale S. 1998. *L'arte del costruire tra conoscenza e scienza*. Venezia: Marsilio Editore.

Mertens D. 2016. Il tempio classico antico : concetti e progettazione. La ratio dei Greci nel costruire. Atti del VII Convegno di Storia dell'Ingegneria – 3rd International Conference (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 23-24 aprile, I, 3-46. Napoli: Cuzzolin.

Mertens D. 2018. Provocatorie novità dal Tempio di Nettuno a Paestum. Atti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia, XC, 175-220. Roma: Tipografia Vaticana.

Note

1. Comunicazione orale del prof. Francesco Doglioni.

Luca Guardigli, Davide Prati

L'evoluzione dei sistemi di copertura a grande luce in Italia dal XVII al XIX secolo

Abstract
The object of this paper is the development of long span roofs in Italy between XVII and XIX century, with the aim of highlighting the transition from structures whose design and implementation was based on direct experience and practice to simplified trusses whose configuration progressively derived from the theories of the new born Building Science. The article is based on the analysis of manuals, treatises and publications of the time. Some case also studies are mentioned, including the great trusses of the Farnese Theater in Parma. In the nineteenth century the use of new methods to design and verify large-scale roofing, introduced by the engineers of the Polytechnic Schools, is accompanied by the gradual implementation of metal elements. In Italy this process is less evident than in other European countries, distinguished by a pronounced industrial vocation.

Introduzione
In linea generale le coperture storiche italiane con struttura di legno si distinguono da quelle del Nord Europa per due caratteristiche principali: la ridotta inclinazione del tetto e l'uso di serie opportunamente disposte d'incavallature, ognuna delle quali costituita da un numero limitato di grandi elementi, in prevalenza di quercia e rovere, ma anche di larice e abete. La limitata inclinazione del tetto deriva dalla scarsità delle precipitazioni nevose rispetto alle regioni del Nord, così come ricordato da vari manualisti, tra cui anche Palladio; nel Sei-Settecento la quantità di neve caduta in inverno era maggiore di quella odierna, anche in seguito alla diminuzione delle temperature medie in quel periodo, la cosiddetta piccola era glaciale. Il minor numero di elementi strutturali comporta un ridotto numero di connessioni e una lavorazione semplificata del legname nei nodi rispetto agli esempi europei, con il risultato di avere strutture a minor grado di iperstaticità – secondo la visione strutturale odierna – e potenzialmente instabili rispetto alle azioni orizzontali, considerando il frequente appoggio semplice sulle murature.

In questo contributo si analizzano le coperture lignee (*armature*) a grande luce, ovvero quelle con ampiezza superiore, indicativamente, a 14÷15 metri. Le strutture di dimensioni maggiori assumono conformazioni più complesse e diventano spesso

casi unici, frutto più dell'ingegno dei loro costruttori che della ripetizione di schemi consolidati e tramandati nel tempo. Per luci inferiori, esse assumono invece forme tra loro abbastanza ripetute, ovviamente con variazioni, secondo lo schema della "capriata all'italiana". Vi è da ricordare che tale termine ha origine ottocentesca, per indicare le armature, non solo lignee, che seguono il principio del triangolo indeformabile e che erano prima indicate come cavalletti o incavallature. Le capriate semplici sono caratterizzate da catena, puntoni e monaco centrale; a questi elementi si possono aggiungere due saettoni per ridurre la flessione dei puntoni. Sopra i 10÷12 metri le capriate possono diventare di tipo composto e avere una controcatena e due o tre monaci, assumendo il nome di "palladiane". La terminologia è ancora oggi un po' confusa a riguardo.

Fino all'inizio del XIX secolo, la sicurezza di queste strutture, sia in termini di resistenza che di equilibrio, è affidata all'esperienza (Barbisan e Laner, 2000). La qualità degli intagli e delle ferramenta nelle connessioni assicura duttilità e un incremento di sicurezza rispetto ai movimenti relativi che possono instaurarsi nel tempo tra gli elementi a causa della deformazione viscosa del legno o a causa di cedimenti locali o azioni orizzontali; la stabilità è favorita da una corretta messa in opera, caricando gli elementi in modo appropriato attraverso una studiata sequenza di montaggio. Le incavallature sono concepite anche come presìdi nei confronti del ribaltamento delle murature perimetrali; il collegamento longitudinale tra i cavalletti è invece in genere debole o assente e affidato all'armatura secondaria della copertura. Una garanzia di sicurezza e durata è la continua manutenzione del tetto, da intendersi come sistema unitario costituito da manto, struttura ed eventuale controsoffitto. Uno tra i molti esempi di cattivo stato manutentivo, peraltro da sempre denunciato e testimoniato da vari documenti d'archivio depositati presso la Soprintendenza e da noi recentemente consultati, è la grande copertura del teatro Farnese di Parma. L'edificio, poco utilizzato dopo la sontuosa inaugurazione nel 1618 in occasione delle nozze del figlio del duca Ranuccio Farnese, è stato oggetto di continue infiltrazioni d'acqua e progressivo degrado per oltre due secoli, fino al crollo del controsoffitto, mai più ricostruito. Ancora oggi le infiltrazioni d'acqua e l'instabilità delle tavelle di laterizio appoggiate sulla piccola orditura lignea sono una costante minaccia per l'apertura al pubblico della sala.

Le coperture notevoli del XVII e XVIII secolo

Alla fine del XVI secolo le luci di molti edifici importanti si ampliano. Le grandi luci da coprire sono quelle delle chiese, delle grandi sale del potere politico, delle grandi strutture militari come le sale d'armi e i ricoveri delle imbarcazioni, e, dal Seicento in poi, dei teatri. In special modo le chiese della Controriforma hanno navate uniche, più ampie rispetto a quelle centrali delle chiese gotiche.

Agli inizi del Seicento i riferimenti manualistici principali sono in Italia i *Sette libri dell'architettura* di Sebastiano Serlio – prima edizione incompleta del 1537 – e *I Quattro libri dell'architettura* di Andrea Palladio (Palladio, 1570). Serlio disegna

una tavola di "armamenti di legnami" "*per servirsene a più cose*"; al fine di dimensionare gli armamenti e facendo esplicito riferimento alla realtà italiana, il testo così recita (libro VII, cap. LXXIII, stampato postumo a Francoforte nel 1575): "[…] *le IX figure che qua davanti si veggono, sono nel modo che si accostumano in Italia; delle quali (come ho detto) il mastro di legname se ne saprà accomodare secondo li luoghi: per la qual cosa non darò altre misure sopra ciò*" (Serlio, 1537).

Il dimensionamento delle strutture di copertura è lasciato dunque alla pratica costruttiva; il disegno riporta strutture di copertura piuttosto massicce e l'architetto, sulla base di uno schema generale concordato, delega al carpentiere le scelte in merito alla sezione definitiva dei legni e alle giunzioni. È l'architetto del cantiere, non necessariamente quello che concepisce l'architettura della fabbrica, che ordina i materiali, anche senza allegare al computo metrico un preciso disegno architettonico.

Fino agli inizi del XVIII secolo le strutture lignee dei grandi palazzi e delle grandi chiese italiane sono in Europa tra le più significative, se si esclude la costruzione dei ponti di legno dell'area tedesca. I manuali di carpenteria settecenteschi diffusi in Francia e Germania, luoghi in cui si fa grande uso di legno, non vengono tradotti in italiano e i modelli di strutture da essi derivati sono poco o per nulla utilizzati.

Numerosi sono i casi notevoli di coperture lignee a grande luce realizzati in Italia intorno agli inizi del XVII secolo, allora ben noti e oggi ancora studiati, in modo più o meno approfondito, ai fini della loro conservazione. Si possono individuare specifiche aree geografiche con la presenza di coperture notevoli, caratterizzate da variazioni del tipo "capriata all'italiana", in gran parte secondo lo schema di quella palladiana. L'area veneta è tra le più prolifiche in termini di produzione, con incavallature composte a due o tre monaci, nodi in generale "chiusi", nei quali monaco e catena si toccano, e diverse soluzioni per le saette. Risaltano le coperture della sala del Gran Consiglio nel Palazzo Ducale di Venezia, di circa quasi 25 m di luce, ricostruite dopo l'incendio del 1577 e restaurate a metà Ottocento, la copertura del teatro olimpico di Vicenza, per opera di Palladio, alcune chiese e le coperture delle *tese* all'Arsenale di Venezia (Menichelli, 2009), fino a 25 m di luce, e altre opere civili e militari. La struttura del tetto della chiesa di S. Lorenzo, costruita dopo il 1592 nel sestiere Castello a Venezia, nei pressi dell'Arsenale, impiega forse le capriate più ampie in Europa, 32 m. Un caso a sé stante è costituito dal salone del Palazzo della Ragione a Padova, costruito intorno al 1420 su ideazione di Giovanni degli Eremitani e coperto da un tetto a forma di carena di nave rovesciata, di luce pari a quasi 27 m.

L'Italia centrale è caratterizzata dalla costruzione a Roma (Valeriani, 2005) e a Bologna di alcune grandi chiese, le cui incavallature hanno nodi sia aperti che chiusi. Uno schema strutturale di grande rilevanza e fuori dai modelli veneti di capriata composta è quello concepito per la copertura della cattedrale di S. Pietro a Bologna, eretta intorno al 1610 (Lamborghini et al., 2015). La copertura, in Figura 1, è costituita da una serie di 18 incavallature di luce pari a 24 m, tra le più grandi in Europa

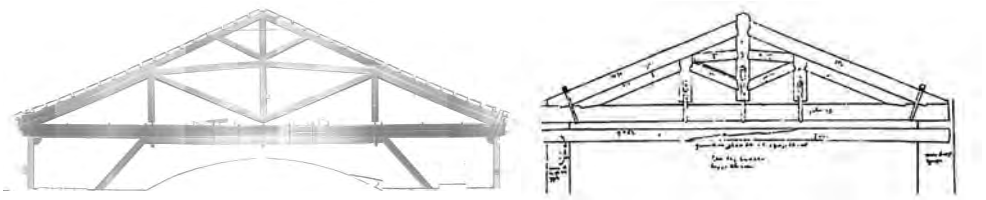


Fig. 1 – A sinistra, ortofoto da rilievo laser scanner della capriata della Cattedrale di San Pietro a Bologna, 1622 (rilievo degli Autori, 2015). A destra, Giuliano da Sangallo (1445-1516): combinazione di una "palladiana" e di una "incavallatura" a monaco e saette con nodi "aperti" (da Hülsen, 1984).

per una chiesa, caratterizzate da una struttura compressa ad arco, che funge da sottopuntone ed è collegata al monaco centrale in un punto intermedio; la conformazione è molto simile a quella raffigurata da Giuliano da Sangallo, architetto e ingegnere militare, alcuni decenni prima, mostrata in Figura 1. La presenza di un cavalletto sotto la catena e l'organizzazione dei sottopuntoni deriva dal procedimento di messa in opera e contribuisce a fornire robustezza alla struttura. A Firenze, città in cui opera Sangallo, è nota la copertura del Salone dei Cinquecento, eretta nel 1497 dal Cronaca e restaurata intorno al 1550 su progetto del Vasari per sostenere il nuovo cassettone. Ognuna delle "invenzioni" sopra citate è frutto di una sperimentazione fortemente ancorata alla tradizione costruttiva. La disposizione degli elementi e i tipi di connessione sono legati alla sequenza di montaggio.

Il XIX secolo

Il progresso tecnico a cavallo tra il XVIII e il XIX secolo porta a un impiego sempre più intensivo dell'acciaio, soprattutto nei paesi ad alta vocazione industriale. Quando in Italia si costruiscono ancora coperture di legno, in Inghilterra, in Francia e in Germania si concepiscono nuove strutture di metallo o miste per i ponti, i giardini d'inverno, le fiere, le stazioni, le industrie. Le coperture lignee a grande luce perdono dunque d'importanza a favore dei nuovi materiali e delle tecniche che essi comportano. Contemporaneamente lo sviluppo della Scienza delle Costruzioni produce "*una separazione tra impegno teorico e pratico, contribuendo a disgregare l'unità della cultura tradizionale, ma anche a mobilizzare il repertorio di metodi e di forme ereditato dall'antichità*" (Benevolo, 1960). Le tradizioni umanistiche dell'*Academie d'Architecture*, fondata nel 1671 in Francia e poi soppressa nel 1793, non si prestano più a istruire i tecnici; nel 1747 viene fondata l'*Ecole des Ponts et Chaussées* e quindi, nel 1748, l'*Ecole des Mézières* da cui escono gli ufficiali del Genio francese. Tra il 1794 e il 1795 è istituita l'*Ecole Polytechnique*, utilizzando in parte il personale de l'*Ecole des Mézières*. L'ordine degli studi, fissato da Monge, è fondato sulla matematica e sulla fisica. Teoria e pratica sono due aspetti che iniziano a distinguersi

e si stabilisce un certo dualismo tra ingegneri e architetti. Da un lato l'evoluzione tecnologica propone nuovi materiali e tecniche, chiedendo alla scienza di sviluppare delle teorie per verificare la sicurezza dei propri prodotti. Dall'altro la modellazione della realtà apportata da tali teorie induce a ricercare soluzioni tecniche semplificate, che ne costituiscano l'applicazione. In quest'ottica le capriate (dal latino *capra*, ma anche dal francese *charpente*) offrono un immediato e promettente campo di studio.

Nel frattempo, i manuali europei diffondono la conoscenza tecnica acquisita attraverso le strutture notevoli già costruite. In Italia queste innovazioni arrivano con un certo ritardo; il *Traité theorique et pratique de l'Art de Bâtir* di Jean Baptiste Rondelet, pubblicato tra il 1802 ed il 1817, per un totale di 10 libri, viene tradotto in italiano nel 1831 (Rondelet, 1831-35); l'*Allgemeine bau Constructions Lehre* di Gustav Adolf Breymann, stampato per la prima in Germania nel 1849, viene pubblicato in italiano, con versione commentata, solo nel 1885 (Breymann, 1885).

La manualistica architettonica italiana del primo Ottocento si arricchisce in realtà di un testo molto interessante, che riassume lo stato dell'arte sul modo di costruire con il legno, senza ricorrere a formule matematiche (Forni, 2009). Il manuale *Dell'arte pratica del carpentiere* redatto dagli architetti Felice Pizzagalli e Giulio Aluisetti, allievi di Carlo Amati alla Scuola d'Architettura dell'Accademia di Belle Arti di Milano (Pizzagalli e Aluisetti, 1827), si inserisce in un contesto strettamente relazionato alla cultura costruttiva francese e tedesca, anche se fuori dalle scuole politecniche. Il testo descrive i vari modi di comporre i tetti degli edifici, forse il primo in Italia a dedicarsi all'argomento in modo sistematico ed enciclopedico, con ampi riferimenti alle soluzioni costruttive europee più famose e ai manuali più diffusi, come quello di Rondelet. Il riferimento per quest'opera italiana è dato dalla raccolta *Plans, Coupes et elevations de diverses produtions De l'Art de Charpente* (Krafft, 1805). I capisaldi di Krafft sono, oltre a Delorme, *Le Theatre de l'art de charpentetier* di Mathurin Jousse nella versione curata da de La Hire (de La Hire, 1702), e il *Traité de charpenterie et des bois de toutes espèces* (Mésange, 1753).

Krafft non cita il metodo di calcolo di Hassenfratz, elaborato a partire dal 1788 su incarico de l'Académie de France e di Monge, che sarà citato invece da Cavalieri San Bertolo nel suo manuale (Cavalieri San Bertolo, 1826). Questo aspetto è molto significativo perché testimonia una differenziazione tra l'arte del costruire presente nelle Accademie e la Scienza delle Costruzioni che comincia ad affermarsi nelle Scuole per ingegneri.

Il libro di Pizzagalli e Aluisetti distingue tra i tetti all'italiana e i tetti europei. Il sistema italiano è costituito da "cavalletti ribassati con tiranti". Tra i cavalletti composti di tre monaci cita tre esempi romani, notevoli per leggerezza, semplicità, solidità e precisa esecuzione: quelli della chiesa di San Paolo fuori le mura, del teatro Argentina e del teatro Tordinona. Tra i cavalletti italiani di maggiori dimensioni, fino a cinque monaci, gli autori citano la chiesa di S. Fedele a Milano, il magazzino delle sussistenze

a Torino, il cavalletto del teatro alla Scala. Mentre la copertura del teatro alla Scala viene criticata in quanto presenta dei problemi nei giunti e nei tiranti troppo esili, il cavalletto del teatro Farnese è considerato "*un modello dell'arte per la felice sua composizione e per la sua solidità; degno di riflessione è il congegno de' tre ordini di saette poste in arco che sostengono i bracciuoli in un sol tirante, ripartendone equilibrato il peso*". La soluzione del teatro Farnese è quindi considerata unica nel proprio genere. Le tavole del manuale sono inframmezzate di "avvertimenti", dedotti dalla pratica del cantiere. Dopo aver presentato alcuni tetti notevoli *"eseguiti secondo il sistema di Germania, di costruzione solida, per sostenere il peso delle nevi"* nei castelli di Stoccarda e Florimont e per una sala d'equitazione di Strasburgo, il testo descrive il tetto della chiesa di Valmadrera, quindi cita il cavalletto della Sala d'esercizio di Mosca, esempi di copertura la cui notorietà deriva dai manuali di Krafft e Rondelet e che troveranno eco anche nel *Traité de l'art de la charpenterie* di A.R. Emy, con le sperimentazioni di legno curvato e pressato (Émy, 1841). Un'altra copertura notevole descritta nel manuale è quella per la sala d'equitazione di Potsdam, ricostruita da Gilly. Il testo non riporta schemi di calcolo e geometrici dei cavalletti, ma solo i disegni in scala, ordinati per complessità e in base alla regione geografica e alla loro luce. Gli Autori celebrano il lavoro del carpentiere Lodovico Valentini per il contributo alla copertura del Santuario degli Oblati. Capitoli speciali sono dedicati alle ferramenta; per le catene vengono indicate le dimensioni della sezione circolare, come mostrato in Figura 2.

Nel 1826 viene stampata in Italia la prima edizione di un altro manuale, che riporta, pur se in modo sintetico, un procedimento per il calcolo e la verifica delle incavallature. Il testo è quello di Nicola Cavalieri San Bertolo, *Istituzioni di Architettura statica e idraulica* (Cavalieri San-Bertolo, 1826). I due mondi, quello delle accademie e degli architetti e quello degli ingegneri, sembrano qui coesistere. Il manuale è particolarmente interessante perché l'autore, che lavora per lo Stato Pontificio come ingegnere superiore nel corpo di acque e strade e come professore di architettura e statica presso la Scuola degli Ingegneri pontifici di Roma, studia i recenti sviluppi della scienza francese e utilizza un approccio pratico alla conoscenza delle capriate, proponendo una classificazione tipologica e un metodo semplificato di verifica analitica. La prefazione al libro, che menziona Hessenfratz, recita: "*Da tempo desiderava l'Italia di un trattato facile in uno e profondo, con la scorta del quale il giovine Ingegnere, dopo le teoriche della Scienza apprese nelle scuole dell'Università, potesse sicuramente avviarsi nell'esercizio pratico della sua professione.* […]".

L'anno di pubblicazione del libro di Cavalieri San Bertolo è quello della presentazione dell'incavallatura Polonceau, struttura di grande successo in Europa che combina gli elementi utilizzando il materiale per le sue caratteristiche migliori: il legno impiegato nei puntoni per sopportare la pressoflessione, la ghisa per gli elementi compressi e il ferro per gli elementi sottoposti a trazione. La concezione di tale struttura è di origine militare, come molte altre soluzioni di copertura negli anni successivi.

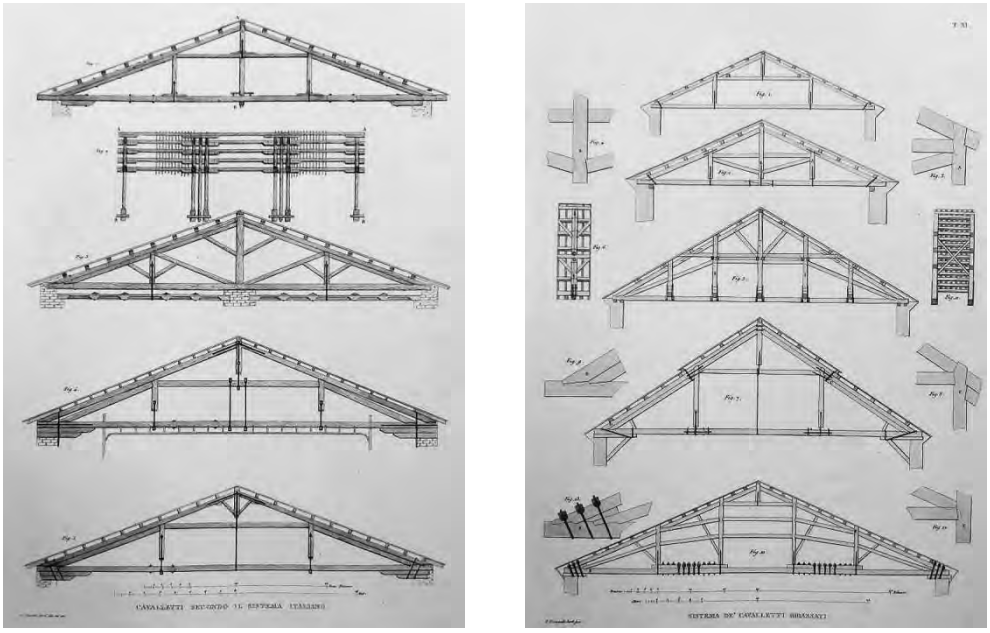


Fig. 2 – Disegni dei cavalletti “all’italiana” e dei cavalletti “ribassati”; ultima in basso a destra, la copertura del teatro Farnese (da Pizzagalli e Aluisetti, 1827)

L’opera del Cavalieri tratta una grande quantità di argomenti con chiarezza espositiva, rappresentando al meglio una cultura politecnica in grado di integrare la tradizione antica con le nuove acquisizioni tecnico-scientifiche e i recenti progressi nella produzione dei materiali da costruzione. I due volumi, divisi in cinque libri corredati da tavole illustrative, sono ricchi di richiami alla trattatistica classica, da Vitruvio allo Scamozzi e di riferimenti ad autori della scuola politecnica francese (Belidor, 1729; Rondelet, 1802-17; Sganzin, 1821; Gauthey, 1813; Borgnis, 1823; Navier, 1826). Il secondo libro tratta dei lavori di legname e di ferro, soffermandosi sulla produzione degli elementi e sui metodi per valutarne sperimentalmente la resistenza a compressione e la “flessibilità”, ma anche per studiarne la combustibilità e la durabilità. Le principali piazze individuate per l’assortimento del legname, con relativa nomenclatura e dimensioni, sono quelle di Milano, Venezia (che approvvigiona Bologna e il Nord Adriatico) e Roma. Al capo X del secondo libro si classificano i tetti delle fabbriche e se ne specificano gli elementi, partendo da quelli più semplici fino ad arrivare a discutere i sistemi per le grandi coperture, citando e disegnando le strutture notevoli della chiesa di S. Paolo a Roma e della piazza d’armi di Mosca, entrambe già proposte da Rondelet (1812) e da Pizzagalli e Aluisetti (1827); si indicano in modo estremamente preciso le inclinazioni in gradi da dare al tetto, secondo un approccio scientifico ma del tutto

slegato dalla pratica costruttiva. La struttura del testo è emblematica perché ripercorre in modo abbastanza lineare lo sviluppo dell'ingegneria e introduce elementi scientifici pur non disdegnando il riferimento a casi pratici notevoli, come mostrato in Figura 3.

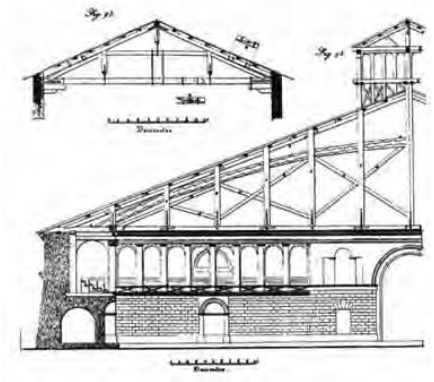


Fig. 3 – Capriata plurimonaco per la sala di equitazione a Mosca (da Cavalieri di San Bertolo, 1831).

Nello stesso periodo in Europa e in Nord America si stanno sviluppando le travi reticolari, le *trussed beams*, dei ponti e delle stazioni ferroviarie ed è necessario sviluppare e applicare teorie specifiche per la verifica della loro stabilità. Le travi reticolari di legno e, soprattutto, metallo sono un campo d'indagine molto battuto nello sviluppo della Scienza delle Costruzioni, prima dell'avvento del calcestruzzo armato. Il primo approccio decompone la trave reticolare in giunti e verifica l'equilibrio di ciascuno di essi. Nel 1857 J. W. Schwedler analizza le travi reticolari come travi comuni, usando il momento flettente e il taglio per trovare le forze assiali nei singoli elementi. Nel 1867 S. Whipple risolve il problema della iperstaticità trascurando alcune membrature e studiando la struttura risultante con le equazioni di equilibrio ai nodi. Il terzo approccio è proposto nel 1863 da A. Ritter, che semplifica il calcolo delle forze nelle aste sezionando verticalmente la trave e verificando l'equilibrio alla rotazione in una delle due parti sotto l'effetto dei carichi esterni e degli sforzi interni degli elementi tagliati. La teoria classica delle travi reticolari staticamente determinate viene elaborata approssimativamente intorno al 1865. La tendenza della cultura ingegneristica è quella di razionalizzare la conoscenza delle strutture e di classificare i vari tipi di incavallature in relazione alla loro luce. Questo comporta la perdita delle varietà delle strutture tipica delle culture costruttive tradizionali, fondate sulla conoscenza pratica e tramandate attraverso il lavoro dei mastri carpentieri.

Lo sviluppo delle teorie sui ponti e sulle reticolari ha un riflesso anche nello studio delle incavallature di legno, essendo nata l'esigenza di superare l'approccio empirico, ottimizzare l'uso dei materiali e quindi stimolare la sensibilità dei giovani ingegneri a questo scopo. Dal 1850 tutti i manuali di meccanica applicata hanno un capitolo sul progetto delle reticolari. Un ruolo importante nello sviluppo di studi sulle incavallature staticamente indeterminate è giocato dalla teoria della trave continua, che però non trova applicazione per il fatto di essere troppo complicata e onerosa in termini di calcolo e lascia quindi spazio ai metodi geometrici, tra cui quello proposto dal matematico Luigi Cremona, noto come metodo cremoniano. Sulla base degli studi di Navier, che assumono come quantità staticamente indeterminate le reazioni dei supporti intermedi, nel 1859 J. Bresse, nel corso di meccanica applicata che tiene presso l'École royale des

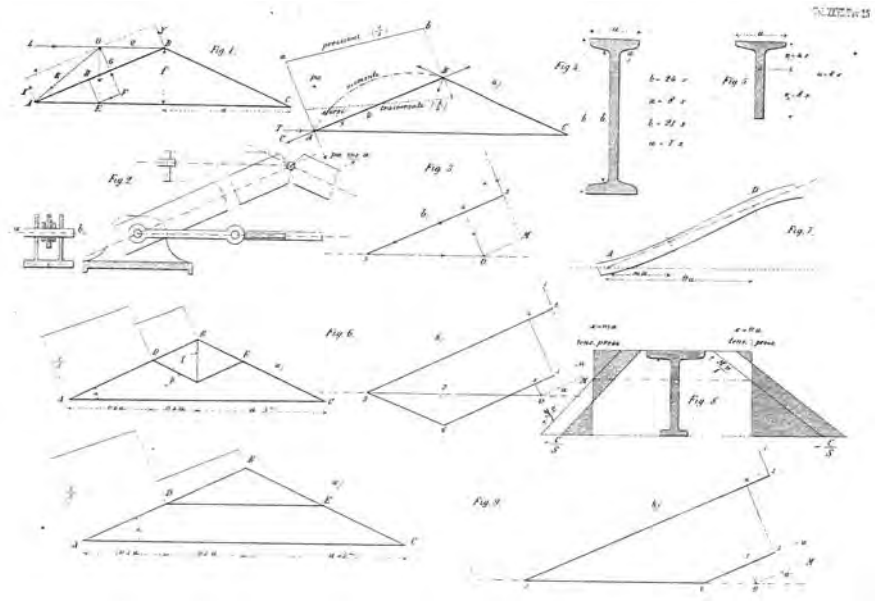


Fig. 4 – Schemi di calcolo delle “capriate” utilizzati da Cesare Ceradini (da Ceradini, 1879).

ponts et chaussées, espone un nuovo metodo per l’analisi delle incavallature di legno staticamente indeterminate con carichi distribuiti sui puntoni, che sono studiati come travi continue su supporti rigidi dati dai saettoni o da altri elementi secondari. L’analisi può essere condotta con l’equazione dei tre momenti, ottenendo i momenti flettenti e la suddivisione del carico distribuito sui nodi; successivamente si calcolano le forze interne nelle aste verificando analiticamente l’equilibrio dei giunti. Bresse applica il metodo anche alle capriate Polonceau, che sono oggetto di studi da parte di Alberto Castigliano, che su tale schema applica il proprio metodo.

Un filone italiano di grande interesse, con ricadute operative, è costituito dalle opere degli ingegneri del Genio Militare (Menabrea, 1858; Sachero, 1864; Caveglia, 1876), che riprendono gli studi sulla meccanica di Bresse e li applicano alle coperture di magazzini, alle sale di equitazione e alle armerie (Zamperini, 2015).

Per quanto a nostra conoscenza, il termine capriata compare per la prima volta in un articolo di Cesare Ceradini del 1879, in cui si tiene conto del carico distribuito sui puntoni e della loro flessione (Ceradini, 1879), riprendendo studi di statica grafica di Luigi Cremona. Si può dunque suggerire che il termine sia direttamente collegato alla nuova terminologia scientifica legata allo sviluppo delle tecniche di soluzione analitica o geometrica delle strutture e a uno tipo specifico di trave reticolare, che era appunto la capriata all’italiana, in Figura 4. Da quel momento in poi il termine viene

sempre più usato, poiché tutte le nuove incavallature di una certa importanza sono sottoposte a verifica strutturale con metodo grafico e/o calcolo analitico.

La copertura del teatro Farnese di Parma

Un esempio emblematico del cambiamento del paradigma costruttivo in merito alle strutture di copertura di grande luce è dato dalla "*rinnovazione del tetto minacciante rovina*" (s.a., 1868) del Teatro Farnese di Parma. Il vecchio tetto, con una corda di 32,10 m, era probabilmente quello più ampio d'Europa all'epoca della sua costruzione. Si tratta di venti incavallature di forma complessa, costruite tra la fine del Cinquecento e gli inizi del Seicento per coprire una grande sala d'armi, poi riconvertita nel 1618 a teatro su progetto dell'architetto Bibbiena. Ogni incavallatura è costituita dalla sovrapposizione di tre archi tra loro connessi, così come rappresentato nella sezione del teatro disegnata dall'architetto L. Feneuille nel Settecento. Lo schema richiama quello dei ponti svizzeri disegnati da John Soane. L'origine militare del progetto di questa copertura, di cui non si conosce l'autore, sta nel fatto che la scatola muraria su cui appoggia il tetto nasce come sala d'armi. Il lavoro di rinnovamento viene eseguito nel 1868 dall'ingegner Giovanni Savoja sotto la guida dell'ingegner Francesco Lucca, capo dei servizi Demaniali di Milano (*s.a.,* 1868). Dopo ampia discussione sul metodo d'intervento e sulla forma da dare alle nuove incavallature, rilevate con tecniche fotografiche per metterne in evidenza lo squilibrio, viene costruito un ponteggio continuo per tutta l'area del teatro per semplificare le lavorazioni. Le strutture vengono ricomposte utilizzando 2/3 del legname precedente di rovere e larice, opportunamente segato in modo da eliminare le parti deteriorate ed accogliere nuovi tipi di connessioni. Il nuovo schema segue la fusione o unione di tre capriate composte, ottenute introducendo nuovi tiranti metallici verticali: "*Negli incontri delle varie travi costituenti la crociera, sia fra loro sia colla contro catena e coi sottopuntoni, s'impiegarono apposite cassette di ferro fuso, dalle quali si dipartono aste di ferro che si possono allungare ed accorciare mediante viti affine di regolare il loro collegamento colla catena, coi puntoni e col monaco e formarne così un solo sistema*." (s.a., 1868), come mostrato in Figura 5. Alcune di queste cassette prevedono un comportamento a cerniera, alcune a carrello, alcune non eliminano i momenti d'incastro. Sebbene la relazione non faccia richiamo a schemi di calcolo o grafici per il dimensionamento delle strutture, forse neppure utilizzati, è indubbio il richiamo a elementi tesi e compressi e a una concezione tipica delle strutture reticolari miste. Peraltro, il lavoro del genio civile era svolto indipendentemente da quello degli ingegneri militari e c'è il caso che le due scuole tra di loro utilizzassero metodi diversi. Ma la nuova concezione delle reticolari è chiara, ed è chiaro il fatto che il modo di pensare le incavallature fosse completamente diverso da quello di due secoli e mezzo prima. Le strutture si presentano iperstatiche, ma si possono facilmente semplificare come strutture isostatiche attraverso l'eliminazione di alcuni membri,

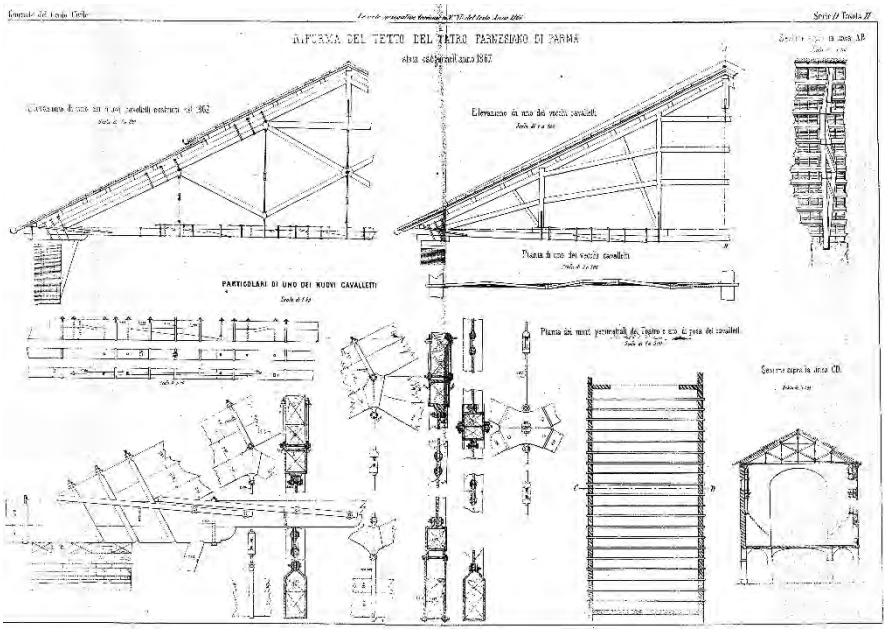


Fig. 5 – Incavallature del teatro Farnese; stato di fatto e progetto (da s.a., 1868).

o concepire come l'assemblaggio di tre reticolari, come riferito prima. Purtroppo, i calcoli non sono stati pubblicati e il metodo seguito non è giunto a noi. Peraltro, il rinnovamento delle capriate del teatro Farnese, il nome capriata non ricorre nella relazione tecnica allegata al progetto, rappresenta chiaramente il momento di passaggio da un tipo seicentesco d'incavallatura, con elementi ridondanti e funzionamento ad arco, a nuovi schemi reticolari.

Le nuove strutture possono essere calcolate o con il metodo della trave continua e/o con il metodo di Castigliano, in modo che siano staticamente determinate, oppure per via geometrica con carichi concentrati nei nodi, assimilati a cerniere per la semplificazione della trasmissione degli sforzi. In questo modo le conoscenze tecniche della tradizione vengono perdute a vantaggio di nuove configurazioni.

Conclusioni

È stato messo in luce in modo sintetico, anche attraverso la breve analisi di alcuni manuali fondamentali e di edifici notevoli, il parallelismo tra lo sviluppo delle teorie scientifiche e il modo diverso di concepire e costruire le strutture reticolari, o incavallature, durante il XIX secolo. Vi sono casi ottocenteschi di rinnovamento simili a quello del teatro Farnese di Parma che andranno indagati e confrontati: tra questi il rifacimento della copertura della Fenice, dove si introducono nelle strutture nuo-

vi elementi di rinforzo, che vengono poi verificati. Interessante sarà ripercorrere il calcolo di tali strutture con il metodo di Castigliano assieme ai metodi grafici. Altri sviluppi futuri della ricerca potranno essere indirizzati a individuare con precisione l'origine del termine italiano capriata, posizionandolo all'interno della nuova terminologia sviluppata negli studi per la risoluzione analitica delle strutture reticolari, anche come traduzione del termine generale francese *charpente*.

Bibliografia

Barbisan U., Laner F. 2000. *Capriate e tetti in legno: progetto e recupero: tipologie, esempi di dimensionamento, particolari costruttivi, criteri e tecnologie per il recupero, manti di copertura*. Milano: Franco Angeli.

Belidor B. 1729. *La science des ingenieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*. Paris: C. Jombert.

Benevolo L. 1960. *Storia dell'architettura moderna*, Bari: Laterza.

Borgnis J.-A. 1823. *Traité* élémentaire *de construction appliquée à l'architecture civile*. Paris: Bachelier.

Breymann G.A. 1885. *Trattato di costruzioni civili*. Milano: Casa Editrice Dott. F. Vallardi.

Cavalieri San-Bertolo N. 1826. *Istituzioni di architettura statica e idraulica di Nicola Cavalieri San-Bertolo ... Volume 1. [-2.]*. Bologna: Cardinali, Francesco & Frulli, Carlo.

Caveglia C. 1876. *Elementi di statica grafica e loro applicazione allo studio della stabilità delle costruzioni*, Torino: UTET.

Ceradini C. 1879. Dell'equilibrio e Della Stabilità Delle Capriate. Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere Architetto civile ed industriale, 4-7, 8-12.

de La Hire P. 1702. *L'art de charpenterie de Mathurin Jousse, corrigé & augmenté de ce qu'il y a de plus curieux dans cet art, & des machines les plus nécessaires à un charpentier*. Paris: Thomas Moette.

Émy A.R. 1841. *Traité de l'art de la charpenterie*. Liége: Dominique Avanzo et Compagnie.

Forni M. 2009. Un manuale alle soglie della modernità: F. Pizzagalli G. Aluisetti, Dell'arte pratica del carpentiere, 1827-1834. In: *Conservare e restaurare il legno conoscenze esperienze prospettive*. Atti del Convegno di Studi, Bressanone, 23-26 giugno 2009 (a cura di Biscontin G. e Driussi G.), 27-36. Venezia: Edizioni Arcadia Ricerche.

Gauthey E.-M. 1813. *Traité de la construction des ponts*. Paris.

Hülsen C. (a cura di). 1984. *Sangallo G. Codice vaticano barberiniano*. 4424 f 63r. Fototipo. Città del Vaticano: Biblioteca apostolica vaticana.

Krafft J.C. 1805. *Plans, coupes et elevations de diverses productions de l'art de la charpente: executees tant en France que dans les pays etrangers*. Paris: Chez l'Auteur, Levrault, Schoel et Compagnie.

Lamborghini S., Mochi G., Venturi L., Guardigli L. 2015. Historic timber trusses in bologna. The case of some peter in Bologna, In *5th International congress on Construction History*, 449-456. Chicago: The Construction History Society of America.

Menabrea L.F. 1858. *Nouveau principe sur la distribution des tensions dans les systèmes* élastiques. Comptes rendues hebdomadaires des séances de l'Academie des sciences. 46, 1056-1060.

Menichelli C. (a cura di). 2009. Le strutture lignee dell'Arsenale di Venezia. Studi e restauri, In: *Conservare e restaurare il legno conoscenze esperienze prospettive*, Atti del Con-

vegno di Studi, Bressanone, 23-26 giugno 2009 (a cura di Biscontin G. e Driussi G.), 1163-1216.

Mésange M. 1753. *Traité de charpenterie et des bois de toutes espèces*. *Avec un tarif général des bois de toutes fortes de longueurs& grosseurs, dans un goût nouveau, & un Dictionnaire des termes de la Charpenterie* / *Premier Partie*. Paris: Rue Dauphine.

Navier C.-L. 1826. *Résumé des Leçons données à l'École Royale des Ponts et Chaussées sur l'Application de la Mécanique à l'Etablissement des Constructions et des Machines. 1er partie: Leçons sur la résistance des materiaux et sur l'établissement des constructions en terre, en maçonnerie et en charpente*. Paris.

Palladio A. 1570. *I quattro libri dell'architettura*. Venezia.

Pizzagalli F, Aluisetti G. 1827. *Dell'arte pratica del carpentiere esposta dagli architetti Felice Pizzagalli e Giulio Aluisetti*. Milano: Gaspare Truffi.

Rondelet J.B. 1802-17. *Traité theorique et pratique de l'Art de Bâtir.* Paris: Chez l'auteur.

Rondelet J.B. 1831-35. *Trattato teorico e pratico dell'arte di edificare,* Mantova: Caranenti.

s.a. 1868. *Teatro Farnesiano in Parma*. Giornale del Genio Civile 47, serie D, tav. II, 461-465.

Sachero C. 1864. *Studii sulla stabilità delle armature dei tetti*. Torino: Tip. G. Cassone e comp.

Serlio S. 1537. *I sette libri dell'architettura*. Sala Bolognese: Arnaldo Forni.

Sganzin M. 1821. *Programmes ou* résumés des *leçons d'un cours de construction, avec des application tirées principalement de l'Art de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées, conformément au système d'enseignement adopté par le Conseil de Perfectionnement de l'an 1806*. Paris: Courcier.

Valeriani S. 2005. Monaci, dardi e colonnelli. Genesi e caratteristiche delle capriate italiane. In: *Actas del Cuarto Congreso de Historia de la Costruccion* (a cura di Huerta S.), Cádiz 27-29 enero 2005, Madrid: Juan de Herrera, 1039-1049..

Zamperini E. 2015. The Design of Timber Trusses in Italy: From empiricism to Structural Analysis. In: *A Bridge between Conceptual Frameworks. Sciences, Society and Technology Studies* (a cura di Pisano R.). Dordrecht: Springer Science+Business Media, 537-557.

Consuelo Gómez López

«Sketchbook on military art». Un compendio tra cultura tecnica e ibridazione artistica nell'Europa del XVII secolo

Abstract
This article analyzes the manuscript 27 of the L.S. Rosenwald Collection (Library of Congress, Wahsington, United States), filed under the name Sketchbook on military art, including geometry, fortification, artillery, mechanics, and pyrotechnics. The rich collection of texts and images included in this manuscript is studied as an example of the hybridization process that took place between art and technique, at the beginning of the 17th century, in the professional environment of florentine engineering. At the same time, this document is analyzed as a case study of the role played by the knowledge of military engineering techniques in the development of the artistic hybridization process linked to the work of a wide generation of technicians and artists.

Introduzione
Alla fine del Cinquecento, la necessità di affrontare con successo le questioni pratiche di carattere tecnico nel campo dell'ingegneria militare determinò la proliferazione di testi che trattavano di tutte quelle competenze tecniche e scientifiche che l'ingegnere moderno doveva acquisire e padroneggiare se voleva sviluppare la sua attività in un sistema professionale in fase di rinnovamento: geometria, aritmetica, topografia, idraulica, architettura militare, artiglieria, pirotecnica, scenografia, ottica, meccanica, invenzione e uso di strumenti per misurare e calcolare le distanze (Biral e Morachiello, 1985). Questo genere di letteratura avrebbe raggiunto grande successo e diffusione, fornendo un importante repertorio di modelli e risorse a tutti coloro che cercavano soluzioni tecniche da applicare nello sviluppo della propria pratica professionale con garanzia di successo. Per raggiungere l'obiettivo della diffusione, era indispensabile adottare una strategia di comunicazione efficace, consistente nella creazione di opere illustrate con immagini per favorire la comprensione degli elementi e degli argomenti tecnici descritti nei testi, scritti in lingua vernacula al posto del latino, al fine di facilitarne e ampliarne le capacità d'uso. Gran parte di tali opere, le più note e conosciute, sono state pubblicate e ampiamente diffuse, contribuendo a generare uno spazio comune di conoscenza tra architetti, ingegneri e disegnatori (Ilari, 2012). Alcune tra esse sono state divulgate in forma manoscritta, una volta

elaborate dai professionisti che lavoravano nei laboratori, nelle scuole e nelle accademie dell'epoca, cosa che, senza dubbio, gli dava un certo valore. Non dobbiamo dimenticare che la collaborazione e lo scambio di tecniche e conoscenze tra professionalità diverse in questo spazio era molto frequente nel contesto di una politica culturale e artistica integrata in lavori che riunivano saperi diversi. Inoltre, molti di questi manoscritti sono stati creati in un contesto culturale che permetteva la contaminazione tra diversi ambiti, quali l'architettura, la scenografia e la progettazione e costruzione di macchine, determinando le prestazioni di opere risultanti dal processo di ibridazione tra arte, scienza e tecnica.

I manoscritti di ingegneria illustrati qui di seguito, provenienti da centri di studi di matematica, geometria, prospettiva, disegno, meccanica e architettura civile e militare, sono un chiaro esempio di questo processo. Il loro studio, effettuato sui manoscritti, sui libri di disegno e sui modelli di artisti e collezionisti tipici di altri campi della storia dell'arte, va approfondito per formulare ipotesi su alcune domande che ancora non hanno risposta, ad esempio quella sul ruolo svolto da queste opere nella diffusione dei modelli e delle risorse applicate alla pratica dell'ingegneria, o quella relativa al modo in cui il loro processo di creazione e le modalità usate per la rappresentazione avrebbero potuto essere adattate allo scopo e all'uso delle immagini (Segreto, 2019).

Lo Sketchbook e l'Accademia Fiorentina di Ingegneria

Il manoscritto numero 27 della Lessing J. Rosenwald Collection (Library of Congress, Wahsington, United States), intitolato *Sketchbook on military art, incluiding geometry, fortification, artillery, mechanichs and pyrotechni* costituisce, in questo senso, un interessante caso di studio. È sviluppato alla maniera di un *corpus* di 599 pagine e 275 illustrazioni tra acquerelli e disegni a penna e inchiostro nero di grande qualità, con testi esplicativi su foglio separato, scritti in italiano e spagnolo, a formare una raccolta di soluzioni pratiche di problemi tipici dell'ingegneria meccanica. Tutto questo organizzato intorno ai grandi argomenti che interessavano gli ingegneri militari, architetti e scenografi che operavano in ambito europeo dagli ultimi decenni del XVI secolo in poi: geometria, fortificazione, artiglieria, meccanica, ottica, pirotecnica e scenografia[1].

Il manoscritto suscita un indiscutibile interesse per la conoscenza delle modalità di espressione della cultura tecnico-scientifica dell'età moderna nell'ambiente professionale. La questione dell'attribuzione, della cronologia e della funzione del manoscritto potrebbe essere parzialmente risolta confrontandolo con i manoscritti 468 e 1292 conservati presso la Bibliothèque Nationale de France, dato che la composizione, gli argomenti e le caratteristiche tecniche sono molto simili[2]. Inoltre, il fatto che i manoscritti parigini possano essere stati collegati alla scuola di ingegneria fiorentina della seconda metà del Cinquecento fornisce la chiave per inserire lo *Sketchbook* in questo

stesso contesto (Bartoli, 1986; Fossi, 1975; Lamberini, 2004; Lamberini, 2005; Negro Espina, 1983; Giovannozi, 1933). Questa teoria trova conferma nel fatto che i testi e le immagini che lo compongono sono ricchi di riferimenti a una pratica professionale di ingegneria di matrice fiorentina (Lamberini, 1998a; Promis, 1874; Romby, 2007).

L'attribuzione del manoscritto 1292 a Giulio Parigi, fatta sulla base dell'iscrizione con il suo nome che compare accanto all'illustrazione di una delle pagine del testo (Giovannozi, 1933; Negro Espina, 1983)[3], ha anche permesso di stabilire un collegamento tra la produzione di questi manoscritti e la scuola di ingegneri, intagliatori e architetti in cui Giulio Parigi avrebbe svolto il suo insegnamento nei primi decenni del XVII secolo: una sorta di *think-tank* o di officina professionale, in cui avveniva lo scambio di competenze tra professionisti, con la conseguente ibridazione tra arte e tecnica, e nella quale avrebbero operato artisti come Ludovico Cardi "il Cigoli", Remigio Cantagallina, Giovanni da San Giovanni, Ercole Bazzicaluva, Baccio di Bianco, Cosimo Lotti, Pietro Ciafferi, Filippo Napoletano, Agostino Tassi, Ludovico Incontri, Stefano della Bella, Jacques Callot, Iñigo Jones, Joseph Fürttenbach o Andrea e Alfonso Parigi (Blumenthal, 1984; Negro Espina, 1983). La scuola, secondo F. Baldinucci, era stata creata da Bernardo Buontalenti in via Maggio, a Firenze, per dare lezioni di "*disegno, propettiva e architettura civile e militare*", formando "a*llievi d'alto lignaggio e giovani artisti di futura fama*", nonché "*principi e gran cavalieri oltramontani*" (Baldinucci, 1768; Baldinucci, 1808-1810)[4], circostanza che avrebbe contribuito a diffondere al di là delle Alpi un modo concreto di praticare la cultura tecnica e artistica.

È probabile che questa scuola, sulla quale sarebbe necessario effettuare uno studio approfondito, sia stata integrata nella rete di spazi didattici sorti a Firenze nella seconda metà del Cinquecento, in collegamento con l'Accademia del Disegno. Il suo scopo sarebbe stato quello di creare spazi di collaborazione con la stessa Accademia per insegnare ai giovani le nuove tecniche, sviluppando un percorso didattico che avrebbe portato alla composizione di manuali (Wazbinsky, 1987). Infatti, gli statuti dell'Accademia del 1563 raccomandavano, nel capitolo XXXIII, che gli insegnanti sistematizzassero le riflessioni delle loro lezioni per facilitare il lavoro pratico degli artisti (Wazbinsky, 1987). A questo lavoro si dedicò Ammannati, membro attivo dell'Accademia, dando forma a un corpus di documenti composto di varie note e disegni di geometria, aritmetica, proporzioni, architettura militare e così via che costituì la base per la scrittura dell'opera *La Città*, alla quale l'artista lavorò per gran parte della sua vita (Fara, 1998; Fossi, 1970)[5].

Questa notizia, insieme alla considerazione delle discipline tecniche nello spazio didattico dell'Accademia come un'opera più legata all'insegnamento della scuola o della bottega, nonché al fatto che il manoscritto utilizza l'italiano e lo spagnolo, rafforzerebbe la considerazione del documento come una sorta di manuale pratico di ingegneria e meccanica, pensato per essere utilizzato in una scuola. Ricordiamo

che la volgarizzazione dei testi era ormai diventata una pratica comune per la comprensione e la diffusione dei principi e delle tecniche scientifiche, antiche o moderne, cosicché il loro uso sarebbe stato la migliore opzione se ciò che si intendeva era formare un *corpus* destinato a raccogliere, organizzare e trasmettere il lavoro prodotto da un laboratorio. Questo si tradurrebbe in una raccolta di principi teorici e modelli legati all'ampio catalogo di competenze o conoscenze che un ingegnere moderno doveva raccogliere per lo sviluppo della professione: geometria, che permetteva di misurare le distanze, di progettare fortificazioni e di risolvere questioni pratiche; la meccanica antica, raccolta dalle *Quaestiones mechanicae* di Aristotele o dagli scritti di Archimede, Pappo e Heron di Alessandria, o quella medievale e moderna, di autori come Tartaglia, Taccola, Di Giorgio, Leonardo, Bartoli o Guidobaldo del Monte (Lamberini, 1998b; Ceccarelli e Cigola, 2006; Galluzzi, 2005; Belardi, 2005).

I riferimenti fatti in diverse pagine del manoscritto all'ingegnere Francesco Tensini, in particolare alle tecniche di fortificazione militare di cui si era occupato nella sua opera *La Fortificatione*, *guarda difesa et spugnazione delle fortezze* pubblicato a Venezia nel 1624, potrebbe stabilire la cronologia dello *Sketchbook* a partire da tale data. Tutto ciò non dovrebbero farci dimenticare come parte delle immagini avrebbe potuto essere realizzata in anticipo come parte di una sequenza in cui avrebbero lavorato artisti legati all'ambiente professionale della scuola di via Maggio. Sarebbe, in questo caso, un'opera collettiva trasformata in un elenco di testi e immagini, di grande qualità artistica, caratterizzato da un uso del disegno a penna e inchiostro che diventò di uso frequente tra gli artisti fiorentini legati alla scuola di Giulio Parigi all'inizio del Seicento, tra i quali Baccio de Bianco, Callot, Stefano della Bella e "Il Cigoli". In questo senso, va notato che gli artisti che lavoravano in questa scuola fiorentina di Via Maggio collaboravano frequentemente, assumendo nelle loro opere schemi grafici molto simili (Turner, 1986; Negro Espina, 1983; Baroni, 2009; Panichi, 1914). Il fatto che il manoscritto contenga pagine bianche o incompiute, che presenti interruzioni nella sequenza della sua numerazione, o che alcune delle sue illustrazioni siano state intercalate interrompendo l'ordine dei soggetti, rafforzerebbe l'ipotesi per cui si potrebbe pensare che sia in realtà un'opera incompiuta e proveniente da mani diverse. Non si deve neppure escludere che il manoscritto, pur adottando chiaramente la struttura di un manuale, possa essere stato inserito in un progetto editoriale: un libro illustrato di ingegneria, concepito come una raccolta di modelli di ingegneria militare e tecnica applicata della tradizione toscana, simili a quelli già in circolazione in Europa dalla fine del Cinquecento. Questo sarebbe indicato dal modo in cui i soggetti erano organizzati nel manoscritto, cosí come dall'uso di tecniche grafiche applicate con maestria, compresi disegni a penna e acquerelli colorati. Inoltre, l'inserimento sulla prima pagina di una immagine della Fortuna rappresentata dall'iconografia classica dell'Occasione, comunemente usata come segno tipografico in età moderna, rafforzerebbe questa ipotesi. L'autore accompagnò

Fig. 1 – La Fortuna, secondo l'iconografia classica dell'Occasione, sulla prima pagina dello Sketchbook.

questa figura con alcuni dittici di Catón che parlavano della necessità di approfittare dell'occasione per non perdere fama, onore e virtù, magari indicando una dedica rivolta a un potenziale mecenate, come mostrato in Figura 1[6].

I saperi e i modelli. Un esercizio di ibridazione tra l'arte e la tecnica.
Lo *Sketchbook* condivide con i libri illustrati di ingegneria pubblicati nei primi decenni del Seicento, come quelli dello stesso Francesco Tensini (*La Fortificatione*, Venezia, 1624), Jean Errard de Bar-le-Duc (*La Fortification démonstrée et réduicte en arte*, Parigi, 1600), o Antoine de Ville (*Les fortifications*, Lione, 1629), l'interesse a fornire informazioni su questioni pratiche di ingegneria militare e meccanica: geometria euclidea, architettura militare, topografia, artiglieria, prospettiva, scenografia, pirotecnica e calcolo delle distanze. Sia lo *Sketchbook* che questi libri riproducevano quegli stessi modelli di fortificazioni regolari e irregolari che divennero poi parte dei cataloghi dei modelli dei libri di ingegneria. E seguirono anche una stessa strategia, basata sulla presentazione di un discorso teorico di intenzionalità didattica, in cui l'immagine giocava un ruolo fondamentale assumendo una valenza a cavallo tra il materiale tecnico e quello pittorico (*The power of images*, 2012). Si tratta di una pratica analoga a quella già adottata nei libri di architettura fiorentina della fine del XV secolo, caratterizzata dall'offerta di indicazioni sui procedimenti, dalla combinazione di testo e immagine realizzata per facilitare la conoscenza della tecnica ingegneristica applicata, e dalle istruzioni sui materiali e sulla fabbricazione degli elementi. In entrambi i casi, l'immagine era impregnata di una doppia dimensione, estetica e semantica, che ne faceva uno strumento di mediazione molto utile per la trasmissio-

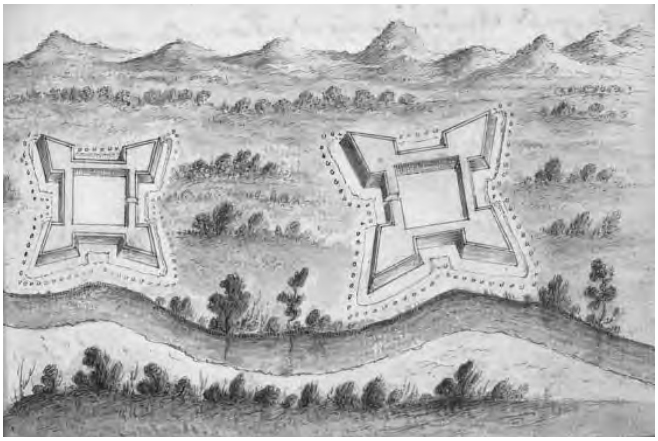


Fig. 2 – Disegno di fortificazioni regolari con paesaggio nello Sketchbook.

ne delle conoscenze tecnico-scientifiche. Una caratteristica che aveva avuto come risultato il fatto che nella rappresentazione dei diversi modelli di fortificazione presenti in queste opere, come in quella degli strumenti e delle macchine impiegate in vari usi che vi apparivano, sono state utilizzate congiuntamente risorse proprie dei sistemi di rappresentazione dell'architettura militare, quali planimetrie, vedute elevate e assonometria o in prospettiva cavaliera, ciascuna accompagnata dalla propria scala, insieme ad altri di natura pittorica, come la prospettiva o la creazione di sfondi paesaggistici scenografici, come nel disegno di fortificazioni in Figura 2. Si venne così a costituire un'interessante ibridazione tra la tecnica e l'arte, in sintonia con un ambiente umanistico e scientifico-tecnico, vario ed eterogeneo, composto da artisti, ingegneri, architetti, matematici, letterati, filosofi ed eruditi.

Il legame che il ricco *corpus* di testi e immagini dello *Sketchbook* presenta con la scuola di ingegneria fiorentina è inequivocabile. Possiamo osservarlo, ad esempio, nell'approccio professionale eminentemente pratico con il quale vengono sviluppati i temi trattati. (Molteni e Pérez Negrete, 2018). A questo scopo l'opera includeva nelle sue prime pagine una selezione di problemi e proposizioni di geometria euclidea, che ingegneri di spicco della scuola fiorentina come Buonaiuto Lorini ritenevano "non solo utile, ma necesaria, per essere come fondamento di tutte le nostre operazioni" (Lorini, 1597). Dobbiamo ricordare, tra l'altro, che i principi della geometria euclidea avevano fornito a un vasto gruppo di professionisti le competenze che gli permisero di muoversi tra diversi campi, come la cartografia, l'ingegneria militare, la meccanica, l'architettura o la scenografia (Scibilia, 2007). E che questa materia si insegnava nelle accademie legate ai laboratori e alle scuole fiorentine, come quelle di Ostilio Ricci, di Bernardo Buontalenti o dello stesso Giulio Parigi, con cui lo

Sketchbook sarebbe stato messo in relazione, poiché si tratta di centri di riferimento in cui avevano lavorato molti artisti al servizio culturale e politico di Casa Medici (Magureanu, 2011). Questa attività didattica sarebbe rafforzata dalla pubblicazione di opere di grande rilievo come *L'Ottica* e *Gli Elementi* di Euclide, o l'edizione commentata di *Le Due Regole della Prospettiva Pratica* di Vignola, che fornirebbero a cartografi, ingegneri e pittori un interessante catalogo di risorse condivise per la loro attività professionale (Camerota e Miniati, 2009).

In armonia con questo approccio pratico all'ingegneria, il documento offriva una raccolta di modelli di fortificazione organizzati secondo il loro disegno, regolare o irregolare, così come di caratteristiche geomorfologiche del sito da fortificare. Vale a dire, di conoscenze che erano diventate parte della tradizione degli scritti tecnici di ingegneria militare attraverso opere come quella dell'ingegnere fiorentino Bernardo Puccini. Un'opera che offriva, per dirla con le parole di Daniela Lamberini (Lamberini, 1990; Lamberini, 2007), una "*sintesi agile*" dell'attività che rese lo stato fiorentino una potenza militare mediante l'attività svolta durante un ventennio nel campo della fortificazione, la cui espressione visiva si concretizzava in un ampio catalogo di disegni di alta qualità, realizzati a penna, in cui erano presentate piante e assonometrie di fortificazioni. Questo tipo di lavoro circolò tra i professionisti e il pubblico interessato in forma manoscritta, come dimostrato dai frammenti direttamente copiati da ingegneri militari, architetti o artisti, che contribuirono così alla codifica dei modelli rappresentati. In ambito fiorentino, ad esempio, Bartolomeo Ammannati divulgò i modelli esposti da Giovanni Battista Belluzzi (Fossi, 1970), mentre Galileo avrebbe scelto l'opera inedita di Berardo Puccini per comporre il suo *Trattato di fortificazione* del 1593. Sembra anche che quest'opera potrebbe essere stata usata da scienziati toscani per dare lezioni private. Inoltre, sappiamo che Giorgio Vasari copiò Puccini nel 1596. E che nel 1604 l'ingegnere fiorentino Giovan Francesco Fiammelli potrebbe aver fatto qualcosa di simile attraverso l'opera *Il Principe Difeso*, pubblicata a Firenze nel 1604 (Lamberini, 2007; Lamberini, 1990).

Lo studio dello *Sketchbook* documenta, d'altra parte, una buona conoscenza delle possibilità che la tradizione tecnico-scientifica di tradizione fiorentina aveva sviluppato nell'architettura militare attraverso, ad esempio, la topografia o l'ottica. Nelle sue pagine si evidenzia la conoscenza dei testi di Giovanni Belluzzi o di Buonaiuto Lorini, nonché le problematiche dell'attività militare, affrontate da Antonio da Sangallo il Giovane come da Michelangelo, fondata sull'uso della geometria del tiro e dell'ottica. Questa conoscenza avrebbe forse consentito di sviluppare tecniche di adattamento dell'architettura militare alle condizioni geografiche del terreno per evitare attacchi, conoscere i materiali per scavare una galleria, proteggere una torre, fondere il bronzo o fabbricare dispositivi pirotecnici. Un intero compendio, insomma, delle conoscenze dell'architettura militare che erano parte fondamentale della professione di ingegnere a Firenze tra il XVI e il XVII secolo.

Uno dei più interessanti frammenti del manoscritto è quello dedicato alle tecniche di misurazione delle distanze tra gli oggetti e alla rappresentazione in prospettiva attraverso "macchine di disegno" (*The power of images*, 2003): strumenti a metà strada tra l'arte, la scienza e la tecnica, che suscitarono grande interesse tra gli artisti e gli ingegneri moderni, a cui il fiorentino avrebbe rivolto un'ampia produzione letteraria: dai *Ludi Matematici* (1450-1452) di Alberti, al *Modo de misurare le distanze* di Cosimo Bartoli, pubblicato nel 1564. Queste opere ebbero un grande influsso su diverse generazioni di artisti e ingegneri che, come Ammannati, Buontalenti, Giulio Parigi o lo stesso Ludovico Cardi detto "Il Cigoli", erano legati alla attività professionale della scuola fiorentina di via Maggio. Proprio a "Il Cigoli", figura di spicco nell'ambito scientifico ed artistico fiorentino, si deve la creazione di uno strumento molto semplice per la misurazione delle distanze, ad uso militare, che fu rappresentato nel suo *Trattato pratico di prospettiva* del 1613 insieme alla figura di un soldato che lavorava alla costruzione di una fortezza, dando origine ad un'immagine molto simile a quella riprodotta in una delle pagine dello *Sketchbook* (Calisi, 2019). La sua rappresentazione mostrava l'interesse che questo tipo di strumento aveva acquisito per l'architettura militare, provocando un dibattito che metteva in discussione il tema dei diversi usi e funzioni che potevano svolgere nelle mani di tecnici e artisti (Camerota, 1995). È il caso della critica che Daniele Barbaro, autore de *La pratica della prospettiva* pubblicato a Venezia nel 1569, avrebbe mosso allo strumento che Baldassare Lanci inventò nel 1557 pensato per "agrimensori e matematici, per operazioni di geografía, corografía e cartografia". Uno scopo che lo renderebbe utile per cartografare e rappresentare gli impianti di fortificazione da una posizione elevata, ma non per altri tipi di rappresentazione poiché, secondo Daniele Barbaro, andava contro le regole canoniche della prospettiva.

Segno tangibile di una cultura tecnica e artistica per la quale l'indagine sui principi dell'ottica era diventata fondamentale, lo *Sketchbook* riuniva un interessante catalogo di strumenti prospettici e di rilievo che venivano utilizzati da tecnici e artisti: un compendio di macchine di disegno concepite come strumenti per lo sviluppo della professione, che giustificava la loro presenza in documenti a scopo didattico come lo *Sketchbook*. Lo strumento di Baldassarre Lanci, ad esempio, era rappresentato da Daniele Barbaro in *La pratica della prospettiva* del 1568, così come da Egnaco Danti e Giacomo da Vignola in *Le Due Regole della prospettiva pratica* del 1583. Nello *Sketchbook* compare insieme ad altri strumenti legati ai diversi usi che sia gli artisti che gli ingegneri fecero della prospettiva in ambiti come la pittura, l'architettura, l'ingegneria militare e la scenografia, componendo un repertorio che sarebbe stato completato con altre importanti macchine da disegno: una camera oscura, la cui prima immagine apparve nel 1544 nel *De radio astronomico et geometrico* di Gemma Frisius; un pantografo progettato per copiare i disegni, ingrandendoli o riducendoli, da parallelogrammi articolati; il prospettografo stesso, concepito come

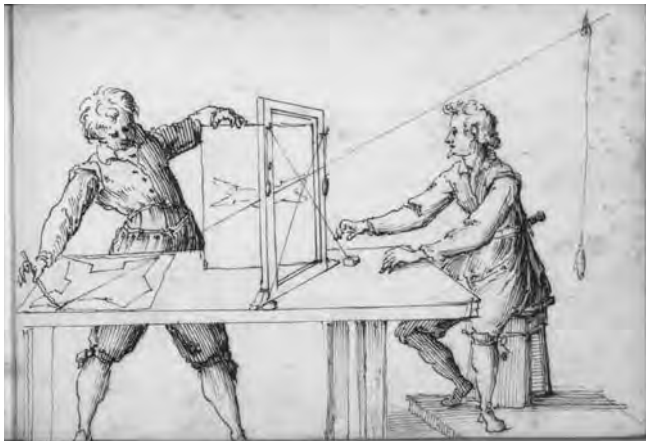


Fig. 3 – Disegno di fortificazione con strumento di prospettiva nello Sketchbook.

Fig. 4 – Rappresentazione prospettica di un edificio con camera obscura nello Sketchbook.

una macchina che serviva a tracciare la prospettiva di un piano o di una pianta; e una variante della finestra prospettica di Dürer presentata in *Underweyssung der Messung*, 1525 e riprodotta intorno al 1612 da Salomon de Caus in *La perspective avec la raison des ombres et miroirs* (Camerota, 2006; Camerota, 2010; Camerota, 2013; Profumo, 1992), nelle Figure 3 e 4. In questo contesto, l'uso della prospettiva di Ammannati, Buontalenti e Parigi si situerebbe nel quadro di una cultura della prospettiva legata alla tecnica degli ingegneri militari e ai contatti che mantennero tra loro nei diversi campi dell'attività professionale[7].

L'insieme delle competenze pratiche raccolte nello *Sketchbook* rimanda ad un ambiente professionale poliedrico (Biral e Morachielo, 1985, Magureanu, 2011), caratterizzato dal costante trasferimento della pratica artistica tra ingegneria militare, architettura e scenografia. Dobbiamo considerare, a tal riguardo, l'importanza acquisita in questo ambiente dalla meccanica, ben rappresentata nel repertorio di macchine e strumenti meccanici dello *Sketchbook*: un catalogo di manufatti provenienti da una lunga tradizione di fonti manoscritte con radici eminentemente toscane (Galuzzi, 2005, Lamberini, 2003), tra le quali possiamo trovare riferimenti alla meccanica antica, in particolare ad Archimede e Erone d'Alessandria, considerati grandi referenti nella meccanica del Cinquecento. Ma troviamo richiami anche a Mariano di Jacopo "Il Taccola", a Valturio o a Francesco di Giorgio, così come al *Mechanicorum Liber* di Guidobaldo del Monte del 1577, in cui, secondo alcuni autori, si sarebbe trovato il germe dell "artista-ingegnere" capace, attraverso le conoscenze matematiche, di fare *dell'ars meccanica* una disciplina scientifica (Camerota e Miniati, 2009).

L'architettura militare e la meccanica divennero parte, in questo contesto, dell'attività abituale di un gran numero di professionisti che operavano come scenografi, grazie all'introduzione di macchine complesse negli spettacoli e alla creazione di un sincretismo tra opere e immagini di architettura militare e teatrale (Gamba e Montebelli, 1995; Petroli e Gaeta, 1969). E' ben nota, in tal senso, la grande attività svolta da artisti legati all'ambiente professionale dello *Sketchbook*, come Buontalenti, Giulio Parigi, Remigio Cantagallina, Jacques Callot, Iñigo Jones o Bacio de Bianco. Tutti artisti poliedrici, capaci di muoversi agevolmente tra i diversi campi della scienza e della tecnologia, dando forma a una scuola di scenografia che operò con grande successo nell'Europa del Seicento (Adami, 2009; Gómez, 2017; Adami, 2016; Adami, 1999; Buccheri, 2001). Lo *Sketchbook* raccoglie le testimonianze di questa attività, dedicando diversi testi e immagini alla progettazione di dispositivi tecnici scenografici e incorporando prove visive del sincretismo esistente tra architettura militare e scenografia: la fortificazione bastionata che compare in una delle sue pagine riproduce, ad esempio, lo stesso modello che Giulio Parigi ideò per la scenografia allestita nel giardino di Boboli durante la festa del 1606, qui in Figura 1, mentre la nave che è rappresentata in un'altra pagina del manoscritto rimanda a quelle elaborate da Remigio Cantagallina per la scenografia di uno degli Intermezzi de *Il Giudizio di Parigi*, rappresentato nel 1608 a Firenze.

In questo contesto, l'ampia sezione dello *Sketchbook* dedicata alle macchine di artiglieria e agli strumenti pirotecnici per uso militare e festivo merita un capitolo a parte. Per la sua presentazione teorica si utilizza lo spagnolo al posto anziché l'italiano, questione che farebbe pensare a una probabile ispirazione a Francesco Tensini, attivo al servizio della Corona Spagnola o ad alcuni dei trattati di artiglieria che ingegneri spagnoli come Lázaro de la Ysla, Luis Collado, Julio Césa Firrufino, Cristóbal Lechuga, Diego de Álava y Viamont, Andrés García de Cespedes e Diego Ufano

avevano già pubblicato a quel tempo e che erano diventati testi di uso abituale tra gli ingegneri dell'epoca, soprattutto tra quelli che avevano servito la Corona Spagnola nelle Fiandre (Gómez, 2019). Le loro immagini, come le altre che compongono il manoscritto, mostravano una perfetta ibridazione tra disegno e architettura militare, mettendo in pratica gran parte delle risorse grafiche che caratterizzavano gli artisti che operavano attorno alla scuola di Giulio Parigi, contraddistinti da un particolare *stile* di rappresentazione del paesaggio che sarebbe poi diventato il comune denominatore del compendio di immagini di ingegneria militare, tecnica e meccanica del manoscritto.

Conclusioni

Lo *Sketchbook* è un interessante caso di studio che permette di conoscere le competenze di ingegneria pratica che erano diventate necessarie per esercitare la professione di ingegnere nei primi decenni del Seicento, mettendo davanti ai nostri occhi la figura di uno specialista politecnico, la cui formazione permetteva di operare nei più svariati campi dell'ingegneria civile e militare, la scenografia, il disegno e la pittura, la costruzione di macchine, e così via.

Inoltre, lo *Sketchbook* fornisce preziose informazioni sul ruolo svolto dalla scuola fiorentina e dai suoi centri d'insegnamento nella diffusione e codifica dei modelli, nonché sul processo di ibridazione tra arte, scienza e tecnica prodotto grazie al lavoro congiunto di artisti che seppero padroneggiare competenze diverse.

Bibliografia

Adami G. 1999. L'ingegnere-scenografo e l'ingegnere-venturiero. Le macchine e le scene di Francesco Guitti ideate per il torneo La Contesa, Ferrara, 1631. In: *Barocke Inszenierung. Akten des Internationalen Forschungscolloquiums an der Technischen Universität*, 159-185. Zürich: Imorda.

Adami G. 2009. Tra guerra e teatro: scienza e tecnologia militare al servizio dello spettacolo nell'Europa di Antico Regime. Biblioteca Teatrale - Rivista trimestrale di studi e ricerche sullo spettacolo, 89-90; 13-45.

Adami G. 2016. Between Tradition and Innovation. Reconsidering Florentine Stage Machinery of the Seventeenth Century in the Light of the Furttenbach *Codex iconographicus 401"*. In: *Technologies of Theater. Joseph Furttenbach and the Transfer of Mechanical Knowledge in Early Modern Theater cultures* (a cura di J. Lazardzig e H.E. Röbler), 417-435. Frankfurt and Main: Klostermann.

Baldinucci F. 1768. *Cominciamento e progresso dell'arte del intagliare in rame, colle vie di molti de'più ecellenti maestri della stessa professione*. Firenze: Gio. Battista Stecchi e Anton-Giuseppe Pagani.

Baldinucci F. 1808-1812. Notizie de' professori del disegno da Cimabue in qua, opera di Filippo Baldinucci fiorentino Accademico della Crusca, con note ed aggiunte. In: Baldinucci F. *Opere*, 13 voll. Milano: Società Tipografica de' Classici Italiani.

Baroni A. 2009. A scuola d'incisione da Giulio Parigi a Remigio Cantagallina. Paragone, 3, 88-94.

Bartoli L. 1986. Argomenti di architettura e arte militare nei trattati di Giulio Parigi. In: *Atti del Convegno di Studi Architettura militare nell'Europa del XVI Secolo* (a cura di C. Cresti, A. Fara e D. Lamberini), 390-460. Siena: Periccioli.

Biral A., Morachiello P. 1985. Immagini dell'ingegnere tra Quattro e Settecento. Filosofo, soldato, politecnico. In: *Repertorio bibliografico* (a cura di A. Manno). Milano: Franco Angeli.

Blumenthal A. 1984. *Giulio Parigi's state design. Florence and the early baroque spetacles*. New York: New York University.

Buccheri A. 2001. Il ruolo della scenografia da Bernardo Buontalenti a Giulio Parigi. In: *Storia delle Arti in Toscana*, vol. V, *Il Seicento* (a cura di Mina Gregori). Firenze: Cassa di Risparmio di Firenze.

Calisi D. 2019. Ludovico Cardi Said "Il Cigoli". Practical Treaty of Perspective: Innovative Aspects and Intuitions". Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics (a cura di L. Cocchiarella), 1870-1881. Berlin: Springer International Publishing.

Camerota F. 1995. Ammannati e la prospettiva architettonica. Atti del convegno di Studi su Bartolomeo Ammannati, 247-253. Firenze: Alinea.

Camerota F. 2006. *La prospettiva del Rinascimento. Arte, architettura, scienza*. Milano: Mondadori Electa.

Camerota F., Miniati, M. (a cura di). 2009. *The Medici and the Sciences. Instruments and Machines in the Grand-Ducal Collections*. Firenze: Giunti.

Camerota F. 2010. *Linear Perspective in the Age of Galileo. Lodovico Cigoli's Prospettiva pratica*. Firenze: Leo O. Olschki.

Camerota F. 2013. Il prospettografo del Cigoli tra pratica dell'arte e collezionismo scientifco. Paragone, LXIV, Terza serie, 108, 3-17.

Ceccarelli M., Cigola M. 2006. Rappresentazione ed analisi di macchine e mecanismo nella trattatistica tecnica dal XV al XVII secolo. Atti del 1º Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 8-9 marzo 395-402.

Fara A. 1998. *Bernardo Buontalenti. L'architettura, la guerra e l'elemento geometrico*. Genova: Sagep editrice.

Fossi M. (a cura di). 1970. *La Città. Appunti per un Trattato*. Firenze,:Offizina Edizioni.

Fossi M. 1975. *Il Taccuino dei Parigi*. Firenze: Gonnelli.

Galuzzi P. 2005, Machinae pictae. Immagine e idea della macchina negli artista-ingegneri del Rinascimento. Atti di Machina. XI Colloquio Internazionale. Roma, 8-10 gennaio. Firenze: Leo. O. Olschki.

Gamba E., Montebelli V. (a cura di). 1995. *Macchine da teatro e teatri di macchine: Branca, Sabbatini, Torelli scenotecnici e meccanici del Seiscento*. Catálogo della mostra. 13-16. Urbino: Quattroventi.

Giovannozzi V. 1933. Ricerche su Bernardo Buontalenti. Rivista d'Arte, XV, 326-327.

Gómez C. 2017. La retórica del ingenio. Imágenes de invención, entre el arte militar y la escenografía. Drammaturgia, XIV(4), 53-78.

Gómez C. 2019. La moderna invención de la máquina pirotécnica, o cómo exhibir la nueva cultura técnica a través del espectáculo mecánico. Bulletin of Spanish Visual Studies, 3(2), 1-15.

Ilari V. 2012. Tra bibliografia ed epistemologia militare. Introduzione allo studio degli scrittori militari italiani dell'età moderna. Rivista di Studi Militari, 1, 135-164.

Lamberini D. 1998a. Cultura ingegnieristica nel Gran Ducado de Toscana. In *Giambattista Aleotti e gli ingegneri del Rinascimento* (a cura di A. Fiocca), 293-308. Firenze: Leo O. Olschki.

Lamberini D. 1998b. Funzione di disegni e rilievi delle fortificazioni nel Cinquecento. In: *L'Architettura militare veneta del Cinquecento*, 48-61. Milano: Electa.

Lamberini D. 1990. *Il príncipe difeso. Vita e opere di Bernardo Puccini*. Firenze: La Giuntina.

Lamberini, D. 2003. Machines in perspective. Technical drawings in unpublished treatises and notebooks of the Italian Renaissance. In: Treatis in perspective. Whashington: National Gallery of Art, 213-233.

Lamberini D. 2004. Two projects. Sketchbook on military architecture and the Frederick Hartt papers". In: *Center 24. National Gallery of Art Center for Advanced Study in the Visual Arts*, 106-110. Whashington: National Gallery of Art.

Lamberini D. 2005. Disegno tecnico e rappresentazione prospettica delle macchine nel Rinascimento. Bollettino Ingegneri, 7(3), 3-10.

Lamberini D. 2007. *Il Sanmarino. Giovan Battista Belluzzi. Architetto militare e trattatista del Cinquecento*. Firenze: Leo S. Olschki.

Lorini B. 1597. *Delle Fortificationi*.Venezia: Rampazetto.

Magureanu I. 2011. Bacio del Bianco and the cultural politics of the Medici Court. Revue Roumaine d'Histoire de l'Art: Série Beaux-Arts*,* 48(1), 13-26.

Molteni E., Pérez Negrete A. 2018. L'esperienza di guerra nella formazione degli architetti e ingegneri militari nell'età moderna. Proceedings of International Conference Defensive Architecture of the Mediterranean (a cura di A. Marotta y R. Spallone), VII, 165-172. Torino: Politecnico di Torino.

Negro Espina A. 1983. *Giulio Parigi e gli incisori della sua cerchia*. Napoli: Società editrice napoletana.

Panichi R. 1914. Giulio Parigi, Jacopo Callot, Stefano della Bella: mostra di disegni e stample agli Uffizi. Rassegna d'Arte antica e moderna, 1(14), 33-45.

Petroli A., Gaeta G. (a cura di) 1969. Feste e apparati medicei da Cosimo I a Cosimo II, mostra di disegni e incisioni. Gabinetto disegni e stampe degli Uffizi. Cataloghi, 31, 127-191. Firenze: Leo. O. Olschki.

Profumo R. (a cura di). 1992. *Trattato pratico di prospettiva di Ludovico Cardi detto il Cigoli*. Manoscritto Ms 2660 del Gabinetto dei Disegni e delle Stampe degli Uffizzi. Roma: Bonsigonre Ed.

Promis C. 1874. *Biografie d'ingegneri militari italiani dal sec. XIV alla metà del XVIII*. Torino: Fratelli Bocca.

Romby G.C. (a cura di). *2007. Architetti e ingegneri militari nel granducato di Toscana. Formazione, professione, carriera.* Firenze: Gangemi editore.

Scibilia F. 2007. Geometria e architettura militare. In: *La biblioteca dell'architetto. Libri e incisioni (XVI-XVIII secolo) custoditi nella biblioteca centrale della regione siciliana* (a cura di S. di Fede e F. Scaluto), 61-89. Palermo, Edizioni Caracol.

Segreto V. (a cura di). 2019. Libri e album di disegni, 1550-1800. Nuove prospettive metodologiche e di esegesi storica. Roma: De Luca editori d'arte.

Turner N. 1986. *Florentine drawings of the seventeenth century.* Cambridge and New York: British Museum-Cambridge University Press.

Wazbinski Zygunt. 1987. L'Accademia medicea del disegno a Firenze nel Cinquecento. Idea e istituzione. Firenze: Leo. S. Olschki editore.

Note

1. Library of Congress (LOC), Lessing J. Rosenwald Collection, Ms. 27; http://hdl.loc.gov/loc.rbc/rosenwald.1363.
2. "Problemi di geometria applicata aile fortificazioni militari, con disegni a penna. Bibliothèque nationale de France (BNF), Département de Manuscrits, Italien 468, https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b10035228g. "Disegni (a penna e acquerelli) d'architettura di Bernardo Bontalenti", Bibliothèque nationale de France (BNF), Département de Manuscrits, Italien 1292; https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b100368120.
3. Il documento, inizialmente attribuito al Buontalenti, è stato più tardi identificato come opera di Giulio Parigi a partire dall'identificazione del nome dell'artista, scritto con la sua grafia, accompagnato del disegno di una fonte rappresentata nella tabella 56 del foglio 31.
4. Ottavio Piccolomini, Duque di Amalfi, il Marchese Alessandro dal Borro, il Marchese Sant'Angiolo, Ludovico Incontri, Annibale Cecchi, Cammillo del Monte, il Marchese della Stufa, Cesare Antognacci o il marchese Geri della Rena.
5. Il corpus appartiene alla Biblioteca Riccardiana di Firenze, Edizioni rare, 120.
6. L'immagine di copertina, accompagnata dal dittico di Catón Fronte Capillata, post est ocassio calva (Catón, Disticha Moralia, 2,26) è stata utilizzata nel Rinascimento come marca di stampa. Pierre Rigaud (1558-1631) lo riproduce in Problemi plaisants et delectables (Lione, 1612), di Claude Bachet, dedicato alle questioni aritmetiche. E 'stato utilizzato anche da altri stampatori della metà del Cinquecento, specialmente alla fine di questo secolo e l'inizio del Seicento, come emblema dell'Occasione.
7. Ammannati e Lanci, ad esempio, si sono incontrati a Siena tra il 1559-61, l'uno per costruire gli archi trionfali per l'ingresso di Cosimo I e l'altro per lavorare alla fortificazione. Lanci lavorò anche come scenografo a Firenze nel 1559.

Ilaria Giannetti

Ingegneria dell'emergenza: ponti portatili "made in Italy" (1876-1945)

Abstract
In the framework of international history of temporary bridges for military and emergency use, Italian engineering brings an original contribution, focused to the development of the metal portable structures. Since late 1880s to World War II, the portable bridge, featured by lightness, transportability and easy assembly procedure, was the subject of a unique experimentation in order to improve the typology by national inventions and adaptations of foreign models. The development of novel construction methods and original structural solutions proposed, during time, by different actors, traced an original story. In the 1880s, the introduction of portable bridges, facing railway fast construction and modern war needs, was the occasion for the daring technical and commercial comparison between the Italian inventions of the engineer Alfredo Cottrau (1839-1898) and the ones of the French Gustav Eiffel (1832-1923). Then, at the turn of the century, the "Eiffel system", adopted by the "Genio Ferrovieri" and produced by the Italian firm "Officine Nazionali di Savigliano", was gradually transformed form the French invention into an Italian product, enriched by original structural characters and novel construction procedures. Lastly, during the World War II, the "Italian-ization" of foreign types was successfully addressed to most established standard typologies with "unusual methods": proposed by local artisanal knowledge Italian this procedures, discovered to be effective in construction time and structural performance, have been coded in American manuals. The study was carried out in the framework of the research project "SIXXI – 20th Century Structural Engineering: the Italian contribution" (Erc Adv. Grant, PI S. Poretti, T. Iori, University of Rome "Tor Vergata") and is based on primary documental sources of military historical archives (ISCAG, Ufficio Storico SME).

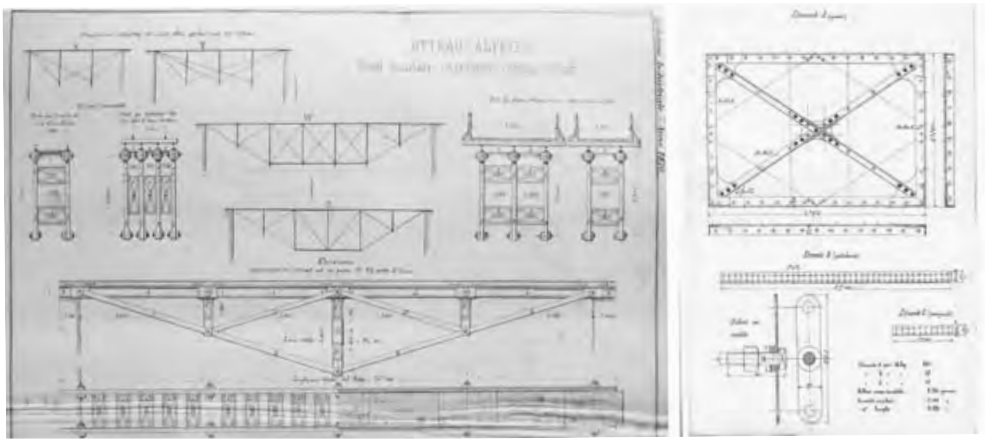
Introduzione
Attraverso lo sviluppo dei ponti portatili, scomponibili, costituiti da elementi metallici, questo contributo racconta una storia italiana nella storia internazionale dell'ingegneria militare e dell'emergenza. Dalla sua prima diffusione negli anni '80 del XIX secolo al suo più esteso impiego militare nei conflitti del XX secolo, il ponte metallico scomponibile e portatile rappresenta, infatti, in Italia, l'oggetto di una efferve-

scente ricerca strutturale e costruttiva dalla quale scaturiscono invenzioni nazionali e ingegnosi adattamenti dei più conosciuti ed efficienti sistemi stranieri. La vicenda è ricostruita, nelle pagine che seguono, in un racconto in tre episodi: l'avventuroso confronto, tecnico, costruttivo e commerciale, tra i "*ponti istantanei* dell'ingegnere napoletano Alfredo Cottrau (1839-1898) e i "*ponts portatif*" di Gustav Eiffel (1832-1923), negli anni '80 del XIX secolo, le varianti italiane del sistema Eiffel, adottato dal Genio Ferrovieri e prodotto, al volgere del secolo, dalle Officine Nazionali di Savigliano e, infine, l'adattamento, in campagna, dei più affermati ed efficienti sistemi tedeschi e alleati, nel teatro del secondo conflitto mondiale (1943-1945).

Cottrau vs Eiffel

Il 30 giugno 1876, l'ingegnere napoletano Alfredo Cottrau (Carrughi, 2003) deposita un brevetto dal titolo "*Ponti militari istantanei*"[1]. Il brevetto, che risponde alla necessità di rapidi ripristini degli attraversamenti pedonali e ferroviari, protegge un sistema di ponte metallico "pronto all'uso", rapido da montare e smontare, e sufficientemente resistente per il passaggio delle truppe e del treno. Il testo dell'invenzione descrive una struttura che, composta di 7 tipi di pezzi principali e pochi altri minuti elementi di connessione (quali bulloni, chiavarde e coprigiunti), si adatta alla rapida e intuitiva realizzazione di travate di luci diverse, da allestire senza l'ausilio di pile provvisorie. In particolare, tra i principali, sei elementi sono ferri piatti che, variamente forati alle estremità per essere giuntati da bulloni e chiavarde, formano una capriata inversa posta inferiormente al piano stradale. Il settimo elemento, contraddistinto dalla lettera G come mostrato in Figura 1a, è un telaio a croce che costituisce l'irrigidimento trasversale. I sette pezzi fondamentali della struttura, tutti di dimensioni contenute, si assemblano a terra formando travi di lunghezza diversa, pronte per il montaggio. La tavola allegata alla descrizione, in Figura 1a, mostra, quindi, la serie di possibili configurazioni della trave adatte alla realizzazione di attraversamenti per scopi diversi, "ponti per ferrovie ordinarie e a scartamento ridotto" e "ponti stradali per vie a una o più corsie". Pochi mesi dopo la sua registrazione, il brevetto è commentato nella sezione notizie della rivista L'Ingegneria civile e le arti industriali: il testo, che riporta l'invenzione di Cottrau all'idea madre della trave rinforzata in più punti della sua lunghezza *"da saette verticali tra loro collegate da tiranti obliqui*" (Cottrau, 1876) aggiunge alle informazioni già esposte nel brevetto la quantificazione delle diverse luci che il "ponte istantaneo" è in grado di superare (6 m, 12 m, 18 m, 24 m, 30 m e 48 m). Nel 1878, l'invenzione di Cottrau, già validata in Italia, si fa conoscere in Francia dove, mostrata con un modello di ponte costruito *al quinto del vero* (Cottrau, 1884), ottiene la medaglia d'argento dell'Esposizione Nazionale di Parigi.

Due anni più tardi, nel 1881, l'ingegnere-costruttore francese Gustav Eiffel brevettata il suo "*Système de ponts de portées variables formées par la juxtaposition*



a) *b)*

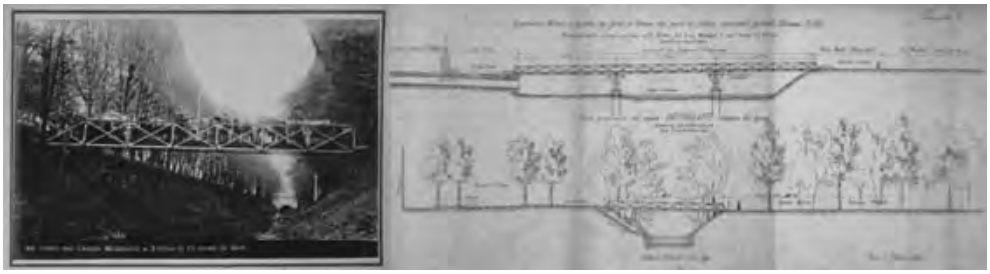
Fig. 1 – A. Cottrau: a) tavola del brevetto "ponti istantanei" (1876), b) tavola del brevetto "ponti politetragonali" (1884). Archivio Storico ISGAG.

*d'*éléments *semblables*"[2]: il brevetto è registrato in Italia pochi mesi più tardi, nel 1882. La patente protegge un ingegnoso sistema modulare costituito da un solo elemento di base: un triangolo isoscele che, composto di angolari in ferro, si assembla ad altri moduli, identici, a mezzo di poche chiavarde. I triangoli, secondo il disegno allegato al testo dell'invenzione, si dispongono, per formare le travi, l'uno accanto all'altro, sfalsati di mezzo modulo, ovvero capovolti e sovrapposti in altezza per costruire più resistenti travi multipiano. Il sistema, ispirato alla geometria di Cottrau, presenta migliori prestazioni in termini di rapidità, semplicità di assemblaggio e resistenza: l'ingegnere napoletano, pur rivendicando l'idea originaria, intuisce da subito le concrete potenzialità di applicazione del sistema francese e, "*senza inutili polemiche*" (Barosso, 1995), acquista i diritti della privativa Eiffel, divenendone il concessionario italiano con la sua Impresa Industriale di Costruzioni Metalliche, la IICM (Iori e Poretti, 2014).

In seguito al deposito del brevetto di Eiffel e in vista dell'Esposizione Generale Italiana di Torino del 1884, Cottrau, deciso a non abbandonare il suo ruolo di ingegnere-inventore, si cimenta nella definizione di un nuovo sistema da presentare pubblicamente in Italia. Così, il 21 maggio 1884, registra il brevetto per un secondo tipo di ponte portatile, completamente rinnovato rispetto al modello del "ponti istantaneo", del 1876. Il nuovo sistema, detto *"*Ponti politetragonali portatili di luce, larghezza e robustezza variabili*"*, prende il nome dalla geometria del pezzo principale che, contraddistinto con la lettera A (come mostrato in Figura 1b), è un telaio rettangolare detto appunto "*quadro*". L'intera struttura è costituita dal *quadro*

associato a sole due ulteriori componenti B e C, mostrate sempre in Figura 1b, a mezzo di bulloni e rondelle[3]. L'elemento A, il *quadro*, è un telaio rettangolare di dimensioni 1,250 m · 1,875 m, controventato da una croce di Sant'Andrea e costituito da elementi angolari in acciaio dolce: gli angolari sono disposti in modo che una faccia dell'elemento sia perfettamente liscia e sono opportunamente forati lungo il loro perimetro per permettere la bullonatura di due elementi adiacenti sia lungo i lati maggiori che lungo quelli minori. In questo modo, gli elementi A possono essere alternativamente disposti "*verticali*" o "*coricati*", realizzando efficacemente travi di lunghezza diversa con lo stesso numero di pezzi. A questi elementi si associano, quindi, le piattabande B e i coprigiunti C: entrambi costituiti da ferri piatti, questi ultimi elementi, presentano sezione e bucature costanti e lunghezza variabile, direttamente dipendente da quella delle travate. Infine, a suo complemento verso il più ampio paesaggio della costruzione ferroviaria, l'invenzione di Cottrau prevede la possibilità di adattare la struttura al superamento di "*vallate profonde e imponenti*", attraverso la costruzione di "*pile a torre*", realizzate con gli stessi elementi che compongono le travate e la conveniente possibilità di trasformare le travate da "*provvisorie*" a "*permanenti*", attraverso la sostituzione delle chiavarde con chiodi "*ribaditi a caldo durante la fase di esercizio*".

Il sistema, protetto dal brevetto, è prontamente esposto nel padiglione della IICM all'Esposizione Generale di Torino a confronto con un ponte tipo Eiffel. Nel frattempo, infatti, in vista dell'Esposizione, la Maison Eiffel intenzionata a promuovere il brevetto del 1882 in Italia, aveva offerto al comune di Torino la realizzazione di un prototipo dimostrativo sul Canale Michelotti (Barosso, 1995) e Cottrau, venuto a conoscenza dell'iniziativa, aveva fatto valere i suoi diritti di concessionario e, requisito il materiale Eiffel, appena allestito nelle forme di una trave di 21 m come mostrato in Figura 2a, lo aveva trasferito nel recinto dell'Esposizione, al fianco del suo "politetregonale".



a) *b)*

Fig. 2 – Ponti smontabili Sistema Eiffel: a) prove sul Canale Michelotti (1884), Fotografia di A. Mauri; b) schemi delle prove sul Canale Michelotti e sulla Dora (1889). ISGAG.

Una serie di "*pubblici esperimenti*"[4] per il confronto tecnico dei due sistemi si avviano, così, sotto gli occhi del pubblico della fiera che si conclude, però, con un apparente *ex aequo*: in chiusura dell'esposizione al prototipo di Cottrau è assegnato il Diploma di Onore, il più alto riconoscimento della manifestazione torinese, mentre il prototipo Eiffel è acquistato dalle Ferrovie per l'Alta Italia.

Durante i giorni dell'Esposizione, per dimostrare la validità del modello "politetragonale" tanto agli usi militari quanto a quelli civili, Cottrau collauda sperimentalmente il materiale anche sul fiume Sarno, sotto i più attenti sguardi dei tecnici del Ministero della Guerra, la direzione Ponti e Strade del Genio Civile e le Società ferroviarie più importanti[5]. Il 24 agosto 1884, il materiale è allestito per la realizzazione di una trave di 20,65 m di luce, gettata a valle del ponte della ferrovia Castellammare-Napoli, e costituita da 58 elementi di tipo A, 16 elementi di tipo B e 16 elementi di tipo C, tenuti insieme da 1340 bulloni. Come mostrato nelle immagini in Figura 3a e 3b, dei 58 elementi A, 36 sono disposti "alzati", ossia con il lato maggiore verticale, formando le due travi maestre, 18 "coricati" normalmente alle travi principali, a costituire i "travicelli" dell'impalcato, e 4 sono disposti orizzontalmente al piede delle travi maestre, funzionando come "controventi"; superiormente ai "travicelli" sono, poi, poste due longarine di quercia, a sostegno del binario della ferrovia. Le travate così allestite sono caricate con 7900 kg in mezzeria, grazie a due carrelli e 16 persone; lo stesso carico è poi uniformemente ripartito, con la posa di 86 rotaie di 6,5 m, con una massa per unità di lunghezza pari a 36 kg/m, mentre gli sforzi generati nelle briglie sono rilevati con 4 micrometri di Castigliano, strumenti per misurare gli allungamenti e gli accorciamenti prodotti dai carichi nelle costruzioni metalliche. La prova si conclude con successo e si procede allo "svaramento": le travate sono raddoppiate in lunghezza, attraverso la giustapposizione di moduli aggiuntivi sulla sponda del fiume verso Torre Annunziata per potere spingere il ponte, su quella sponda, senza l'ausilio di alcuna struttura temporanea[6].

Una seconda prova sullo stesso materiale è effettuata a Castellammare di Stabia, nei pressi dello stabilimento della IICM, sul canale Scifone, affluente del fiume Sarno. La prova ha l'obiettivo di testare, alla presenza del Genio Militare, l'effettiva semplicità e rapidità delle operazioni di montaggio e smontaggio: la trave, di 18,5 m di luce, è più volte montata e smontata, "varata" e "svarata", dimostrando come il tempo di assemblaggio si possa sensibilmente ridurre a ogni successiva operazione, addestrando i manovali alle operazioni: fino ad arrivare al "record" di 17 minuti per il montaggio e 12 per il varo. In seguito alle prove, il peso dell'elemento A, inizialmente pari a 100 kg, è ridotto di 4 kg, per favorirne il trasporto "*a sole quattro braccia*", come mostrato in Figura 3c. I risultati delle prove sono accolti con successo dai tecnici e, corredati dalle pionieristiche fotografie del "reporter" dell'impresa Achille Mauri in Figura 3, sono pubblicati in prima stampa sul numero di novembre di "Nouvelles annales de la construction" (Cottrau, 1884a) e, a seguire, sui maggiori periodici europei[7].

a) *b)* *c)*

Fig. 3 – A. Cottrau: ponti "Politetragonali", prove sul Sarno con moduli "A" "verticali" (a), e "coricati" (b), e test di trasporto dell'elemento "A", di massa 96 kg (c). Fotografie di A. Mauri.

Nel frattempo, una piccola serie di ponti, più impegnativi dei prototipi per i "pubblici esperimenti", è promozionalmente allestita dalla IICM in Italia per dimostrare l'efficacia del modello in esercizio anche come attraversamento ferroviario: in pochi mesi sul Sarno è gettato, per conto delle Ferrovie Meridionali, un ponte di 26 m di luce, mentre a Torino, sulla Dora Baltea, per conto del Municipio, è allestito un ponte a due campate di 54 m di lunghezza ciascuna[8]. Poi, mentre il Governo ordina un ponte "*sbarcatoio*" per Assab da realizzare in 7 campate (Cottrau, 1884b), per una lunghezza complessiva di 167 m, attraverso l'accostamento di moduli "coricati" combinati con speciali pile formate da tubi metallici, Cottrau progetta l'imponente prototipo da allestire all'Esposizione Universale di Anversa (1885) per dimostrare l'efficacia delle pile, di grande altezza, che completano il suo sistema e testa l'ulteriore potenziale impiego della sua invenzione come "ponte di servizio" per la realizzazione del ponte in ferro da gettarsi sul fiume Albenga in provincia di Grosseto (Cottrau, 1884b).

Il "Sistema Eiffel"

Nel 1885, l'ingegnere Francesco Boubè, discute il sistema Cottrau nel confronto con quello di Eiffel in una "memoria originale" (Boubèè, 1885). Lo scritto, depurato dalla sua "faziosità" legata al fatto che Boubèè è direttore tecnico dell'impresa IICM, riporta una puntuale disamina tecnica dei due sistemi. Del sistema Eiffel, "*i cui pregi sono in verità tutti relativi*", Boubèè non può che apprezzare l'effettiva "*maneggiabilità*" dei pezzi e la rapidità di assemblaggio dovute all'esiguo numero di collegamenti da realizzare in opera e innegabilmente inferiore a quelli necessari per l'allestimento di una trave del modello Cottrau: se, per un ponte di 21 m di luce del tipo Eiffel, scrive Boubèè, sono necessari 158 bulloni per un tipo Cottrau della stessa luce ne servono 3670. Per contro, il sistema francese è considerato "*difettoso*" perché convenientemente applicabile solo per il superamento di luci molto contenute, con un massimo di 24 m, e, ancor peggio, il sistema presenta una "*limitazione di*

resistenza", cioè una resistenza che non può essere variata in funzione dei carichi a parità di luci. In conclusione, il ponte Eiffel che non si può non ritenere adatto al passaggio delle armate per la sua effettiva trasportabilità e semplicità di allestimento, è, secondo Boubéé, escluso dall'impiego come ponte ferroviario, per il quale l'autore della memoria ritiene più adatto il sistema Cottrau.

Il sistema Eiffel è analizzato anche sulle pagine della "Rivista di Artiglieria e Genio", dove l'imparziale capitano del Genio Enrico Rocchi pubblica una esaustiva memoria sulle effettive prestazioni degli attuali modelli di ponti metallici smontabili, in vista di una loro concreta adozione in seno all'Amministrazione Militare (Rocchi, 1885)[9]. La memoria, che analizza il modello Cottrau e il modello Eiffel insieme al sistema brevettato del comandante Marcille, riporta l'effettiva convenienza del sistema Eiffel per gli usi militari, ritenendo come ineludibile limitazione all'uso del Cottrau l'ingentissimo numero di collegamenti da realizzare in opera in fase di montaggio (Rocchi, 1885). La discussione continua sulle pagine della stessa rivista con una memoria a firma di Vicenzo Riviera che riporta, in epilogo, l'opportunità di modificare il sistema Eiffel "*prescelto*" da Rocchi, allo scopo di raggiungere l'*optimum* della tipologia, negli usi di guerra, per i ripristini stradali: il ponte "Eiffel modificato Rivera", di 35 m di luce, che permette il passaggio di tutte le Armi attraverso la sola alterazione dimensionale dei moduli triangolari, che dallo standard di 6 m · 1,5 m di altezza sono portati a 5 m · 2 m di altezza e realizzati con angolari da 10 mm, invece che da 9 mm (Riviera, 1885)[10]. La convenienza della variazione, che permette migliori caratteristiche di resistenza alle stesse condizioni di "*leggerezza, rigidità, facilità di composizione e gittata*" proprie del sistema originario, è opportunamente rappresentata dalle tabelle che, in calce alla memoria, dimostrano la superiorità di resistenza dell'Eiffel modificato, anche sul tipo Cottrau.

Il sistema Eiffel originale è nel frattempo testato su prototipi fisici, offerti dalla Maison all'Amministrazione Militare per l'addestramento degli Ufficiali e delle Truppe del Genio. Le prove, in programma a Torino, prevedono i test su una campata isolata di 27 m di luce, che dovrà essere lanciata sul Canale Michelotti, e su un secondo ponte, di tre campate ciascuna della luce di 21 m, da gettare sulla Dora, tra S. Pietro in Vincoli e Mondovì, a monte dell'Arsenale di Costruzione di Artiglieria, in Figura 2b. Come dettagliatamente riportato nella Relazione manoscritta dai capitani del IV Reggimento del Genio della Brigata Ferrovieri[11] che si occupano di eseguire le prove, il programma prevede il varo della prima campata l'11 febbraio 1889 e, nella stessa giornata, la successiva prova di "*collaudo*" con il passaggio di tutte le Armi (Boubéé, 1885). Il giorno seguente, il 12 febbraio, si sarebbero invece "*lanciate*" le tre campate sulla Dora, previo allestimento dei sostegni lignei ed eseguiti i test in esercizio. Così, l'11 febbraio una squadra di 50 uomini, divisi in 4 gruppi da 12, 6 portatori e 6 "*collocatori di chiavarde*", si riunisce alle 8.30 del mattino sulle sponde del Canale Michelotti. Concluso lo scarico del materiale dai carri, alle 10 in punto,

sotto la supervisione di due Ufficiali, i montatori avviano l'allestimento delle travate sulla sponda: si monta dal centro verso le estremità e, in una sola ora, le travate sono completamente composte. Si collocano, quindi, i "rulli" per il varo e si inizia il "lancio": raggiunto uno sbalzo di 21 m, si avvia la discesa dell'*avanbecco*, il rostro temporaneo, caricando contemporaneamente il contrappeso, costituito dalle tavole dell'impalcato, temporaneamente accatastate in coda al ponte. A questo punto, però, le travate, poste come indicato dalla Maison solo su due rulli, divengono difficili da movimentare e, sospese nel vuoto, cominciano a inflettersi sensibilmente, tanto da dovere scavare la sponda di arrivo per permetterne l'appoggio. Ciononostante, il varo si conclude "senza danni", in meno di tre ore dall'avvio delle operazioni. Così, allestito l'impalcato, alle 12 e 55 inizia il passaggio delle Armi per il "collaudo" del ponte in esercizio. Nonostante il ponte dimostri un ottimo comportamento, il disagio riscontrato in fase di varo, con la conseguente pericolosa inflessione delle travate, rende necessarie alcune osservazioni del Genio per la modifica del materiale: si decide di raddoppiare i rulli di scorrimento e di aumentare sensibilmente la lunghezza dell'*avanbecco*, rispetto a quella del modello originale.

La seconda prova, prevista per il giorno successivo, consiste nel più complesso allestimento del ponte a tre campate: la Maison Eiffel, con l'intenzione di testare il modello come una unica trave rigida su più appoggi, aveva implementato il consueto materiale con alcuni moduli speciali "rinforzati", per fare fronte alle maggiori sollecitazioni di taglio in corrispondenza dei supporti. Inoltre, per velocizzare il montaggio, la Maison suggeriva di abolire l'impiego dell'*avanbecco* durante il montaggio. La mattina del 12 febbraio, la stessa squadra di 50 uomini è pronta ai test del più impegnativo prototipo. Si comincia allestendo un primo tratto di trave, di 36 m, a saturare lo spazio disponibile sulla sponda e se ne avvia il varo fino allo sbalzo di 15 m. Così, sull'area della sponda rimasta sgombra, è possibile continuare a comporre la trave fino alla lunghezza di 51 m, utile a raggiungere i rulli di scorrimento posti sul primo sostegno. Durante il varo della successiva campata, però, la trave si inflette sensibilmente e per raggiungere il secondo sostegno deve essere notevolmente alzata. E così per la terza. Alle 14, il ponte è completamente varato e, per raggiungere la quota di esercizio, occorre solo abbassarlo, rimuovendo i rulli di varo. Durante l'operazione, un rumore sordo cattura l'attenzione degli Ufficiali: le piattabande superiori degli elementi speciali "rinforzati" sono irrimediabilmente fratturate in due punti. Sospese le operazioni per riparare i guasti, si avvia lo studio delle cause della rottura. Scartata l'ipotesi della irregolarità del varo, gli Ufficiali del Genio focalizzano la causa nel rischioso "varamento" senza *avanbecco,* suggerito dalla Maison, e nella presenza degli elementi speciali "rinforzati" che, nel muto scambio di sollecitazioni che avviene in fase di varo tra la piattabanda inferiore, temporaneamente in compressione, e la piattabanda superiore, si trovano, per la loro maggiore rigidezza, "*quasi da soli a sostenere lo sforzo d'inflessione*". Così, mentre per le riparazioni, il

giorno 15 febbraio, arriva a Torino, da Parigi, un Ufficiale della Maison per assistere alla sostituzione degli elementi fratturati, dall'incidente scaturisce la codifica di una nuova "manovra italiana" che rende obbligatorio l'ausilio dell'*avanbecco* e, obbliga, per ponti a più campate, l'esclusivo, più sicuro, allestimento di strutture "indipendenti", realizzate con gli elementi standard. Inoltre, le difficoltà riscontrare nell'abbassamento delle travate innescano il progetto di nuovi dispositivi di scorrimento e movimentazione, costituiti da rulli combinati a "martinelli" idraulici[12].

In seguito alle verifiche di calcolo presentate nelle memorie di Rocchi e Riviera, e ai test di Torino, nel 1894 la Brigata Ferrovieri adotta ufficialmente il materiale Eiffel come il ponte metallico scomponibile in dotazione ordinaria per i ripristini ferroviari: nel manuale a stampa delle "*istruzioni provvisorie*" all'uso[13], il materiale è generalmente descritto come adatto al superamento di luci di 21 m per le strade ordinarie e di luci comprese tra 30 m e 45 m per i ripristini ferroviari. Il sistema Eiffel, presentato nelle istruzioni, è "italianizzato" tanto nelle procedure di montaggio e nel varo, codificate dal Genio, quanto negli elementi costruttivi che, seguendo i suggerimenti pubblicate sulla Rivista di Artiglieria e Genio, risultano opportunamente modificati per adattarsi al superamento di luci più impegnative (Rivera, 1892): i moduli triangolari italiani, composti da membrature più spesse sono alti 2,10 m, hanno una lunghezza standard di 6 m e raggiungono il peso di 218 kg, obbligando l'aggiunta di un terzo uomo per il trasporto.

Al volgere del secolo, mentre con la chiusura della IIICM è abbandonata la produzione del meno fortunato sistema Cottrau, il sistema Eiffel è rilevato dalla Società Nazionale Officine di Savigliano, SNOS. Il modello modificato, messo a punto con le esperienze degli anni '90 e codificato nei manuali del Genio, è così presentato anche nei cataloghi dell'impresa: nel catalogo del 1904 il ponte, descritto come adatto al superamento di luci comprese tra 9 m e 45 m, nella foto in Figura 4a appare

a) *b)* *c)*

Fig. 4 – Ponti smontabili "Sistema Eiffel" nei cataloghi della Società Nazionale Officine di Savigliano (1904-1916). Archivio Storico SNOS, Torino.

Fig. 5 – Ponti smontabili "Sistema Eiffel" per il ripristino del ponte di Pinzano sul Tagliamento (1918). ISCAG.

ulteriormente "modificato" con i moduli triangolari alti 3 m, per adattarsi gli usi ferroviari. Nei cataloghi del 1916, il ponte appare ritratto in opera per l'impegnativo ripristino di un attraversamento ferroviario di 48 m di luce, ulteriormente modificato attraverso il raddoppiamento dei moduli per la composizione di una "doppia trave", come mostrato nelle Figure 4b e 4c. Con lo scoppio della Grande Guerra, il sistema francese si diffonde sul campo, impiegato, nelle sue più ardite variazioni, in ripristini impegnativi come quello del ponte di Pinzano sul Tagliamento in Figura 5.

Epilogo: "unsual methods"

In campagna il modello francese si confronta con nuovi rivali, in particolare l'austriaco Roth-Waagner, ai quali tiene onorevolmente testa, restando dotazione del Genio (Borrelli, 1928) fino all'arrivo, nel secondo conflitto, dei tipi tedeschi e alleati[14]. E qui, nel teatro dell'ingegneria per la Liberazione (Iori e Poretti, 2015), anche i moderni ed efficienti modelli stranieri non sfuggono alla consueta italianizzazione arricchendosi, sul campo, con una serie di efficaci "*unsual methods*" scaturiti dal confronto tra le procedure codificate delle Railway Construction Troops, la brigata ferrovieri del Genio alleato, con il sapere artigianale della manodopera locale (Giannetti, 2015). A conclusione delle operazioni italiane, nei manuali militari del genio americano è così aggiunta un'interssante appendice sui "Bridging Supplements" per descrivere procedimenti alternativi a quello standard, con esisti apprezzabili in campagna. Si annota, ad esempio, come estendere il materiale dei ponti portatili più comuni con elementi di recupero e si descrivono dettagliatamente procedure non ortodosse per il varo delle travate. Tra queste il "varo continuo all'italiana", che prevede di lanciare un treno di travi, irrigidendone la testa per evitare l'allestimento dei rostri temporanei, e "l'allestimento in trincea" che prescrive di montare le travi parete direttamente nella conveniente posizione verticale di varo, iniziando il montaggio dalla parte anteriore e proseguendo fino alla coda, mentre, nel frattempo, se ne avvia anche la movimentazione, sotto il tiro di argani a mano. Così, mentre compaiono

nel linguaggio dei Genieri alleati i neologismi "strutturing" e "centering", usati per codificare procedure inusuali per la stabilizzazione dei viadotti ad archi in muratura, attraverso l'inserimento di *struts*, puntoni, orizzontali e inclinati realizzati con il materiale dei ponti portatili, in particolare i moduli del tipo Bailey, allestiti in forma di supporto, tra i materiali per l'allestimento dei ponti portatili compaiono anche "castelli provvisori" e rostri in "tubo-giunto" Innocenti, marchiando con l'etichetta "made in Italy" l'ingegneria strutturale dell'emergenza.

Ringraziamenti
Lo studio è stato condotto nell'ambito del progetto "SIXXI – 20th Century Structural Engineering: the Italian contribution" (Erc Adv. Grant, PI S. Poretti, T. Iori, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata")

Bibliografia
Carrughi U. 2003. Alfredo Cottrau 1839-1898. L'architettura del ferro nell'Italia delle grandi trasformazioni. Napoli: Electa
Cottrau A. 1876. Ponti militari istantanei dell'ingegnere Alfredo Cottrau, Ingegneria Civile e Arti Industriali, 1876, notizie.
Barosso L. 1995. Un momento di confronto progettuale, tecnologico e imprenditoriale a Torino nel 1884: i ponti portatili di Eiffel e Cottrau. In: Materiali, tecniche progetto: la cultura del progetto nel Piemonte del secondo ottocento (a cura di M. Zorgno). Milano: Franco Angeli.
Iori T., Poretti S. 2014. Fotoromanzo 1. La diffusione del ferro nell'Ottocento. In: SIXXI 1. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia (a cura di T. Iori e S. Poretti). Roma: Gangemi
Borelli R. 1928. Ponti metallici scomponibili, lezioni svolte alla scuola di applicazione d'Artiglieria e Genio. Torino
Boubèè F. 1885. Ponti Metallici Portatili. Cottrau ed Eiffel. Il Politecnico, 17(1), 5-18.
Central Mediterranean Force. 1943. Railway Reconstruction Italy, September 1943-January 1946. Roma: Tipolitografia Ferrovie dello Stato Italiane.
Cottrau A. 1884a. Ponti sistema Cottrau, privativa industriale, Napoli; Ponts portatif. Nouvelles Annales de la Construction, settembre, 130-134; novembre, 162-166.
Cottrau A. 1884b. Ponti "Politetragonali" portatili di luci, larghezza e robustezza variabili (sistema privilegiato Alfredo Cottrau. Manoscritto.
Giannetti I. 2015. Bridging Italy. In: SIXXI 3 - Storia dell'ingegneria in Italia (a cura di T. Iori e S. Poretti). Roma: Gangemi.
Iori T., Poretti S. 2015. Fotoromanzo 4. La ricostruzione. In: SIXXI 2. Storia dell'ingegneria strutturale in Italia (a cura di T. Iori e S. Poretti). Roma: Gangemi.
Riviera V. 1885. I ponti metallici portatili negli usi di guerra. Rivista di Artiglieria e Genio, 1, 376-541.
Riviera V. 1892. Ponti metallici scomponibili pel riattamento delle strade ferrate sistema G. Eiffel. Rivista di Artiglieria e Genio, III, 445-84; IV, 96-117.
Rizzi G. 1895. Cenni sugli equipaggi da ponte e sui ponti metallici scomponibili. Torino: Tipolitografia Giovanni Paris,
Rocchi E. 1885. I ponti portatili e il loro impiego in Campagna. Rivista di Artiglieria e Genio, 1, 67-91; 218-253; 376-541.

Note

1. Attestato di privativa industriale (3 giugno 1876, vol. 17, n. 224) rilasciato, per 6 anni, a datare dal 30 giugno 1876, al signore Alfredo Cottrau, a Napoli, per un trovato ha per titolo: "Ponti militari istantanei, sistema Alfredo Cottrau". Fondo Ufficio Italiano Brevetti e Marchi, Archivio Centrale dello Stato, Roma (da ora ACS, UIBM), fascicoli a stampa (1876, invenzione n. 273 , pp. 508-509).
2. Attestato di privativa industriale (8 febbraio 1882, vol. 27, n. 362) rilasciata, per 6 anni, a datare dal 31 marzo 1882, al signore Eiffel Gustav per un trovato dal titolo: Système de ponts de portées variables formées par la juxtaposition d'éléments semblables, Levallois-Perret. ACS, UIBM, Roma, fascicoli a stampa (1882, invenzione n. 90, pp. 115-116). Il modello è anticipato da un tipo di ponte metallico scomponibile, brevettato da Eiffel nel 1873.
3. Attestato di privativa industriale (21 maggio 1884, vol. 17, n. 224) rilasciato, per 6 anni, a datare dal 30 giugno 1884, al signore Alfredo Cottrau, a Napoli, per un trovato dal titolo: "Ponti militari istantanei, sistema Alfredo Cottrau". ACS, UIBM, Roma, fascicoli a stampa (1884, invenzione n. 565, pp. 693-694). Gli elementi detti A, B e C pesano rispettivamente 100 kg, 47 kg, 10 kg.
4. I prototipi del rispettivo peso di 5500 kg e 4520 kg sono testati rispettivamente con un carico uniformemente distribuito di 12000 kg e di 13750 kg (Boubéé, 1885).
5. Ferrovie Meridionali, Romane e dell'Alta Italia. Assistono alla prova gli ingegneri degli Uffici Tecnici provinciali di Roma e Napoli, e appartenenti Collegio degli Ingegneri della Regia Scuola di Applicazione di Napoli (Boubéé, 1885)
6. Il sistema non ha strutture temporanee di montaggio: il bilanciamento durante il varo avviene, allungando la "coda" delle travi con elementi A aggiuntivi, o sommando un "*contrappeso costituito da un nucleo di uomini*" (Boubéé, 1885).
7. *Cottrau System of portable bridges*, Engineering, 15 agosto, 1884, 161-163; *Cottrau's portable bridges across the river Sarno in Castellammare*, Engineering, 31 ottobre 1884, 399-400.
8. Per una ricostruzione dettagliata dei prototipi realizzati per la città di Torino cfr. (Barosso, 1995).
9. Rocchi conviene sulla possibilità di usare il modello Cottrau per i ripristini stradali di luce inferiore ai 40 m (Rocchi, 1885).
10. Sovraccarico massimo di 450 kg al metro lineare (Rocchi, 1885).
11. Archivio Storico Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio, Roma, *Esperienze coi Ponti trasportabili per strade ordinarie, Sistema Eiffel*, 1890, manoscritto.
12. *Ibidem*.
13. Archivio Storico Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio, Roma. IV Reggimento del Genio, Brigata Ferrovieri, *Istruzione provvisoria sui Ponti Metallici Scomponibili per ferrovie. Sistema Eiffel*, Torino, 1894 .
14. Archivio Storico Istituto Storico e di Cultura dell'Arma del Genio, Roma. Secondo reggimento pontieri, *Istruzione sul ponte Bailey – modello 2, traduzione dal manuale americano "The Bailey bridge"*, 1948.

Francesco Marmo, Cristoforo Demartino, Davide Pellecchia,
Massimo Paradiso, Nicolò Vaiana, Salvatore Sessa, Luciano Rosati

The double-curvature shell of the Musmeci's bridge

Simmario
Il presente studio illustra ed investiga il processo di definizione della forma del viadotto sul Basento a Potenza progettato da Sergio Musmeci. Quest'opera rappresenta uno dei migliori esempi di ottimizzazione della forma di strutture a guscio in calcestruzzo armato. Al fine di ottenere un modello geometrico 3D della struttura viadotto è stato eseguito un rilievo fotogrammetrico del viadotto mediante drone. Per comprendere la forma unica del ponte di Musmeci, è stato necessario applicare una formulazione generalizzata del metodo delle densità di forza che implementa elementi membranali con stati di sforzi non-isotropi. Infine, è riportato un confronto tra la forma ottenuta mediante la formulazione numerica proposta e la effettiva forma della membrana in calcestruzzo a doppia curvatura che caratterizza il viadotto sul Basento.

Introduction
Between 1971 and 1976, a 300m long bridge was built in Potenza to join the city centre with the Basentana Highway (Fig. 1).

Fig. 1 – Musmeci's bridge over the Basento river, Potenza, Italy.

Designed by Sergio Musmeci, the so called *Viadotto dell'Industria* is supported by a continuous double-curvature reinforced concrete (RC) shell whose form is optimized to reduce bending forces. The shell is composed of four spans of about seventy meters each and passes over roads, railway tracks and a river with a single continuous twisting surface whose outstretched fingers alternatively prop up the concrete deck or alight to the ground below (Bavusi et al., 2011).

The complex design process employed by the designer was based on the combination of experimental tests and approximate numerical methods. Combing mechanical performances and aesthetic criteria, the main idea of Musmeci was to shape the concrete shells supporting the deck in order to exclude any bending stress (Guccione, 2006; Ingold and Rinke, 2015, Magrone et al., 2016; Petrizzi, 2004; Ponzo et al., 2013; Stabile et al., 2013). This resulted in a structure that can be undoubtedly considered as a unique representative example of pioneering research on the design and construction of optimized structures (Iori and Poretti, 2009; Musmeci, 1980; Saggio, 1999; Trovalusci and Tinelli, 2013).

After describing the design process employed for determining the form of the shell and the relevant constructive issues, we report on the development of a refined 3D geometric model of the shell through an aerial survey carried out by a commercial Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and a photogrammetric image-based reconstruction.

Subsequently, the form of the double-curvature RC shell that supports the bridge is numerically reconstructed by exploiting a recent formulation of the Force Density Method (FDM) which accounts for non-isotropic stress states. This approach also employs a nonlinear optimization procedure in order to identify forces and stresses that fulfil boundary conditions equivalent to those imposed by Musmeci on his experimental setup (Marmo et al., 2019).

The computed form is compared with the surveyed one and is verified by a Finite Element analysis to evaluate its funicular efficiency, i.e., whether it is capable to withstand design loads by pure membrane actions.

Description of the bridge

The bridge over Basento river is about 300 m long and is composed of a reinforced concrete box deck supported by a continuous double curvature membrane of the same material. The shell, that forms 4 equal spans of 69.20 m each, has thickness of 0.30 m and is characterized by deeper ribs at both sides.

The RC shell bears the bridge deck by means of 16 pairs of supports that are placed at equal intervals of 17.30 m along the longitudinal axis and 12.00 m transversally. At the two extremities of the bridge, the membrane is connected to the abutments along its entire width, while it joins the intermediate foundations at 4 points placed at the vertices of a square of side 10.40 m, positioned between each pair of contiguous

spans. The deck is 16.00 m wide, for four traffic lanes, and has a five-cell RC boxed cross sections with elongated elliptical shape, 1.50 m deep.

At the time the bridge was designed, computational tools for form finding were not yet available (Capomolla, 2006) and the finite element method was in his infancy and inappropriate to perform any preliminary numerical verification of the design process. Hence the bridge was designed by combining rough numerical tools based on the finite difference method with experimental techniques for structural optimization. In order to exclude any bending stress, Musmeci employed scale models made of soap bubbles and cotton wires, first, and iron and highly stretched rubber membranes, later. Finally, the form of the bridge was tested on scale models made of methacrylate and micro-cement.

Musmeci's design process

The RC shell of the bridge over the Basento river was intended by Musmeci as a membrane that bears the dead loads transmitted by the deck with zero bending stresses. This goal was achieved thanks to a complex design process, in which experimental tests were used to calibrate, correct and validate approximate numerical methods. Only some isolated points of the shell boundary were assigned during the design process. They correspond to the points, having a fixed position, where the RC shell meets the bridge deck or the foundation. The remaining portion of the boundary had unknown configuration.

In the first phase of the design process, Musmeci investigated the possible membrane configurations by using very simple models made of soap-glycerine films stretched between a series of stranded cotton threads (having negligible flexural stiffness) connected to a rigid frame, see, e.g., Fig. 2(a). Soap models were characterized by isotropically-stresses and had equal and opposite curvatures along the longitudinal and transversal directions.

To this end, Musmeci employed a numerical, yet approximate, approach based on the membrane theory of shells. Setting different values of stresses along the longitudinal and transversal directions, Musmeci was able to obtain solutions characterized by higher transversal curvatures. The solution was obtained numerically by the finite difference method for which Dirichlet boundary conditions were applied and the shell self-weight was neglected.

Subsequently, Musmeci realized a 1:100 scaled model of the structure by employing a 0.8 mm thick neoprene sheet, see, e.g., Fig. 2(b). Experiments with elastic membranes allowed Musmeci to understand the need for strengthening the sides of the model by adding 7 mm wide neoprene reinforcements. These elements were representative of the ribs at both sides of the RC membrane. The accurate survey of the deformed neoprene sheet allowed for the construction of a 1:100 scale methacrylate model of the membrane, shown in Fig. 2(c). This model was used to estimate the stresses within the membrane induced by different loading conditions.

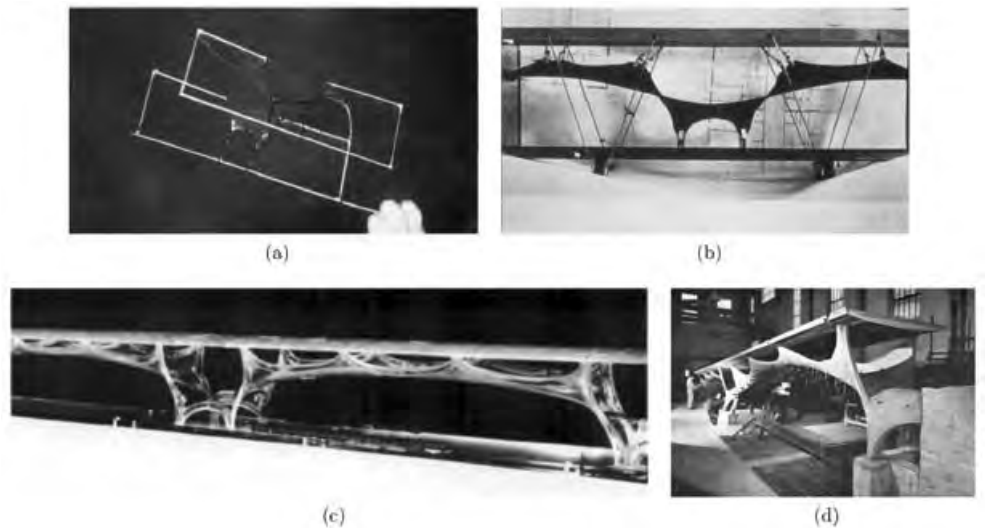


Fig. 2 – Physical design models employed by Musmeci to design the bridge over the Basento river.

Finally, to accomplish the request by the Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, i.e., the technical bureau of the Italian Ministry of Infrastructure and Transport, Musmeci realized a 1:10 scale micro-cement model tested at the ISMES (Istituto Modelli e Strutture) laboratories in Bergamo, Italy. The scaled model, illustrated in Fig. 2(d) reproduced only two spans with a total length of 14 m and a thickness of only 3 cm. This model was essential to optimize the form, to obtain information about strains and stresses, and to discuss details and issues concerning the construction process.

UAV survey

The analysis of the current form of the bridge over Basento river requires an accurate geometric three-dimensional (3D) model of the concrete shell supporting the deck of the bridge. A novel approach to derive 3D models is the use of photographic data coming from Unnamed Aerial Vehicle (UAV). The aerial survey using UAVs is a new technique based on photogrammetry algorithms rapidly growing in the last five years that has different advantages compared with other traditional tools such as laser scanner.

In this study, the 3D model of the bridge over Basento river was obtained using photographic dataset acquired using an UAV and a commercial photogrammetry software. The UAV-based 3D reconstruction of the bridge was made in two different phases. In a first step (data acquisition), a commercial UAV has been used to acquire a set of photos (around 1000) from different point of view, based on photogrammetry

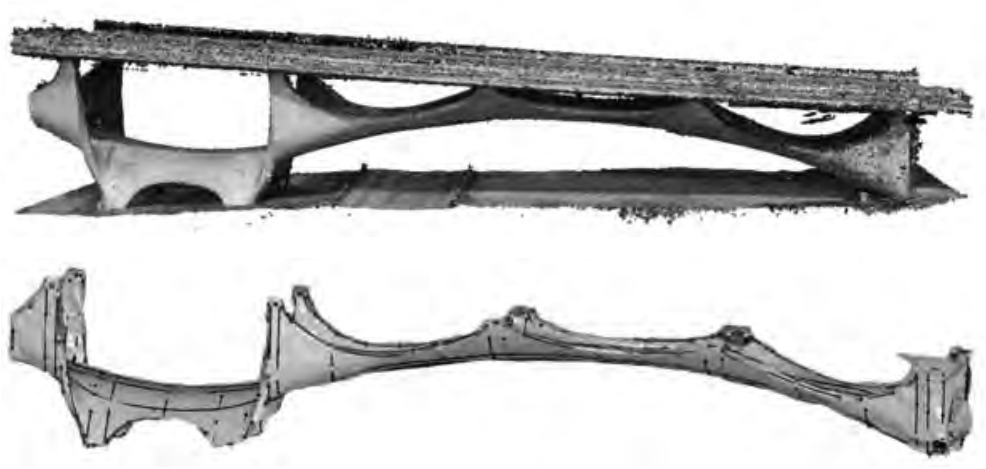


Fig. 3 – Sparse point cloud of the surveyed portion of the bridge and 3d parametric model obtained by the UAV survey.

principle. In a second step (3D reconstruction), an accurate geometric 3D model of the bridge was reconstructed by using a photogrammetry software to obtain a point cloud of the surveyed object and then a professional 3D modeler program to obtain a parametric geometry. The 3D model obtained by the UAV survey is shown in Fig. 3.

Force density method and comparison with the effective form of the bridge

The Force Density Method (FDM) was first proposed by Schek (1974) for the form-finding of cable networks in the same years in which the bridge over Basento river was erected. It amounts to obtaining the shape of a network subjected to given nodal forces in which a so-called force density is assigned to each branch.

The generalization of the FDM to membranes subjected to isotropic stress states is described in Maurin and Motro (1998), in which the concept of force density is substituted by that of membrane stress density. However, as discussed in Musmeci (1977), due to the need of having a higher curvature along the transversal direction, mainly for usability reasons, the Musmeci's bridge was designed by assuming a different value of compressive stresses along the longitudinal and transversal directions. For this reason, we employed a further generalization of the FDM that allows for assigning non-isotropic membrane stress densities (Pauletti and Pimenta, 2008).

Employing recurrence and symmetry of the structure to reduce the number of unknowns, we modelled one-quarter of the bridge span. The reference configuration of the FDM model is defined by triangular elements that mesh a rectangular flat surface of size 7.5m by 35m. A series of bar elements are used to model the ribs at the

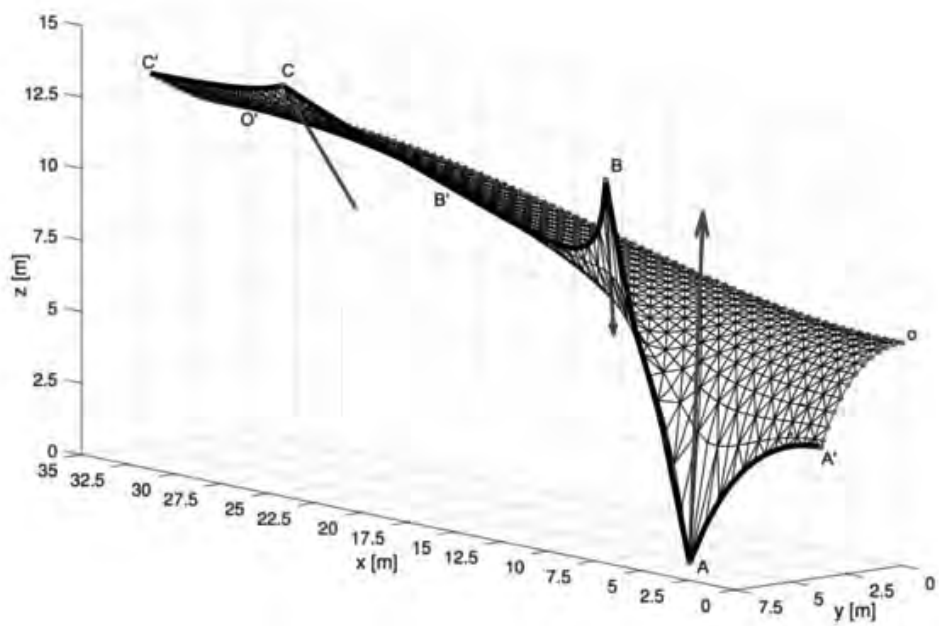


Fig. 4 – FDM model of one quarter span of the RC membrane: viable configuration.

free edge of the membrane while the remaining three edges of the rectangular model are subjected to symmetry restraints. Additional restraints are assigned to the nodes corresponding to the points where the membrane touches the foundation (point A) and the bridge deck (points B and C). Application of the FDM with different values of membrane stress densities along the longitudinal and transversal directions of the bridge furnishes the shape reported in Fig. 4.

Fig. 5 shows the comparisons between the parametric model obtained from the UAV survey (white) and two further surfaces, i.e. the one computed by the FDM (red) and that corresponding to the original blueprints by Musmeci (blue), stored at the MAXXI (National Museum of the 21st Century Arts) in Rome. These comparisons show negligible differences between the survey, the results of the FDM and the design by Musmeci.

The results of the FDM have been further verified by computing the eccentricity of axial and membrane internal forces evaluated by a Finite Element Analysis of the structure and verifying that it is contained within given geometric limits. Actually, eccentricity associated with a FDM solution is expected to be zero. The results of the FE analysis are shown in Fig. 6 for a portion of the model, which corresponds to the second span of the entire shell. Similar results are computed for all other spans.

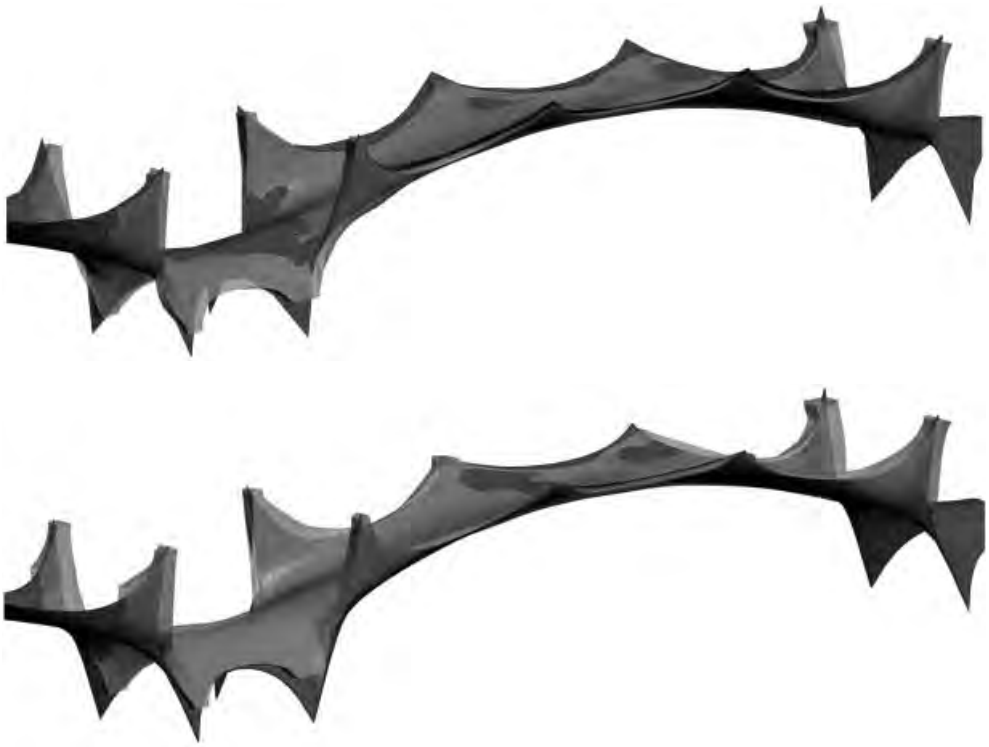


Fig. 5 – Comparison between original blue-prints (blue), UAV survey (white) and FDM (red).

This figure reports, in the form of contour plots, the principal values of membrane stresses, Fig. 6(a) and 6(b), the principal values of the bending stresses, Fig. 6(c) and 6(d), and the computed values of maximum generalized eccentricity, Fig. 6(d). These last values are mostly lower than 0.005 m (blue1 and green shades), far below the characteristic size of the model and lower than the accuracy of the surveyed and designed geometries of the RC shell.

Conclusions

The paper has illustrated a study on the shape of the RC membrane that bears the Musmeci bridge. First, a detailed 3D model of the bridge has been obtained using a UAV survey. In particular, it has been shown that this can be a simple and economical approach to obtain detailed 3D models of complex structures.

Subsequently the effective form of the bridge has been compared with the one calculated using the FDM approach. It was found a good agreement indicating that the Musmeci design approach can be considered successful especially considering

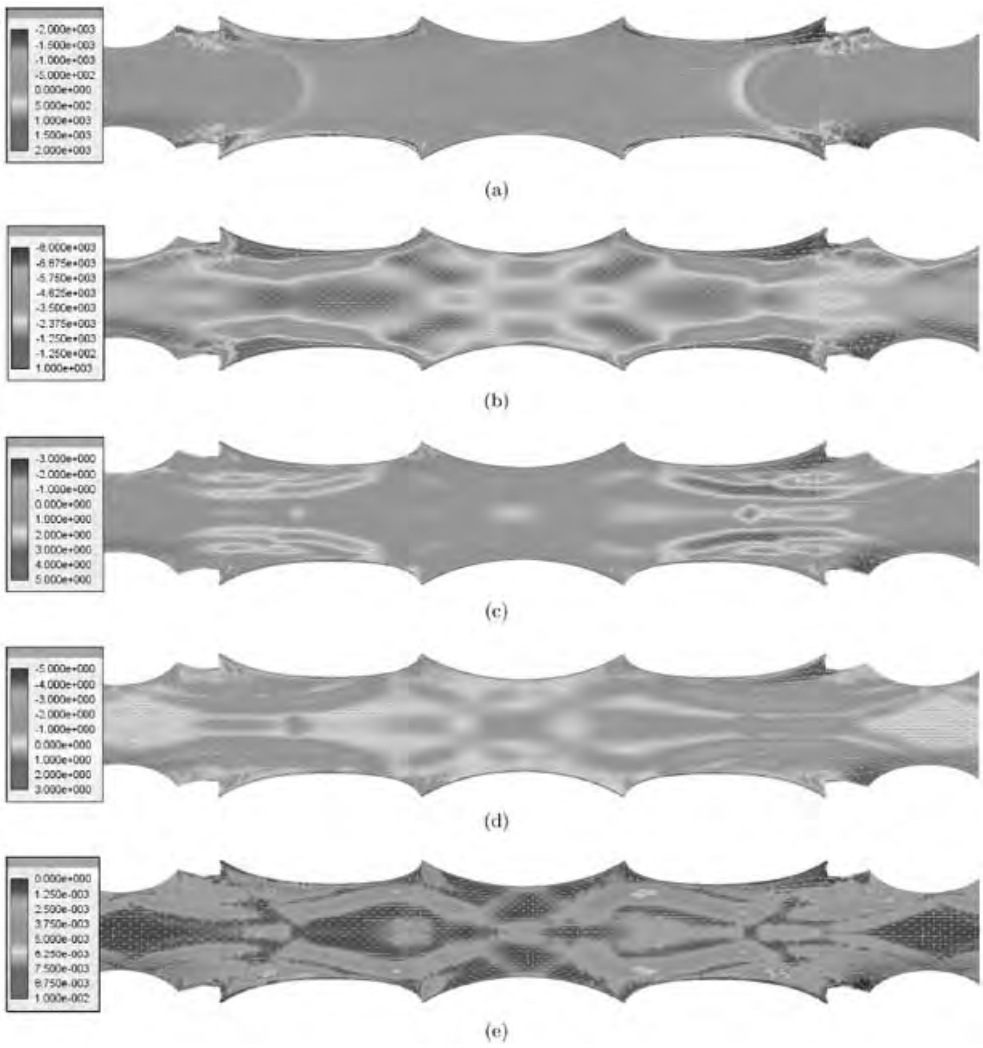


Fig. 6 – Results of the FEM analysis: principal membrane stresses (a) and (b), principal bending stresses (c) and (d), maximum generalized eccentricity (e).

the limited computational tools available at the time of its design. Moreover, a good agreement was also found with the 3D model obtained from the original blueprints indicating the good realization of the formworks to cast this complex RC shell structure.

Finally, the shape of the shell has been verified by computing the generalized eccentricity associated with membrane and bending stresses evaluated by a FE analysis of the structure.

References

Bavusi M., Soldovieri F., Di Napoli R., Loperte A., Di Cesare A., Ponzo F.C., Lapenna V. 2011. Ground penetrating radar and microwave tomography 3D applications for the deck evaluation of the Musmeci bridge in Potenza, Italy. *Journal of Geophysics and Engineering*, 8(3), S33-S46.

Capomolla R., 2006. Il ponte sul Basento di Sergio Musmeci. Il progetto della forma strutturale prima dell'avvento del calcolo automatico. In: *Atti del 1° convegno nazionale di storia dell'ingegneria*.

Guccione M., 2015. *Il ponte e la citta: Sergio Musmeci a Potenza*. Gangemi Editore Spa.

Ingold L,, Rinke M., 2015. Sergio Musmeci's Search for new forms of concrete structures. In: *5th international congress on construction history*.

Iori T., Poretti S., 2009. The Golden Age of Italian Style Engineering. In: *3rd international congress on construction history*.

Magrone P,, Tomasello G,, Adriaenssens S,, Gabriele S,, Varano V., 2016. Revisiting the form finding techniques of Sergio Musmeci: the Bridge over the Basento River. In: *3rd International conference on structures and architecture*.

Marmo F., Demartino C., Candela G., Sulpizio C., Briseghella B., Spagnuolo R., Xiao Y., Vanzi I. Rosati L., 2019. On the form of the Musmeci's bridge over the Basento river. *Engineering Structures*, 191, 658-673.

Maurin B., Motro R., 1998. The surface stress density method as a form-finding tool for tensile membranes. *Engineering Structures*, 20(8), 712-719.

Musmeci S. 1977. Il ponte sul Basento a Potenza, *L'industria italiana del cemento*, XLVII(2), 77-98.

Musmeci S. 1980. Struttura ed architettura. *L'Industria Italiana del Cemento*, 34-46.

Pauletti R. M. O., Pimenta P. M., 2008, The natural force density method for the shape finding of taut structures, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 197, 4419-4428.

Petrizzi C. 2004. *Sergio Musmeci a Potenza: Il ponte e la citta*. Basiclicata Regione Notizie.

Ponzo C.P., Di Cesare A., Dolce M., Moroni C., Nigro D., Auletta G., 2013. Vulnerabilità Sismica del ponte "Musmeci" a Potenza. *Progettazione Sismica*, 4(3), 5-28.

Saggio A., 1999. I Nervi di Morandi o le reti di Musmeci. *Domus,* 116.

Schek H. J., 1974. The force density method for form finding and computation of general networks. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3(1), 115-134.

Stabile T.A., Perrone A., Gallipoli M.R., Ditommaso R., Ponzo F.C., 2013. Dynamic Survey of the Musmeci bridge by joint application of ground-based microwave radar interferometry and ambient noise standard spectral ratio techniques. *IEEE Geosci Remote Sens Lett*, 10(4), 870-874.

Trovalusci P., Tinelli A., 2013. The recovery of the ethic of constructions: P.L. Nervi vs. S. Musmeci, two structural conceptions compared. In: *Int conf of structures and architecture, Symposium on the tectonics in architecture, between aesthetics and ethics*.

Mario Como

Storia della Statica dello Strallo e sua interazione con la costruzione dei ponti strallati in acciaio

Abstract
The paper goes back the history of long span cable stayed bridges starting from the construction of the old cable suspended iron bridges of the XIX century. The majority of these bridges collapsed and the causes of these failures remained unknown for long time. Only at the middle of the XX century they were discovered in an outstanding paper by the German engineer, Franz Dischinger. The influence of the non linear geometrical effects due to stay inflexion was just ascertained so that many new long span cable stayed bridges, using modern steel, were built. In this context, the paper, recalling the analytical development of the Dischinger analysis, finds again, with a simple approach, the Dischinger tangent modulus formula of the inclined stay, inflexed under its own weight. The more relevant factors influencing the stay response, as its horizontal length and the level of stresses, are pointed out. In a second paper these results will be applied to evaluate the tangent stiffness of the reinforced concrete stays of Morandi bridges.

Introduzione
L'idea di sostenere una trave con dei tiranti che, partendo dalla sommità di torri o antenne, agganciano e sostengono una trave sottostante, non è recente. Le prime applicazioni di tale sistema nella costruzioni di ponti apparvero sin dai secoli XVII e XIX, rispettivamente in Italia, nel 1617 grazie a Veranzio, e, successivamente in Germania con Löescher e in Inghilterra con Redbath e Brown (Timoshenko, 1953; Troitsky, 1977; De Miranda et al., 1979; De Miranda, 1980; Irvine, 1981; Bruno e Maceri, 1983; Como et al., 1985; Gimsing, 1997; Walther et al., 1999; Malerba, 2005).

Il primo a presentare un progetto, sia pure teorico, di ponte strallato è Fausto Veranzio, eclettica figura di letterato e inventore, che nel 1617, nella sua opera "Machinae Novae", tra tante invenzioni, presenta anche un "pons ferreus", con impalcato di legno e stralli costituiti da catene in ferro, il cui ingenuo schema di progetto è mostrato in Figura 1. E' interessante osservare che si tratta di un ponte misto sospeso-strallato, simile concettualmente al ponte di Brooklin di Roebling. Gli stralli esercitano funzione di sostegno laterale della travata, mentre le catene ne sostengono prevalentemente il tratto centrale. E' interessante anche lo schema di ponte strallato

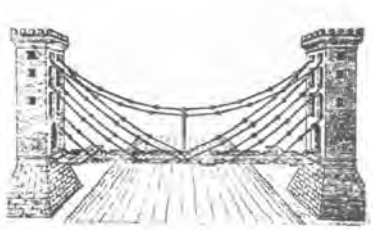


Fig. 1 – Il ponte di Veranzio.

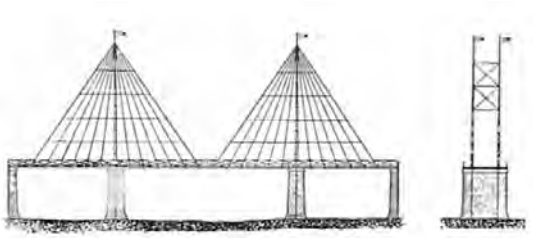


Fig. 2 – Il ponte di Puyet.

di Puyet, del 1821, in Figura 2, che riproduce schematicamente lo schema a ventaglio adottato dai più moderni ponti strallati.

La vita di questi antichi ponti non fu facile. Due drammatici crolli di opere di questo tipo si verificarono nella prima metà dell'Ottocento. Il primo crollo avvenne in Inghilterra sul fiume Tweed nel 1818, il secondo in Germania, a Nienburg, sul Saale nel 1825: quest'ultimo ponte collassò due mesi dopo la sua inaugurazione, facendo 55 vittime. Altri crolli di ponti simili si verificarono in Inghilterra e in Francia.

In una sua importante perizia del 1823 Navier, chiamato a studiare le cause di tali crolli, definì come pericolosa questa tipologia di ponte. Questi avvenimenti arrestarono *per più di un secolo* lo sviluppo dei ponti strallati, la cui costruzione venne di fatto bandita per circa un secolo.

Quale era la causa di tutti questi crolli? Lo strallo, nella sua funzione di sostegno della travata, era all'epoca assimilato a un semplice tirante rettilineo elastico.

Con riferimento, ad esempio, al caso tipico della mensola sostenuta all'estremità da uno strallo, in Figura 3, il contrasto esercitato da questo, assimilato a un semplice tirante rettilineo elastico, era direttamente legato al suo allungamento elastico, conseguenza diretta dell'abbassamento della sezione terminale della mensola. Diversa è la situazione reale nella quale gioca un ruolo determinante l'incurvamento dello strallo dovuto al suo peso, come mostrato in Figura 4. In questo caso c'è una componente, lungo l'asse AB, dello spostamento del punto terminale dello strallo in contatto con la mensola dovuto solo alla riduzione dell'incurvamento dello strallo stesso: questo spostamento, più o meno rilevante a seconda della lunghezza del cavo e della tensione cui il cavo è sottoposto, non comporta alcun allungamento elastico. In breve, lo strallo risulta molto meno rigido di quanto valutato con la sola teoria elastica se non vengono prese in conto le variazioni di geometria, particolarmente se soggetto a tensioni di tiro non elevate. Se tali effetti venissero considerati, l'effettiva funzione di sostentamento dello strallo potrebbe risultare fortemente ridotta. Ciò si verificava sistematicamente in quanto la tensione cui lo strallo poteva essere soggetto risultava molto limitata a causa delle caratteristiche resistenti del ferro prodotto all'epoca.

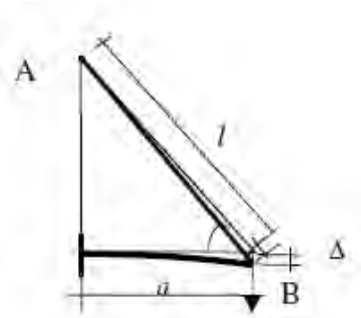


Fig. 3 – Strallo come asta rettilinea elastica.

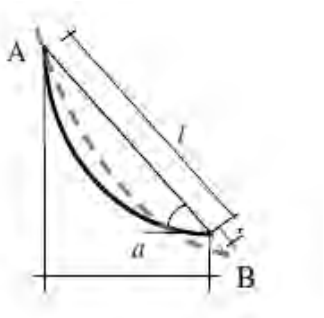


Fig. 4 – Strallo incurvato dal suo peso.

Ma come valutare le conseguenze dell'effetto non lineare dell'incurvamento dello strallo, solo allora appena intuite da Navier?

La scienza delle costruzioni cominciava a svilupparsi e la teoria dell'elasticità cominciava appena a essere applicata allo studio della statica lineare delle strutture. Gli effetti geometrici non lineari erano allora limitati allo studio dell'instabilità euleriana delle colonne caricate assialmente (Timoshenko, 1953).

Solo l'ingegnere tedesco Franz Dischinger, più di un secolo dopo, comprese la ragione della possibile insufficienza della progettazione strutturale dello strallo se la sua azione di sostegno viene valutata senza considerare gli effetti della sua inflessione. Già nel 1938, Dischinger attraverso un primo calcolo innovativo, aveva proposto di costruire un ponte strallato, ferroviario e a doppio binario, sul fiume Elba presso Amburgo con una luce di 750 m: la travata era prevista irrigidita con tiranti inclinati a ventaglio, uscenti dalla sommità delle torri. Solo nel 1949, dopo la fine della guerra, Dischinger potette pubblicare il suo magistrale lavoro "*Hangebrucken fur schwerste Verkehrslasten*" (Dischinger, 1949), nel quale valutò per primo la rigidezza effettiva dello strallo a partire dalla sua configurazione curva di equilibrio. Tale studio ricevette un approfondimento con (Ernst, 1965) e molto più recentemente da (Dell'Amore et al., 2005).

Lo studio di Dischinger, pubblicato in tedesco e che rimase a lungo poco noto, costituisce una pietra miliare nella storia dell'Ingegneria dei Ponti che può ancora fornire nuovi spunti di riflessione, particolarmente nel caso degli stralli in c.a.p. Oggi troppo spesso ci si affida al calcolo automatico senza forse entrare, se non superficialmente, nella chiara meccanica del problema. E' istruttivo pertanto, per comprendere il significato delle moderne realizzazioni dei ponti strallati, ripercorrere le linee del ragionamento di Dischinger seguendone i passi, per via analitica, fino alla sua formulazione finale.

Lunghezza della deformata del cavo orizzontale soggetto a carico trasversale
Per seguire il ragionamento di Dischinger si consideri anzitutto la semplice equazione che regge l'equilibrio di un cavo fissato agli estremi, soggetto al carico uniforme q e al tiro H, come nello schema in Figura 5. Se indichiamo con $v(x)$ il generico abbassamento verticale del cavo, l'equazione di equilibrio con le associate condizioni ai limiti è la seguente:

$$Hv'' = -q \qquad v(o) = v(l) = 0 \tag{1}$$

che ammette la soluzione:

$$v(x) = \frac{q}{2H} x(l - x) \tag{2}$$

Dato il forte valore dello sforzo di tiro, possiamo assumere che la configurazione di equilibrio del cavo sia molto ribassata: in tal modo il carico q costante ne rappresenta il peso unitario. Pertanto:
se A_a indica l'area in acciaio della relativa sezione. Calcoliamo ora la lunghezza L del cavo curvo. Poiché, come risulta dallo schema in Figura 6

$$L = \int_L ds = \int_0^l \sqrt{1 + v'^2}\, dx \tag{3}$$

a calcoli effettuati si ha:

$$L = l + \frac{1}{24} \frac{\gamma^2 l^3}{\sigma^2} = l + \frac{1}{24} \left(\frac{q}{H}\right)^2 l^3 \tag{4}$$

dove l è la lunghezza della proiezione orizzontale del cavo.

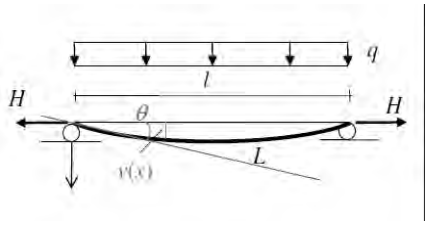


Fig. 5 – Cavo orizzontale sotto il tiro H e il carico q.

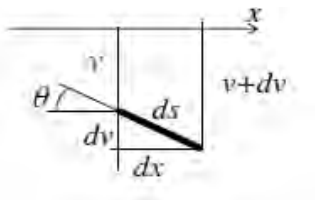


Fig. 6 – Elemento di cavo incurvato.

Risposta del cavo a un incremento di tiro. Modulo di Dischinger

Seguendo il ragionamento di Dischinger, vediamo cosa accade al cavo se applichiamo alle estremità un incremento di tiro *dH*, come nello schema in Figura 7. Il cavo si ribassa e si allunga. La sua proiezione orizzontale si allunga di *dl* e la variazione di lunghezza *dL* del cavo curvo risulta:

$$dL = d[l + \frac{1}{24}(\frac{q}{H})^2 l^3] = dl + \frac{q^2 l^2}{8H^2} dl - \frac{q^2 l^3}{12H^3} dH \tag{5}$$

Poiché, per ipotesi, la fune è ribassata e lungo di essa risulta

$$H, = \text{cost}, \sigma = \text{cost}, \varepsilon = \text{cost} \tag{6}$$

se σ ed ε sono la tensione e la deformazione longitudinale *lungo il cavo*. Possiamo quindi porre:

$$dL = L \cdot d\varepsilon \tag{7}$$

Pertanto, sviluppando, dalla (7) si ottiene:

$$d\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{1 + \beta^2/2}{[1 + \beta^2/6]} \frac{dl}{l} - \frac{\beta^2/3}{1 + \beta^2/6} \frac{dH}{H} \tag{8}$$

avendo posto:

$$\beta = \frac{ql}{2H} \tag{9}$$

D'altra parte, tenendo presente che è:

$$\beta^2 << 1 \tag{10}$$

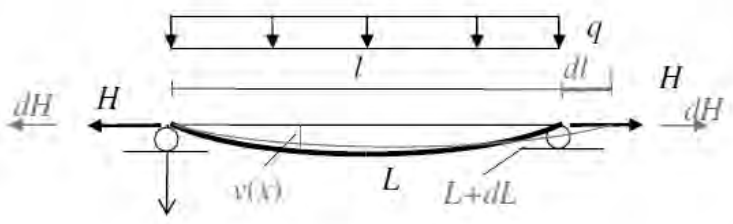


Fig. 7 – Risposta del cavo incurvato all'incremento di tiro dH

si ha ancora:

$$d\varepsilon = \frac{dL}{L} = \frac{dl}{l} - \frac{1}{3}\beta^2 \frac{dH}{H} \tag{11}$$

Se allora poniamo:

$$de = \frac{dl}{l} \tag{12}$$

cioè indichiamo con *de* la deformazione in rettilineo del cavo, la (9) diventa:

$$d\varepsilon = de - \frac{1}{3}\beta^2 \frac{dH}{H} \tag{13}$$

D'altra parte, con la (6), essendo:

$$H = A_a \cdot s \tag{14}$$

se A_a è l'area resistente del cavo, e quindi con $dH = A_a d\sigma$ dalla (11) si ha:

$$de = (1 + \frac{1}{3}\beta^2 \frac{E}{\sigma}) d\varepsilon \tag{15}$$

da cui, ricordando la posizione (9) si ottiene:

$$d\varepsilon = \frac{de}{1 + \frac{q^2 l^2 E_a}{12 A_a^2 \sigma^3}} \tag{16}$$

Ancora, essendo $d\sigma = E_a d\varepsilon$, la (16) fornisce:

$$d\sigma = \frac{E_a}{1 + \frac{q^2 l^2 E_a}{12 A_a^2 \sigma^3}} de \tag{17}$$

La (17) mette in correlazione l'incremento di tensione $d\sigma$ nel cavo con l'incremento di deformazione in rettilineo *de* del cavo stesso. A tal punto è immediato porre:

$$d\sigma = E_t^* de \tag{18}$$

dove:

$$E_t^* = \frac{E_a}{1 + \frac{q^2 l^2 E_a}{12 A_a^2 \mathsf{s}^3}} \tag{19}$$

è una prima forma del modulo tangente di Dischinger. Tale formula, che prevede sul cavo la presenza di un carico che può essere diverso da quello del solo peso dell'acciaio, verrà utilizzata in (Como, 2020) nella valutazione del modulo tangente di Dischinger dello strallo in c.a.p.

Nella (19), se il carico q è il solo peso del cavo, come nel caso di un cavo in acciaio, risulta:

$$q = \gamma_a A_a \tag{20}$$

se γ_a è il peso specifico dell'acciaio. La (19) può allora essere posta nella forma originaria del 1949 di Dischinger:

$$E_t^* = \frac{E_a}{1 + \frac{\gamma_a^2 l^2 E_a}{12\sigma^3}} \tag{21}$$

Concludendo, il modulo tangente di Dischinger espresso dalla (21) valuta la reazione del cavo rettilineo, incurvato dal suo peso, che si produce in seguito all'incremento di deformazione *de* del cavo in rettilineo.

I precedenti risultati si estendono facilmente al caso di cavo inclinato, la cui geometria è quella dello strallo tipico, mantenendo ancora l'ipotesi precedente di configurazione curva ribassata. Tale ipotesi è giustificata dalla presenza di elevati valori della tensione di tiro σ. Con questa ipotesi, quindi, la configurazione curva dello strallo è vicina al segmento rettilineo AB, come mostrato in Figura 8.

In questo caso, quindi, q è il carico per unità di lunghezza distribuito sulla lunghezza inclinata l mentre il carico $\hat{q}$ è quello distribuito sulla proiezione orizzontale di lunghezza a. Con riferimento alla Figura 8 pertanto, si ha:

$$l = \frac{a}{\cos\phi} \tag{22}$$

Ora, se Q è il carico totale agente su tutto lo strallo, risulta:

$$q = \frac{Q}{l} = \frac{Q}{a}\cos\phi = \hat{q}\cos\phi \tag{23}$$

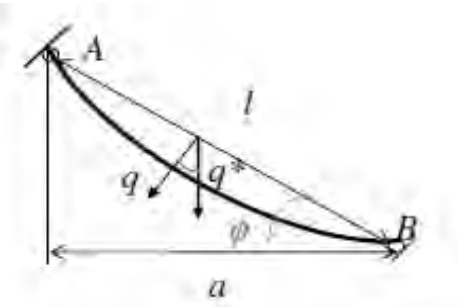


Fig. 8 – Carico q sulla proiezione orizzontale dello strallo.*

In tal modo si può modificare direttamente la formula di Dischinger passando dallo strallo orizzontale a quello inclinato. Infatti, operando con le (22) e (23), si ha:

$$E_t^* = \frac{E_a}{1 + \frac{a^2 \hat{q}^2}{12 A_a} \frac{E_a}{\sigma^3}} \tag{24}$$

ovvero, ponendo

$$\hat{q} = \hat{\gamma} A_a$$

si ha ancora

$$E_t^* = \frac{E_a}{1 + \frac{a^2 \hat{\gamma}^2}{12} \frac{E_a}{\sigma^3}} \tag{25}$$

La (25) costituisce l'originale formula di (Dischinger, 1949). Essa fornisce la risposta del cavo inclinato, soggetto alla tensione σ – con peso specifico $\hat{\gamma}$ del materiale di cui è costituito (di regola acciaio), valutato lungo la sua proiezione orizzontale di lunghezza *a* – all'incremento *de* di deformazione in rettilineo, tenendo in conto gli effetti geometrici non lineari dipendenti dalla sua conseguente variazione di incurvamento.

Dalla (25) si nota la dipendenza fortemente non lineare del modulo E_t^* dalla tensione presente σ nel cavo e ancora dalla lunghezza della sua proiezione orizzontale *a*. La Figura 9 descrive tale dipendenza di E_t^*. Si osserva che per lunghezze in orizzontale dell'ordine di 100 ÷ 200 m e una tensione σ di tiro dell'ordine dei 1000 kg/cm^2, il modulo tangente E_t^* si riduce anche di 4 ÷ 5 volte rispetto all'effettivo valore

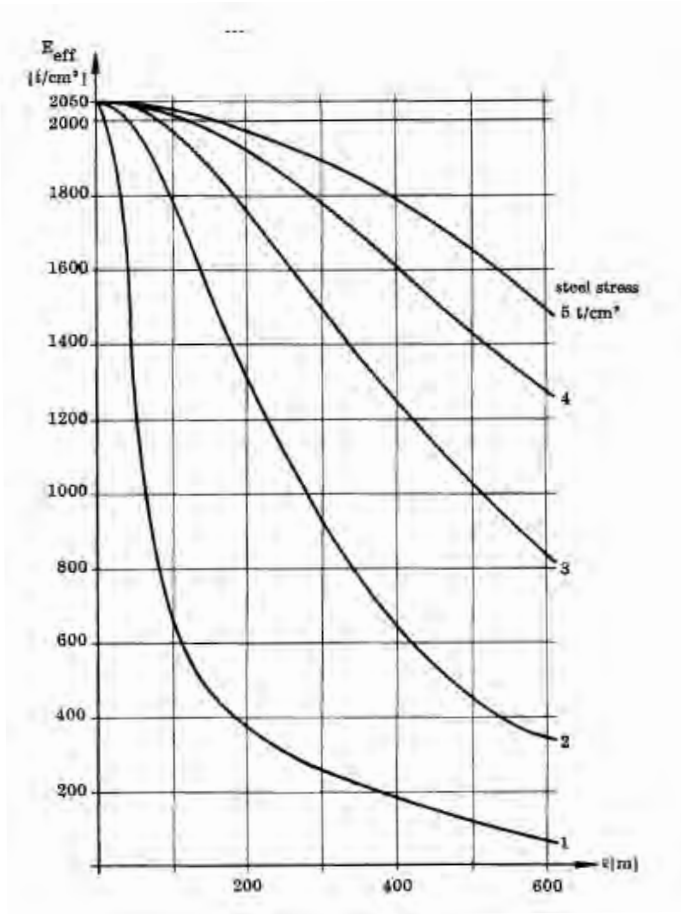


Fig. 9 – Modulo tangente di Dischinger al variare della lunghezza della proiezione orizzontale e della tensione di tiro dello strallo (da De Miranda et al., 1979).

del modulo del materiale. In tali condizioni, il ponte strallato risulta molto deformabile e quindi vulnerabile all'azione del vento.

Si comprende quindi immediatamente come la funzione di sostegno degli stralli inclinati in ferro dei ponti dell'Ottocento venisse quasi del tutto meno in presenza di una tensione di tiro di circa 1000 kg/cm^2, quella che il ferro prodotto in quell'epoca poteva sostenere. Ciò spiega i tanti crolli allora avvenuti.

Il primo ponte strallato, progettato con i nuovi criteri è lo Strömsund Bridge (Svezia) di 183 m di luce, realizzato da Dischinger nel 1955. Molti ponti strallati vennero realizzati da Dischinger e poi da Leonhardt in Germania dopo la guerra.

Fig. 10 – Ponte Russkij (Vladivostock) L 1104 m (2012).

La comprensione del funzionamento dello strallo, insieme all'uso di acciai ad altissima resistenza, hanno reso possibile la realizzazione di grandi ponti strallati stradali e ferroviari, dapprima in Europa, come il ponte di Normandie sulla Senna, della luce di 856 m, e poi in Giappone, in Cina e in Russia, di luce via via maggiore.

Il ponte strallato rispetto al ponte sospeso è meno deformabile, ed è quindi utilizzabile sia per il traffico stradale che per quello ferroviario. La sua costruzione comporta inoltre un quantitativo di acciaio ad alta resistenza (per gli stralli) decisamente inferiore a quello necessario per i cavi dei ponti sospesi.

Solo per luci maggiori il ponte sospeso è vincente su quello strallato, perché la luce che quest'ultimo può raggiungere è comunque fatalmente limitata dalla deformabilità degli stralli. La massima luce raggiunta dal ponte strallato è quella relativa al ponte Russkij (Vladivostock), in Figura 10, costruito nel 2012, che ha una campata centrale della lunghezza di 1104 m.

La massima luce raggiunta dal ponte sospeso, soggetto solo a traffico stradale, è quella dell'Akashi, in Giappone, pari a circa 2 km.

Bibliografia

Bruno D., Maceri F. 1983. Non linear models for cable stayed bridges analysis. Proceedings of first European Simulation Congress ESC83, Aachen, September, 1 -21

Como M. 2020. Statica dello Strallo in c.a.p. Atti dell'VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria – 4th International Conference (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 6-7 aprile. Napoli: Cuzzolin.

Como M., Grimaldi A., Maceri F. 1985. Statical behaviour of long-span cable stayed bridges, International Journal of Solids Structures, 21(8) , 831 – 850.

De Miranda F. 1980. *I ponti strallati di grande luce*. Roma: Ed. Scientifiche A. Cremonese.

De Miranda F., Grimaldi A., Maceri F., Como M. 1979. *Basic problems in long-span cable stayed bridges*. Report 25, Department of Structures, University of Calabria.

Dell'Amore Fachinetti S., Vairo G. 2005. Quasi-secant behaviour of elastic cables for cable-stayed structures, Meccanica, 43, 237-250.

Dischinger F. 1949. Hangebrucken fur schwerste Verkehrslasten. Bauingenieur, 24, 3, 65-75; 4, 107-113.

Ernst H.J. 1965. Der E-modul von Seilen unter Beruecksichtigung des Durchhanges. Der Bauingenieur, 40(2), 52-75.

Gimsing N.J. 1997. *Cable Supported Bridges: Concept and Design*, 2nd edition. New York: John Wiley & Sons.

Irvine M. 1981. *Cable Structures*. New York: Dover Pubblications Inc.

Malerba P.G. 2005. *I ponti strallati. Il contributo di Francesco Martinez Y Cabrera*. Milano: Politecnico di Milano.

Timoshenko S. 1953. *History of Strength of Materials*. New York: Dover Publishing.

Troitsky M.S. 1977. *Cable stayed bridges*. Londra: Crosby Lockwood Staples.

Walther R., Houriet B., Isler W., Moïa P., Klein J.F. 1999. *Cable stayed bridges*. Londra: Thomas Telford Publishing.

Mario Como

Rigidezza dello strallo in c.a.p.

Abstract
This paper, natural continuation of the first, presented at the same Engineering History Conference (Como, 2020), aims to analyze, in the context of the Dischinger approach, the stiffness of prestressed concrete stays of the Morandi bridges. Particular attention is given to the analysis of the stays behaviour of the Polcevera bridge, recently collapsed. By means the Dischinger tangent modulus theory, the paper shows that the effective stiffness of the prestressed concrete Morandi stay, in spite of its weight, was able to fully sustain the girder. This result proves again the extraordinary Morandi design in times where computers and computational codes were not at disposal. The paper concludes showing an IABSE Morandi Report (Morandi, 1979), written about forty years before the Polcevera collapse, that points out the necessity of special attention to control the state of conservation of the concrete of the Polcevera bridge, subjected to heavy traffic and to an aggressive local environment. .

Introduzione
Quasi parallelamente allo sviluppo dei moderni ponti strallati in acciaio (De Miranda et al., 1979; De Miranda, 1980; Gimsing, 1997), nei primi anni ‘60 del secolo scorso si cominciarono a costruire ponti strallati in c.a.p. (Bontempi et al., 1995; Malerba, 2005; Iori e Poretti, 2015; Iori e Poretti, 2016; Iori e Poretti, 2017; Morandi, 1979), sull’esempio dell’originale progetto del viadotto sul Polcevera di Riccardo Morandi, al cui genio si deve la realizzazione del sistema bilanciato pila a cavalletto-strallo in c.a.p. (Figura 1). La costruzione di questo ponte iniziò nel 1958, dopo che Morandi aveva vinto il bando pubblico nel 1957. Gli studi per la sua progettazione, e in particolare quelli sullo strallo in c.a.p., sono quindi coevi alle prime moderne realizzazioni dei ponti strallati in acciaio.

Val la pena ricordare che il ponte di Maracaibo, in Figura 2, progettato da Morandi e molto simile a quello sul Polcevera, ad esso coevo, nel 1964 subì un grave incidente: una petroliera della Esso urtò contro due pile del ponte determinando il collasso di due travate che vennero poi ricostruite.

Il viadotto sul Polcevera fu costruito tra il 1963 e il 1967 dalla Società Italiana per Condotte d’Acqua.

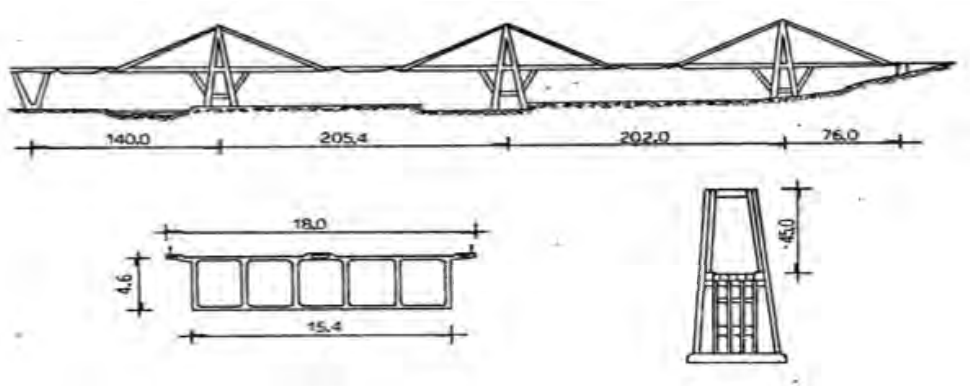


Fig. 1 – l viadotto sul Polcevera (da De Miranda et al., 1979).

Fig. 2 – Vista del ponte sul canale di Maracaibo.

Il 14 Agosto 2018 la campata lunga 250 m che sovrasta la zona fluviale e industriale di Sampierdarena crollò improvvisamente. Sappiamo che l'intero ponte è stato recentemente demolito. Sono ancora in corso indagini per comprendere le cause e le eventuali responsabilità del tragico crollo.

Non è possibile quindi, con le indagini ancora in corso, entrare nel merito e discutere di queste cause; lo si farà, se mai le cause potranno una volta essere determinate. Tuttavia, il crollo di questo ponte ha prodotto una grande eco e sgomento nel mondo dell'Ingegneria Civile per cui proprio in questo Convegno, nel trattare lo studio della storia della statica dello strallo (Como, 2020), non si poteva non discutere della statica dello strallo precompresso, in particolare, dello strallo del ponte sul Polcevera. Questo costituisce una componente strutturale di grande delicatezza e, anche

Fig. 3 – Il sistema bilanciato travata-antenna-stralli del viadotto sul Polcevera (da Morandi, 1979).

se la sua lunghezza non è confrontabile con quella degli stralli dei moderni ponti in acciaio; il suo peso, dovuto alla presenza della grossa guaina in cemento armato precompresso, può far insorgere dubbi sulla reale capacità di sostegno dello strallo.

In linea con l'approccio di Dischinger (1949), discusso in (Como, 2020), in questo lavoro viene presentata una verifica di sintesi dello strallo suddetto, utilizzando alcuni disegni del progetto Morandi che descrivono particolari delle relative armature, forniti cortesemente da Tullia Iori (Iori e Poretti, 2015; 2016, 2017).

L'originalità del progetto Morandi era anzitutto costituita dalla pila cavalletto-strallo, che realizzava un sistema bilanciato tra la coppia dei tiranti precompressi, l'antenna e i due sbalzi aggettanti dalla pila. La trazione nei tiranti determinava una elevata componente compressiva auto-equilibrata sugli sbalzi. La Figura 3, riprodotta da una figura dello stesso Morandi (1979), fornisce una descrizione sintetica della geometria della pila.

Caratteristiche dello strallo in c.a.p. e suo funzionamento statico

Un primo grosso nucleo di trefoli in acciaio, correnti lungo l'asse centrale, costituiva la struttura principale dello strallo. Questi trefoli venivano agganciati, da un lato, a una grande traversa in c.a. posta all'estremità della travata a sbalzo, e dall'altro, scavalcando la testa dell'antenna, su una sella in lamiera d'acciaio. I trefoli proseguivano poi fino all'estremità opposta della mensola. Questo nucleo centrale di trefoli veniva poi annegato in una guaina-manicotto di protezione in c.a.p., i cui trefoli, una volta eseguitane la pretensione, venivano a loro volta agganciati alle traverse poste alle estremità degli sbalzi e alla testa delle antenne. In tal modo anche i trefoli più esterni dello strallo, utilizzati per la precompressione della guaina-manicotto, fornivano, in continuità, una rilevante collaborazione all'azione di sostegno della

mensola, esplicata dal fascio di trefoli centrali. La guaina manicotto, a causa della sua precompressione, risultava sempre compressa al passaggio dei carichi sul ponte e realizzava la richiesta protezione dei trefoli.

La Figura 4, dà una descrizione delle armature dello strallo riportando alcuni particolari da copie dei disegni originali del progetto di Morandi, forniti cortesemente da Tullia Iori (Iori e Poretti, 2015; 2016; 2017).

Questa guaina manicotto, precompressa costituiva la tecnologia Morandi dell'epoca per proteggere l'acciaio dei tiranti centrali dall'ambiente aggressivo. In quegli anni non c'era la tecnologia di oggi, secondo la quale i trefoli vengono ora inseriti in guaine in polietilene pesante e ingrassati. La Figura 4 fornisce particolari delle armature dello strallo, forniti da Tullia Iori, da disegni di progetto di Morandi.

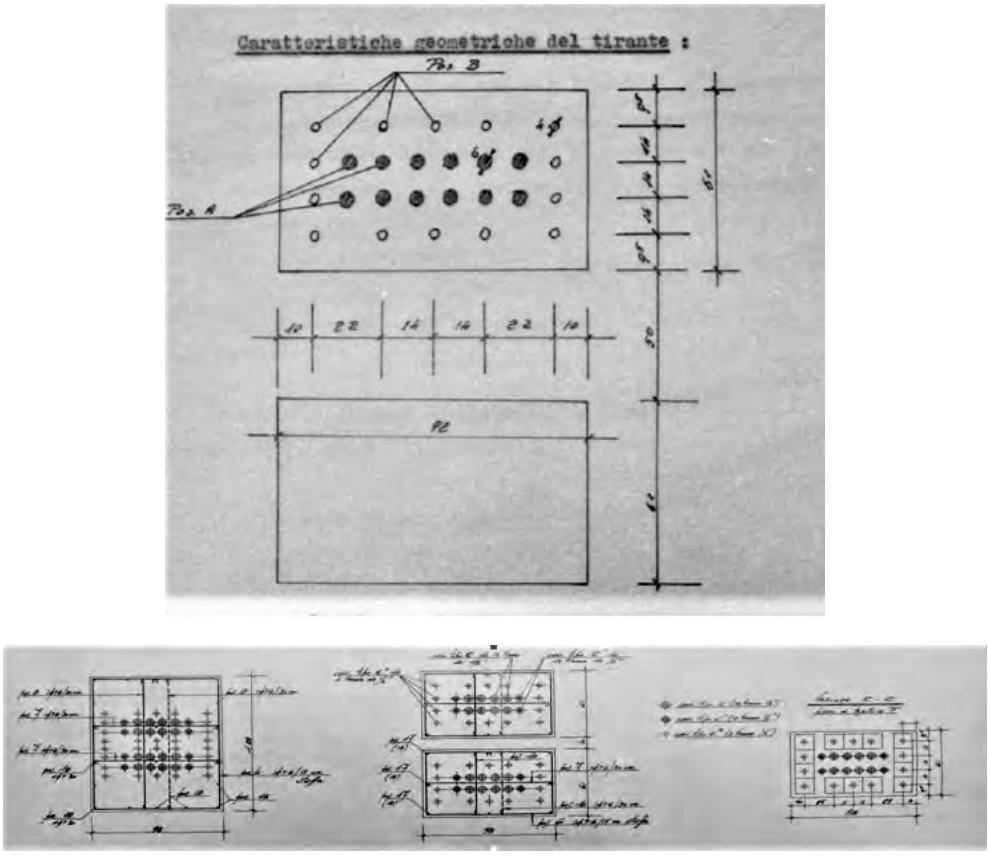


Fig. 4 – Le diverse sezioni dello strallo e le relative armature (per cortesia di Tullia Iori da Iori e Poretti 2015; 2016; 2017).

Tab. 1 – Dati geometrici degli stralli

Elemento		*Area*
Armatura presenti nello strallo:	trecce da ½”	0,93 cm^2
Trefoli interni	2 · 8 · 16 · 0,93	238,08 cm^2
	2 · 4 · 12 · 0,93	89,28 cm^2
Trefoli esterni	2 · 14 · 4 · 0,93	104,16 cm^2
Totale		*431,52 cm^2 = 4,3152 · 10^{-2} m^2*
Area sezione cls, A_c	2 · 61 · 98	11956 cm^2 = 1,1956 m^2

Il fascio interno dell’armatura dello strallo era composto da 352 trefoli di acciaio speciale R = 170 kg/mm^2 del diametro nominale di mezzo pollice, peso g_{acc} = 0,043152 · 7,86 = 0,338 t/m^3. I dati geometrici relativi agli stralli sono riportati in Tabella 1.

A costruzione completata, compresa la realizzazione della relativa guaina protettiva precompressa, lo strallo può essere assimilato a un unico cavo che include tutti i trefoli.

Modulo di Dischinger per lo strallo in c.a.p.

In Figura 5 è riportata una fotografia del sistema stralli–antenna di una pila del ponte sul Polcevera, che risale a tempi di poco successivi alla sua costruzione.

La trave-strallo, molto lunga e sottile, è molto flessibile e si adatta agli incrementi di incurvamento che si verificano durante l’esercizio del ponte, sempre che questi

Fig. 5 – Vista degli stralli inflessi del viadotto sul Polcevera per effetto del loro peso.

siano sufficientemente contenuti. Da come si può osservare guardando la fotografia di Figura 5, gli stralli presentavano una non trascurabile inflessione a causa del loro peso. È immediato allora porsi il problema della verifica dell'effettiva rigidità dello strallo, sulla base delle considerazioni prima svolte.

Nella verifica che segue, lo strallo viene schematizzato come un unico cavo portante, che include tutti i trefoli posti internamente, e soggetto, oltre che al tiro *H*, al peso di tutti i suoi trefoli e a quello della guaina-manicotto in calcestruzzo armato precompresso.

La verifica viene effettuata utilizzando il modulo tangente di Dischinger relativo allo strallo inclinato soggetto alla tensione σ espresso dalla (24) riportata in (Como, 2020) e che per comodità si riporta:

$$E_t^* = \frac{E_a}{1 + \frac{a^2 \hat{q}^2}{12 A_a} \frac{E_a}{\sigma^3}} \tag{1}$$

La (1) fornisce il modulo tangente della risposta dello strallo pesante, inclinato e curvo, soggetto a una tensione di tiro σ, conseguente a un incremento della sua deformazione, valutata in rettilineo.

Nella (1):

E_a = modulo di elasticità dell'acciaio dei trefoli

σ = tensione iniziale nei trefoli

A_a = area complessiva dell'acciaio dei trefoli

$\hat{q}$ = peso unitario dello strallo per unità di lunghezza della sua proiezione orizzontale, come illustrato schematicamente nella Figura 6. In tale peso è incluso sia il peso dell'acciaio dei trefoli che quello della guaina in calcestruzzo.

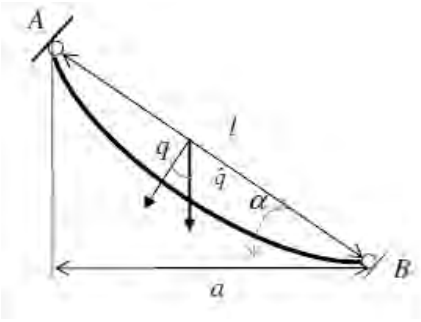


Fig. 6 – Carichi unitari sulla direzione inclinata e sulla proiezione orizzontale dello strallo.

Tab. 2 – Grandezze considerate nei calcoli

Grandezza	*Descrizione/valore*
Sezione del c.a.	$2 \cdot 0{,}61 \cdot 0{,}92 = 1{,}122$ m^2
Cavi posizione A	quelli interni che sostengono i carichi permanenti e parte degli accidentali
Cavi posizione B	sono quelli più esterni per la precompressione della guaina e poi parte degli accidentali
Peso dell'acciaio, g_{acc}	$0{,}043152 \cdot 7{,}86 = 0{,}338$ t/m
Peso del cls., g_{clc}	$1{,}196 \cdot 2{,}5 = 2{,}99$ t/m
Peso totale, g	3,328 t/m
Lunghezza proiezione orizzontale strallo, a	67,8 m
Lunghezza proiezione verticale strallo, v	45,0 m

Ciò premesso, considerando i dati in Tabella 1, si possono effettuare le valutazioni di cui alla Tabella 2.

Ciò premesso, con riferimento alla Figura 6, si esplicita la (1):

- lunghezza proiezione orizzontale strallo: $a = 67{,}8$ m
- lunghezza proiezione verticale strallo: $v = 45{,}0$ m
- $tg\alpha = \dfrac{45}{67.8} = 0{,}6637$
- lunghezza l in obliquo strallo $l = \sqrt{45^2 + 67{,}8^2} = 81{,}37m$
- $\cos\alpha = 0{,}833$
- $\hat{q} = \dfrac{3.328}{0.833} = 3{,}995t/m$

Caso 1: tensione nei trefoli $\sigma = 7000$ kg/cm^2

Con riferimento alla (1) ponendo

$$\chi = \frac{\hat{q}^2 a^2 E_a}{12 A_a^2 \sigma^3}$$

si ha, esplicitando:

$$\chi = \frac{3,995x6,78^2 x10^2 x2,05x10^7}{12x4,3152^2 x10^{-4} x7^3 x10^9} = 0,0491$$

$$\frac{1}{1+\chi} = \frac{1}{1.07791} = 0,93$$

Caso 2: tensione nei trefoli pari a 6000 kg/cm^2

$$\frac{1}{1+\chi} = \frac{1}{1.07791} = 0,93$$

Caso 3: tensione nei trefoli pari a 5000 kg/cm^2

$$\frac{1}{1+\chi} = \frac{1}{1,134} = 0,88$$

La rigidezza dello strallo in c.a.p. del ponte sul Polcevera, a causa della sua inflessione da peso proprio, si riduce quindi all'incirca del 10% rispetto a quella valutata sullo strallo rettilineo dotato di sola rigidezza estensionale.

È da ritenersi inoltre che le variazioni di tiro nello strallo dovute al passaggio dei carichi sul ponte comportino sempre la presenza di compressioni nello strallo, come dichiarato dallo stesso Morandi (1979).

All'epoca del progetto del ponte gli effetti non lineari dovuti a variazioni di geometria dello strallo erano probabilmente poco conosciuti e venivano valutati solo qualitativamente. Ciò nonostante, l'acutissimo intuito progettuale di Morandi, da quanto si è potuto verificare, ha consentito la realizzazione di uno strallo in c.a.p. di adeguata rigidezza, in grado di effettuare una efficace azione di sostegno sulla travata. Solo un forte degrado per carbonatazione del calcestruzzo potrebbe aver determinato una ossidazione, più o meno localizzata, dei trefoli esterni dello strallo.

Proprio per questa ragione, in Figura 7, si riportano, a conclusione dell'analisi svolta, il titolo e il sommario di un rapporto IABSE del 1979 dello stesso Riccardo Morandi sul possibile degrado del calcestruzzo del ponte sul Polcevera, soggetto a traffico pesante e sottoposto ad atmosfera aggressiva.

The long-term behaviour of viaducts subjected to heavy traffic and situated in an aggressive environment: the viaduct on the Polcevera in Genoa

Autor(en): **Morandi, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **032 (1979)**

SUMMARY
After a brief description of the common causes of wear to which a reinforced concrete bridge is most easily subject, the so-called wall cracks phenomenon is considered in detail and one limit case of a viaduct in Italy is described. The state of repair of the Polcevera Viaduct at Genoa (Italy) has also been examined, for which, while the statie behaviour of the various members is absolutely nor¬ mal, there is perplexity about the aggressivity of the local atmosphere on the concrete.

Fig. 7 – Titolo e sommario del rapporto IABSE di R. Morandi (1979).

Bibliografia

Bontempi F., Malerba P.G., Ciccone F. 1995. Sull'analisi non-lineare dei ponti strallati pre-compressi. Studi e Ricerche, Politecnico di Milano, 16. 289 – 320.

Como M. 2020. Storia della Statica dello Strallo e sua interazione con la costruzione dei ponti strallati in acciaio. Atti dell'VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria – 4th International Conference (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 6-7 aprile. Napoli: Cuzzolin.

De Miranda F. 1980. *I ponti strallati di grande luce*. Roma: Ed. Scientifiche A. Cremonese, Roma.

De Miranda F., Grimaldi A., Maceri F., Como M. 1979. *Basic problems in long-span cable stayed bridges*. Report 25, Department of Structures, University of Calabria.

Dischinger F. 1949. Hangebrucken fur schwerste Verkehrslasten. Bauingenieur, , 24, 3, 65-75; 4, 107-113.

Gimsing N.J. 1997. *Cable Supported Bridges: Concept and Design*, 2nd edition. New York: John Wiley & Sons.

Iori T., Poretti S. (a cura di). 2015. *SIXXI 3, Storia dell'ingegneria strutturale in Italia*. Roma: Gangemi.

Iori T., Poretti S. (a cura di). 2016. *La Scuola italiana di Ingegneria*. Numero monografico di Rassegna di architettura e urbanistica, 148, gennaio-aprile.

Iori T., Poretti S. (a cura di). 2017. *SIXXI 4, Storia dell'ingegneria strutturale in Italia*. Roma: Gangemi.
Malerba P.G. 2005. *I ponti strallati. Il contributo di Francesco Martinez Y Cabrera*. Milano: Politecnico di Milano.
Morandi R. 1979. The long term behaviour of viaducts subjected to heavy traffic and situated in an aggressive environment: the viaduct on the Polcevera in Genoa. IABSE Report 032.

Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino

La sicurezza antincendio negli edifici pregevoli per arte e storia

Abstract
The article no. 13 of Legislative Decree no. 139 of 8 March 2006 entitled Reorganization of the provisions relating to the functions and duties of the National Fire Brigade, defines fire prevention as a "function of pre-eminent public interest aimed at security of human life, personal safety and protection of property and the environment, according to uniform national criteria". However firefighting legislation appears oriented towards safeguarding human life and marginally towards the protection of cultural goods. This is even more evident in the Anglo-Saxon contest where the legislation deals in particular with the protection of human life while the protection of the building or of its assets is generally devolved to the insurance field. In national and international circle the approach to historic buildings changes. In addition to "safeguarding of human life", it is essential to guarantee the "safeguarding of cultural heritage". A new Presidential Decree is issued on August 1, 2011 n.151 with the aim of simplifying and remedied the difficulties of application of the fire prevention procedure to this buildings that are subject to controls but not characterized by a concrete fire risk. However the authorization procedure turns out to be longe and complicated because it involves recourse to the derogation institution with the consequent need to identify, through the evaluation process risk, the equivalent safety measures necessary to compensate the risk of fire due to failure to comply with the regulations.

Premessa
Il nostro Paese possiede un patrimonio artistico e culturale unico al mondo, dove per patrimonio culturale s'intende quello desumibile dal d.lgs. 42 del 2004 che dispone che siano "*beni culturali le cose immobili e mobili che, ai sensi degli artt. 10 e 11, presentano interesse artistico, storico, archeologico, etnoantropologico, archivistico e bibliografico e le altre cose individuate dalla legge o in base alla legge quali testimonianze aventi valore di civiltà*".

Secondo il rapporto *L'Italia dei musei*, pubblicato dall'ISTAT il 23 dicembre 2019 [1] "*l'Italia vanta 4.908 tra musei, aree archeologiche, monumenti e ecomusei aperti al pubblico. È un patrimonio diffuso su tutto il territorio: in un comune italiano su tre è presente almeno una struttura a carattere museale. Ce ne è una ogni 50*

km² e una ogni seimila abitanti. La maggior parte sono musei, gallerie o raccolte di collezioni (3.882), cui si aggiungono 630 monumenti e complessi monumentali, 327 aree e parchi archeologici e 69 strutture ecomuseali". Inoltre, l'Italia attualmente detiene 55 siti dei 1121 inclusi nella lista dei Patrimoni dell'umanità riconosciuti in base alla Convenzione UNESCO: il numero maggiore, pari a quello della Cina. Tale patrimonio rappresenta una ricchezza inestimabile per l'intera umanità e pertanto appare evidente che occorre preservarlo per renderlo fruibile alla collettività: "*la cultura è l'unico bene che, quando viene distribuito, aumenta di valore*" come sostenuto dal filosofo tedesco Hans Georg Gadamer. In Italia, questo concetto è sancito dalla Costituzione della Repubblica Italiana, che all'art. 9 recita: "*La Repubblica promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica. Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione*".

Alcuni incendi negli edifici storici italiani

Per l'eterogeneità delle tipologie edilizie, delle diverse modalità costruttive e della loro ubicazione, gli edifici storici risultano essere molto vulnerabili anche al rischio incendio. I principali fattori di rischio sono: i notevoli carichi di incendio dovuti alla presenza, in molti casi, di strutture lignee e di materiali combustibili dell'arredo e delle suppellettili, la quasi totale assenza di compartimentazioni antincendio e di elementi di protezione, la difficile applicazione delle misure prescrittive previste dalle norme vigenti.

Tra i principali incendi che hanno interessato strutture storiche e monumentali in Italia negli ultimi due secoli ricordiamo quelli del Teatro San Carlo di Napoli nel 1816, in Figura 1, della palazzina di Stupinigi, nel 1989, del Teatro Petruzzelli di Bari, nel 1991, del Duomo di Brescia nel 1992, della chiesa di S. Geremia di Venezia nel 1998, dell'Accademia di Francia a Trinità dei Monti di Roma nel 1999, del Teatro La Scala di Milano nel 2002 e della chiesa del Carmine di Roma nel 2007.

In molti casi accertati la presenza di cantieri per lavori di manutenzione e recupero ha rappresentato un ulteriore aggravio di rischio. Dal teatro la Fenice di Venezia nel 1996, alla Cappella di Guarini a Torino nel 1997, dalla Reggia di Caserta nel 1998, al Mulino Stucky a Venezia nel 2003, solo per citare alcuni dei più recenti, tanti sono i casi di incendi originati all'interno dei cantieri temporanei e dovuti alla mancanza del rispetto delle ordinarie normative in materia di organizzazione del cantiere.

Probabilmente è riconducibile al cantiere relativo ai lavori di restauro anche l'incendio della basilica di Notre-Dame di Parigi, avvenuto il 15 aprile 2019, che per il fortissimo impatto emotivo sulla popolazione, ricorda l'incendio avvenuto nel 1943 nella Basilica di Santa Chiara a Napoli, in Figura 2, causato dai bombardamenti della Seconda Guerra mondiale che interessarono il centro storico di Napoli e che non risparmiò la copertura lignea della Basilica, gran parte degli interni e gli affreschi di Giotto.

Fig. 1 – Antonio Niccolini, "L'interno del Teatro San Carlo dopo l'incendio", Napoli, Museo di San Martino.

Fig. 2 – Incendio della Basilica di Santa Chiara a Napoli.

Fig. 3 – Incendio della sede di Corso Umberto dell'Università degli Studi di Napoli.

Sempre nel 1943, andò in fiamme lo storico edificio di corso Umberto sede dell'Università di Napoli, in Figura 3, molto probabilmente a opera dei tedeschi in ritirata il 12 settembre.

L'evoluzione storica della normativa antincendio

L'irriproducibilità è caratteristica propria del patrimonio storico e la tutela del bene deve essere garantita anche attraverso la sicurezza antincendio, strumento di prevenzione oltre che di conservazione degli edifici storici.

Nel secolo scorso sono apparsi i primi strumenti legislativi relativi alla tutela del patrimonio storico rispetto al rischio incendio, passando dall'interesse esclusivo per la salvaguardia degli occupanti dei beni d'interesse e ad una scarsa attenzione per quella dell'involucro edilizio al contemperamento di entrambe le necessità.

Con l'emanazione del Regio Decreto n. 1564 del 7 novembre 1942 (Re d'Italia, 1943) sugli impianti negli edifici di pregio si è avuta la prima presa d'atto della carenza legislativa per la salvaguardia degli edifici "pregevoli per arte e storia".

Il D.M. 16 febbraio 1982 (MI, 1982) sulla determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi, all'attività n. 90 prevedeva tra quelle soggette al controllo dei Vigili del Fuoco gli "*Edifici pregevoli per arte o storia e quelli destinati a contenere biblioteche, archivi, musei, gallerie, collezioni o comunque oggetti di interesse culturale sottoposti alla vigilanza dello Stato di cui al regio decreto 7 novembre 1942, n. 1664*".

Decreti più recenti, che pendono in considerazione la protezione dagli incendi negli edifici destinati a ospitare beni culturali, biblioteche e archivi sono il D.M. n. 569 del 20 maggio 1992 (MiBAC, 1982), relativo edifici storici e artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni e mostre e il D.P.R. n. 418 del 30 giugno 1995 (presidente della repubblica, 1995) che fa riferimento agli edifici di interesse storico-artistico destinati a biblioteche e ad archivi.

Tutti i decreti citati prendono in considerazione la salvaguardia delle persone, con un focus sui tempi di evacuazione dell'edificio.

Con l'entrata in vigore, il 7 ottobre 2011, del *Nuovo Regolamento di prevenzione incendi* (Presidente della Repubblica, 2011)è stata definita l'assoggettabilità alla prevenzione incendi degli edifici tutelati dallo Stato, comprendendoli nell'attività n.72, categoria C, dell'allegato I e introducendo una visione più ampia e innovativa della finalità della prevenzione incendi. Infatti, con questo Codice, progettare la sicurezza antincendio di un'attività significa individuare le soluzioni tecniche finalizzate alla sicurezza della vita umana e alla incolumità delle persone, alla tutela dei beni e alla tutela dell'ambiente, attraverso l'utilizzo di opportuni indicatori. Il decreto rappresenta un primo passo verso la tutela dei beni, anche se gli obiettivi primari restano essenzialmente orientati alla salvaguardia della vita umana e solo marginalmente alla tutela degli edifici.

In Italia le esigenze di conservazione del bene tutelato molto spesso non consentono il rispetto di prescrizioni imposte da un approccio di tipo deterministico ed è questo è il motivo per cui molto spesso si fa ricorso all'istituto della Deroga o alla Fire Safety Engineering.

Gli edifici storici destinati a contenere attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco devono rispettare specifiche regole senza tener conto delle particolari problematiche insite nell'architettura dell'edificio e connesse alle esigenze di tutela del patrimonio artistico. Tali regole prevedono quasi sempre una sezione che riguarda l'adeguamento per le attività esistenti e una serie di deroghe cui il professionista può fare riferimento al fine di adeguare l'edificio alla nuova destinazione d'uso senza stravolgerne l'architettura. Ciò nonostante, spesso, la presenza di vincoli propri di un edificio sottoposto a tutela rende indispensabile il ricorso alla deroga o alla Fire Safety Engineering.

La deroga nasce dalla necessità di valutare se può essere consentito l'esercizio di un'attività anche se non sono osservate tutte le prescrizioni di sicurezza antincendi previste dalla specifica regola tecnica di riferimento. Condizione necessaria per presentare istanza di deroga è, quindi, l'esistenza della "*regola tecnica verticale"* di prevenzione incendi relativa all'attività oggetto della richiesta e non la presenza esclusiva di linee guida o linee di indirizzo

L'approccio di tipo ingegneristico/prestazionale si basa invece sulla predizione della dinamica dell'incendio tramite l'utilizzo di modelli di calcolo avanzato. Tale

approccio consente la simulazione di incendi di complessità anche molto elevata attraverso la valutazione preliminare di un certo numero di dati di input, quali la geometria del dominio di calcolo, le condizioni di ventilazione, il tipo e quantità del combustibile presente all'interno degli ambienti. I limiti più evidenti di tale approccio risiedono nella validazione sperimentale dei modelli utilizzati.

Con la lettera circolare DCPREV prot. n. 3181 del 15 marzo 2016 è stata trasmessa una Linea guida per la valutazione, in deroga, dei progetti di edifici sottoposti a tutela ai sensi del cosiddetto Codice dei Beni Culturali *(Governo italiano, 2004). Il* documento [2], predisposto dai Vigili del Fuoco in collaborazione con il MiBACT, è scaturito da una puntuale analisi dei casi di deroga cui si è fatto più frequentemente ricorso.

Un caso di studio

Il ricorso alle procedure di cui si è fin qui parlato è frequente per le attività di cui al punto 67 dell'all. 1 al D.P.R. n. 151/2011 (Presidente della Repubblica, 2011) che si riferisce agli edifici per l'istruzione ospitati in edifici di interesse storico.

Un esempio è il complesso Universitario di via Mezzocannone 16 in Napoli, ex Convento Donnaromita. L'edificio, ubicato in pieno centro storico di Napoli, è stato recentemente oggetto di un progetto di restauro finalizzato, tra l'altro, alla riorganizzazione funzionale degli spazi e delle attività e incentrato sulla eliminazione delle alterazioni deturpanti o incongrue rispetto ai valori storici dell'opera apportate al complesso nel secolo scorso.

Il progetto prevede, inoltre, tutti i lavori utili per presentare la Segnalazione Certificata di Inizio Attività al Comando Provinciale dei VV.F di Napoli per il successivo rilascio del Certificato di Prevenzione Incendi.

In fase di elaborazione del progetto antincendio, l'edificio è risultato essere soggetto ai controlli dei Vigili del Fuoco ai sensi del D.P.R. 151/2011, per le attività di seguito elencate:

- Attività 67 (attività principale) - Attività 67.4.C: Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 300 persone presenti;
- Attività 49 - Attività 49.2.B: Gruppi per la produzione di energia elettrica sussidiaria con motori endotermici e impianti di cogenerazione di potenza complessiva da 350 a 700 kW;
- Attività 74 - Attività 74.3.C: Impianti per la produzione di calore alimentati a combustibile solido, liquido o gassoso con potenzialità superiore a 700 kW.

Nel caso in specie si è fatto ricorso al procedimento di deroga per quanto concerne le lunghezze massime prestabilite per i percorsi d'esodo. In alcuni piani dell'edificio le lunghezze delle vie di esodo eccedevano, infatti, quelle prestabilite dalla norma di riferimento, il D.M. 26 agosto 1992 (MiBAC, 1992).

Fig. 4 – Prospetto dell'edificio di via Mezzocannone 16.

Considerando che, trattandosi di edificio di pregevole interesse storico, non era ipotizzabile realizzare dei filtri a prova di fumo in prossimità delle scale di emergenza, si è dovuto ricorrere alla procedura in deroga individuando le misure compensative sufficienti ad annullare il maggiore rischio dovuto alla mancanza di rispetto della norma per il punto in esame.

L'applicazione della normativa antincendio

Attualmente il *Nuovo Regolamento di prevenzione incendi*, che garantirebbe un approccio di tipo prestazionale agevolando il connubio tra la salvaguardia della vita umana e del valore del bene, quale vestigia di storia materiale, trova una scarsa applicazione da parte dei professionisti dell'antincendio a causa del ritardo nell'assimilazione del nuovo metodo e nelle difficoltà di intraprendere un nuovo percorso procedurale.

Nel 2019 il Consiglio Nazionale degli Ingegneri ha svolto un sondaggio tra i professionisti dell'antincendio per individuare lo stato di applicazione del Regolamento e le eventuali cause della mancata applicazione [3].

Il sondaggio è stato svolto proponendo 13 domande e di seguito sono riportati i risultati di due delle domande più significative ai fini del presente studio.

Dallo studio emerge una scarsa applicazione del nuovo codice, dovuta prevalentemente a un maggiore vigore della stessa e una maggiore difficoltà applicativa riscontrata dai professionisti antincendio.

Vista la potenzialità e l'innovativo approccio, si auspica una maggiore diffusione della nuova metodologia agevolata da direttive e chiarimenti emanati dai Comandi dei Vigili del fuoco.

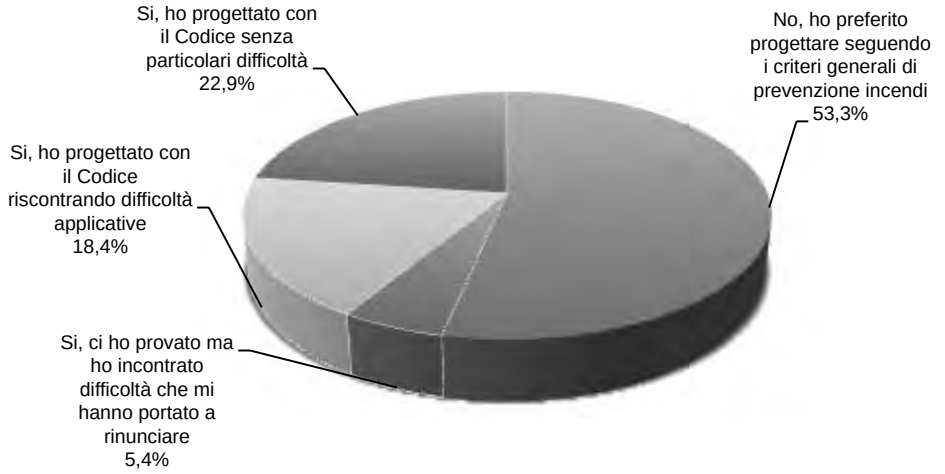


Fig. 5 – Risultati relativi alla domanda: Hai avuto l'opportunità di progettare con il codice di prevenzione incendi?

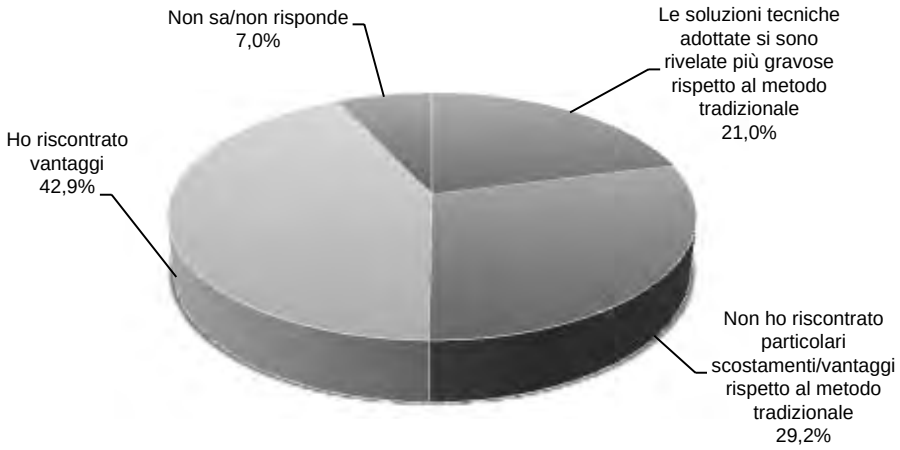


Fig. 6 – Risultati relativi alla domanda: Progettando con il codice, quali differenze sono emerse rispetto all'approccio tradizionale?

Bibliografia

AA.VV. 1997. Teatri storici. Dal restauro allo spettacolo (a cura di L. Bortolotti L. e L. Masetti Bitelli). Fiesole: Nardini.

AA.VV. 1999. Il San Carlo e i Teatri della Campania. Roma: Pierro Editore.

Giomi G., Pais P.R. 2011. Tutte le norme di prevenzione incendi. Roma: EPC.

Governo italiano. 2004. Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137. D.Lgs. 22 gennaio 2004 , n. 42. Gazzetta Ufficiale n. 45 del 24 febbraio 2004, S.O. n.28.

Lucherini V. 2011. Le tombe angioine nel presbiterio di Santa Chiara a Napoli e la politica funeraria di Roberto d'Angiò. In: Medioevo: i committenti. Atti del convegno internazionale di studi. Parma, 21- 26 settembre 2010, 477-504. Milano: Electa.

Marsella S., Nassi L. 2010. L'ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale. Roma: EPC.

Mazziotti L., Paduano G., La Mendola S. 2010. Reazione e resistenza al fuoco. Roma: EPC.

MI. 1982. Modificazioni del decreto ministeriale 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi. D.M. 16 febbraio 1982. Gazzetta Ufficiale n. 98 del 9 aprile 1982.

MI. 2007. Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio. DECRETO 9 maggio 2007. Gazzetta Ufficiale n. 117 del 22 maggio 2007.

MiBAC. 1992. Norme di sicurezza antincendio per gli edifici storici e artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni e mostre. D.M. n. 569 del 20 maggio 1992. Gazzetta Ufficiale n. 52 del 4 marzo 1992.

Presidente della Repubblica. 1995. Norme di sicurezza antincendio per gli edifici di interesse storico-artistico destinati a biblioteche ed archivi. D.P.R. n. 418 del 30 giugno 1995. Gazzetta Ufficiale n. 235 del 7 ottobre 1995.

Presidente della Repubblica. 2011. Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122 D.P.R. n. 151 dell'1 agosto 2011. Gazzetta Ufficiale n. 221 del 22 settembre 2011.

Re d'Italia. 1943. Norme per l'esecuzione, il collaudo e l'esercizio degli impianti tecnici che interessano gli edifici pregevoli per arte o storia e quelli destinati a contenere biblioteche, archivi, musei, gallerie, collezioni e oggetti d'interesse culturale. Regio Decreto n. 1564 del 7 novembre 1942. Gazzetta Ufficiale n. 8 del 12 gennaio 1943.

Webgrafia

[1] https://www.istat.it/it/archivio/237159

[2] https://www.insic.it/Prevenzione-incendi/Notizie/Beni-tutelati-online-la-Linea-Guida-VVF/356e0606-c1c4-4190-9dec-9587bbfd5faa www.vigilfuoco.it › sitiVVF › ascolipiceno ›downloadFile

[3] https://www.ordineingegneri.pn.it/uploads/files/indagine-prevenzione-incendi-2019-lq.pdf

Carmine Casale

Macchine e uomini della refrigerazione

Abstract
The paper first discusses the scientific researches and achievements to be considered the basic background that eventually allowed the foundation of the refrigeration theory. Then it discusses about the needs that urged for the availability of the means, the ice, that would help principally in the conservation of food. That reason brought to the creation of an industry based on the harvesting and selling of "natural" ice and creation of the "ice box". With the advancement of the technology, refrigeration systems were devised and introduced to produce ice artificially. The coming on the scene of the electric motor and the possibility of distributing the electric power practically everywhere made it possible to realize a "refrigerator" for the households. Information is also given on the most recent advancements of the refrigerating industry.

Introduzione

> *È la scienza che provvede il "perché" rendendoci capaci di comprendere le forze che stanno dietro ai fenomeni che osserviamo, e ci permette in questo modo di inventare nuove applicazioni che non erano evidenti nelle precedenti esperienze (Meckler, 1993).*

Se è la Scienza che attraverso l'osservazione ci mostra il perché e quindi la ripetibilità del fenomeno, l'Ingegneria, che nel suo etimo contiene la radice Genio (gignare=produrre), risponde con il talento, spesso naturale, che ne sfrutta i significati per creare mezzi e sistemi che agevolino, migliorino e rendano più efficace l'esistenza umana. Talvolta, le posizioni si scambiano, proprio a dimostrare quanto Scienza e Ingegneria siano interconnesse. E la ricerca e l'applicazione sono continue, non hanno fine: sono il Progresso. Questo continuo progredire è raccontato dalla Storia ed è proprio questo affascinante racconto che è propedeutico alle future conoscenze dell'uomo.

Di seguito è riportato un breve excursus che vuole ripercorrere il lungo cammino delle invenzioni che hanno permesso la creazione e poi lo sfruttamento di quella che oggi definiamo Tecnica della Refrigerazione che, in tutte le sue applicazioni tecnologiche, ha raggiunto oggi nell'economia mondiale valori dapprima inimmaginabili:

secondo l'ultimo rapporto del 23 giugno 2019 dell'Istituto Internazionale del Freddo è responsabile del 25% dell'energia elettrica consumata annualmente, con oltre 5 miliardi di apparecchiature installate; il comparto impiega globalmente oltre 15 milioni di operatori e l'industria manufatturiera e impiantistica è in forte espansione a causa dei crescenti bisogni di refrigerazione, specialmente nei Paesi in via di sviluppo, e dell'aumento delle temperature dovuto al riscaldamento globale. Le vendite annuali delle sole apparecchiature ammontano a oltre 600 miliardi di euro. La refrigerazione è oggi particolarmente vitale per ridurre le perdite di alimenti dopo il raccolto e la loro conservazione: circa 1,1 miliardi di persone rischiano la fame per l'impossibilità di usare processi di refrigerazione; è molto importante sia per il benessere umano in quanto parte essenziale dei processi di condizionamento dell'aria, per la sanità, si pensi alla conservazione dei medicinali e dei tessuti biologici, e in innumerevoli processi industriali e chimici.

Questa memoria offre innanzitutto un indispensabile cenno cronologico delle scoperte di base che formano il *background* scientifico della Tecnica della Refrigerazione. Partendo poi da considerazioni di carattere generale, passa all'esame storiografico delle necessità che con il tempo si sono presentate alla società umana nel campo della preservazione e della conservazione di alimenti e derrate. Dopo una breve descrizione dell'industria del ghiaccio naturale, percorre i passaggi chiave di quella che è diventata una tecnologia di larga diffusione e di primaria importanza anche in campi diversi da quelli che fornirono la spinta originale.

I precursori, coloro che resero tutto possibile

La Storia della tecnica della refrigerazione non può che partire dall'elenco delle ricerche e delle scoperte scientifiche che la precedettero, la resero possibile e l'accompagnarono nel suo sviluppo, tenendo conto nello stesso tempo dell'indissolubile suo legame con le teorie riguardanti ventilazione e riscaldamento, due tecnologie che ne costituirono in un certo senso la culla e l'incubatrice. La base di partenza non può essere che Galileo Galilei, che nel 1592 inventò e introdusse tra l'altro il termoscopio per la misurazione della temperatura. Subito dopo, il suo devoto discepolo Evangelista Torricelli dimostrò il concetto di pressione atmosferica e nel 1643 inventò il barometro a mercurio, fondamentali per le elucubrazioni del futuro.

Di rilevanza quasi ugualmente notevole fu, nel 1645, l'invenzione della pompa del vuoto, dovuta al tedesco Otto von Guericke, che in realtà voleva mostrare praticamente il concetto della pressione atmosferica con il famoso esperimento di Magdeburgo. Questa invenzione fu seguita pochi anni dopo dalle intuizioni dell'inglese Robert Boyle, fondatore e socio della Royal Society, che nel 1660, compiendo esperimenti proprio su quella pompa, enunciò la legge sul rapporto pressione-volume dei gas, cui Edme Mariotte dell'Academie Française aggiunse i risultati dei suoi studi sul ruolo della temperatura, arrivando alla legge di Boyle e Mariotte. Dopo circa

un secolo, nel 1787, il francese Jacques Charles, stabilì il ruolo determinante della temperatura nell'espansione termica determinando la relazione pressione-volume-temperatura, giungendo alla formulazione attuale dell'equazione di stato dei gas. Nello stesso tempo il fisico francese Joseph Louis Gay-Lussac, circa 1810, pubblicò la legge sull'espansione dei gas, dando il vero inizio alla scienza moderna atomico-molecolare della materia.

Non si possono poi tralasciare le osservazioni del 1738 dello svizzero Daniel Bernoulli sulle oscillazioni e le collisioni di atomi e particelle, alla base della sua teoria cinetica del calore. Tra il 1757 e il 1762 il chimico scozzese Joseph Black, basandosi su studi di Hermann Boerhaave e Daniel Fahrenheit, introdusse la distinzione basilare tra temperatura e quantità di calore, e definì il calore latente e il calore specifico, oltre a scoprire l'anidride carbonica.

Verso la fine del XVIII secolo, B. Thomson, in seguito conte Rumford, si occupò della teoria del calore. Mentre controllava l'alesatura di canne per armi da fuoco, realizzò degli esperimenti che così descrive:

"Trovandomi recentemente impegnato nel dirigere la foratura di cannoni nelle officine dell'arsenale di Monaco, fui sorpreso dal considerevolissimo grado di calore che in breve tempo un cannone di ottone acquista con la foratura, nonché dall'ancora più intenso calore (assai superiore a quello dell'acqua bollente, come constatai sperimentalmente) dei trucioli metallici che il trapano separa dal cannone… Donde proviene il calore effettivamente prodotto durante l'operazione meccanica suddetta? È esso fornito dai trucioli separati col trapano dalla massa solida del metallo? Se così fosse, allora secondo la moderna dottrina del calore latente e del calorico, la capacità termica dovrebbe risultare non soltanto modificata, ma la modificazione subita dai trucioli dovrebbe essere abbastanza grande per dare ragione di tutto il calore prodotto. Ma nessuna modificazione del genere erasi prodotta, poiché prendendo pesi uguali di questi trucioli e di sottili fettine dello stesso blocco di metallo separate per mezzo di una sega fine, e immergendo gli uni e le altre, alla stessa temperatura (quella dell'acqua bollente), in quantità eguali di acqua fredda, accertai che l'acqua nella quale erano immersi i trucioli non appariva né più né meno scaldata di quell'altra, nella quale erano immerse le fettine di metallo[…] mi pareva pertanto difficile, per non dire impossibile, formarmi l'idea di qualche cosa che non fosse il moto, che potesse essere generato e comunicato così come il calore era generato e comunicato nei miei esperimenti". Thomson, cioè, giunse alla conclusione che la quantità di calorico contenuta in un corpo è indipendente dalla sua natura e dalle sue dimensioni, che una quantità limitata di materia può contenere una quantità illimitata di calorico e che l'energia termica prodotta non può essere presente origina-

riamente nel corpo considerato. L'esperimento dimostrava un chiaro legame tra energia termica a meccanica, senza però fornire indicazioni quantitative.

A queste grandi scoperte, propedeutiche a tutta la scienza di base della termodinamica, vanno aggiunte alcune intuizioni e alcuni risultati raggiunti nella "termodinamica classica", in particolare quelle riguardanti i fluidi, sul cui utilizzo si basano le tecnologie moderne.

Tra i primi da citare è lo scienziato inglese John Dalton (1766-1844), che formulò la legge delle miscele gassose per la quale ciascun costituente della miscela si comporta come se da solo occupasse tutto il volume disponibile, seguito dal connazionale William Henry (1775-1836), che enunciò la legge che regola la solubilità di un gas in un liquido. Dagli studi del fisico Antoine Laurent de Lavoisier (1780-1794) sulla conservazione della massa e del matematico Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) nacque la calorimetria. Il fisico inglese James Prescott Joule nel 1845 scoprì l'equivalente meccanico del calore ed enunciò il principio di conservazione dell'energia. Riferendosi all'invenzione del primo motore termico, dovuta a James Watt nel 1765, Nicolas Léonard Sadi Carnot nel 1824 scrisse le sue "Riflessioni" sulle macchine che producono forza motrice, presentando il ciclo reversibile che ha preso il suo nome, il cui rendimento, sempre inferiore all'unità, dipende solo dalle temperature delle sorgenti e non dalla natura del gas usato. Non si può dimenticare William Thomson, Lord Kelvin, che, affascinato dal dilemma che il concetto di calore come forza viva (energia cinetica) delle particelle di un corpo, espresso da Joule, è inconciliabile con il ciclo ideale di Carnot in cui l'energia meccanica è generata dall'energia termica che entra nel ciclo da una sorgente ad alta temperatura e che in parte è scaricata in una sorgente a bassa temperatura, introduce il concetto dello "zero assoluto", situazione in cui si annullano i movimenti delle particelle e nel 1847 definisce la scala delle temperature assolute.

Arriviamo così al 1834 quando il fisico francese Emile Clapeyron ridisegna il diagramma del ciclo di Carnot aggiungendo la rappresentazione del lavoro. Nel 1865 il fisico e matematico tedesco Rudolph Clausius introduce il concetto di entropia, che misura il livello di degrado dell'energia, e stabilisce che i processi naturali sono accompagnati da un aumento dell'entropia dell'universo. Clausius e Clapeyron possono essere considerati i fondatori della termodinamica.

Infine, nel 1878 lo scienziato statunitense Josiah Willard Gibbs produsse i primi diagrammi temperatura-entropia e volume-entropia.

I Pionieri della Refrigerazione

Nel 1589 Giambattista della Porta ottenne temperature molto basse aggiungendo neve al nitrato di potassio. Nel 1657 l'Accademia del Cimento, a Firenze, per ottenere basse temperature utilizzava miscele refrigeranti, indicate da Francis Bacon e

usate anche da Robert Boyle, e nel 1685 il matematico francese Philippe de Lahire ottenne ghiaccio immergendo una fiala d'acqua in nitrato di ammonio.

Nel 1755 il chimico scozzese William Cullen dimostrò che si può ottenere freddo facendo evaporare i gas e produsse ghiaccio facendo evaporare sotto forte vuoto un liquido volatile. Nel 1810 il fisico scozzese John Lislie ripercorse i risultati di Jacques Charles e Joseph Gay-Lussac sulla relazione tra volume e temperatura nei gas e formulò le basi della refrigerazione per assorbimento; riuscì a ottenere temperature molto basse e a produrre ghiaccio facendo evaporare acqua sotto vuoto e usando l'acido solforico per assorbire il vapore acqueo.

Nel 1823 Michel Faraday, che già aveva sviluppato la dinamo, aprendo la strada al motore elettrico, fece liquefare cloro, ammoniaca, anidride carbonica e altri gas, scoprendo i primi refrigeranti. Infine, nel 1870, Carl von Linde, comparando l'efficienza delle macchine per refrigerazione ad aria, le macchine ad assorbimento e i compressori con vapori condensabili, concluse che questi ultimi erano i migliori e, usando l'ammoniaca come fluido refrigerante, sviluppò il primo refrigeratore affidabile, economico ed efficiente che fu poi largamente usato nel mondo.

Le necessità iniziali e i primi tentativi di poter utilizzare il freddo

Nonostante la refrigerazione come vera tecnologia abbia avuto il suo maggiore impulso altrove, nel nostro Paese all'inizio del 1500 apparvero i primi tentavi di produzione pratica del freddo utilizzando degli elementi chimici. A diletto della nobiltà si trovò che immergendo le bottiglie di vino in una miscela di acqua e nitrato di ammonio, salnitro si chiamava allora, queste si raffreddavano. Anche Blasio Villafranca ne parla (1550) e usa per la prima volta il termine "refrigerato"; abbiamo già citato anche gli esperimenti di Della Porta, 1589, ai quali vanno aggiunti quelli del napoletano Tancredi. Ma in Italia tutto finisce qui; anche in anni a venire e relativamente a settori di universale importanza, gli scienziati e gli inventori italiani, spesso antesignani nelle loro scoperte, non hanno trovato l'humus per tradurre in realtà le loro idee. Dobbiamo forse arrivare a Guglielmo Marconi per trovare qualcosa di nostro sviluppato e introdotto a livello mondiale.

In compenso, molto si fece in Europa, ma alle grandi scoperte scientifiche seguirono nel nostro campo solo poche applicazioni pratiche altrettanto importanti.

Anche nei secoli XVII e XVIII la "pratica" non tenne assolutamente il passo con le scoperte che appaiono in fondo il risultato dell'illimitata e "illuminata" sete di sapere degli scienziati, frutto di elucubrazioni matematiche se non psicologiche, nella continua ricerca del "perché".

G. Richmond della solita *Royal Society*, basandosi su esperimenti tradotti addirittura dal latino da Augustine Roux, notò che un termometro il cui bulbo era avvolto in una benda umida misurava una temperatura minore di quella misurata da un termometro il cui bulbo era asciutto, immaginando così che vi fosse qualche "agente"

nell'aria che induceva il freddo. Fu infine un medico scozzese, William Cullen, il primo a produrre bassa temperatura facendo bollire un liquido volatile sotto vuoto. Eravamo al raffreddamento per evaporazione. Ma non si andò oltre.

Cresceva intanto negli Stati Uniti, particolarmente nelle zone urbane e nel sud sud-ovest, la domanda di disporre di ghiaccio per la conservazione degli alimenti e non solo. La domanda era pressante anche nelle isole caraibiche e nei Paesi del centro America. Mentre in Europa il ghiaccio, o comunque una poltiglia molto fredda, si poteva mantenere per una futura utilizzazione stipando la neve in buche procurate nel terreno, in America si imponeva il fattore delle distanze e della concentrazione degli abitanti, che particolarmente nelle grandi città raggiungeva numeri molto importanti già per quei tempi. Si sviluppò così la "industria del ghiaccio naturale" che comparve anche in Europa del Nord dove si cominciò a importare ghiaccio dalla Norvegia. Frederic Tudor (1783-1864), noto come il re universale del ghiaccio, insieme al socio James Savage fu il primo e maggiore impresario a intraprendere questo commercio. Si pensi che nel 1872 vennero vendute negli Stati Uniti 220 mila tonnellate di ghiaccio naturale (le birrerie ne erano i maggiori clienti industriali), oltre a quello venduto in altri Stati, fino al Sud America, alla Cina, alle Filippine e persino all'Australia. La raccolta avveniva nei grandi laghi a nord del Massachusetts: il ghiaccio veniva "affettato" dalla superficie dei laghi e con vari sistemi caricato a bordo delle navi. Nelle grandi città si era diffuso l'uso, ora possibile per la disponibilità del ghiaccio, delle "scatole del freddo", le ghiacciaie, accompagnate dall'offerta di fieno trattato, detto *fieno salato*, e paglia per evitare lo scioglimento rapido del ghiaccio nelle ghiacciaie: le barre di ghiaccio pesavano tra 150 e 200 kilogrammi e sembra incredibile pensare al lavoro dei portatori che le trasportavano fino ai piani alti delle abitazioni, spesso con scale esterne perché le barre non passavano nelle trombe delle scale degli edifici. Nel 1890 la *Grand Rapids Refrigerator Co.* del Michigan aveva un catalogo di ben 706 pagine e agenti a Boston, New York C., Detroit, Chicago, Philadelphia, St. Louis, New Orleans e Milwaukee nel Wisconsin. E non era l'unica: si contarono guadagni di milioni di dollari.

Entriamo così nel XIX secolo, che vedrà l'attuazione pratica e lo sfruttamento delle teorie precedentemente espresse, con la nascita e lo sviluppo della refrigerazione meccanica per arrivare a fine secolo al completo controllo automatico della temperatura.

Dobbiamo comunque ricordare due importanti realizzazioni, che videro però la luce e lo sviluppo per il settore del riscaldamento: il ventilatore e lo scambiatore di calore. Il primo ebbe il suo apice con la *B.F. Sturtevant Co* di Boston, il secondo con la *American Radiator Company* con fabbriche a Detroit e Buffalo, N.Y. Vi furono in Europa esempi originali di queste applicazioni, ma quando si trattò di passare a vere produzioni industriali si ricorse a licenze di fabbricazione americane.

Fu in verità un tecnico e non uno scienziato, il meccanico statunitense Oliver Evans, uno dei primi, se non il primo, a teorizzare nel 1805 un ciclo continuo di refrigerazione

a compressione di vapore. Il sistema consisteva in una grande pompa ad aria, azionata da un motore a vapore, che creava il vuoto in un contenitore di etere sul quale era posto un disco con un piccolo bordo, contenente acqua; il vapore di etere che evaporava a ogni corsa dello stantuffo raffreddava l'acqua fino a congelarla. Il vapore di etere aspirato veniva compresso tramite una seconda pompa in un contenitore sommerso in acqua dove condensava, cedendo all'acqua il suo calore, per poter essere riportato nella primitiva fase di espansione. Un amico di Evans, John Perkins, riuscì a brevettare il sistema e a costruire nel 1834 una macchina perfettamente funzionante grazie a un finanziamento della Banca d'Inghilterra, Paese dove restò per tutta la vita continuando a perfezionare la sua macchina di refrigerazione a compressione di vapore. La macchina fu ripresa, migliorata, diremmo industrializzata, da un altro transfuga americano in Inghilterra, John Hague, che perfezionò ancora la macchina di Perkins riuscendo anche a brevettarla e costruirla in serie come *macchina del ghiaccio* nel 1834.

Ma il primo vero successo per la refrigerazione meccanica arrivò con l'americano John Gorrie, un giovane e brillante medico e ricercatore, che non fu l'unico a cimentarsi in questo campo. Egli impiegò tutte le sue energie per la salute dei pazienti del suo sanatorio in Florida, devastato da colera e febbre gialla, il cui stato di salute a suo parere sarebbe migliorato se avessero avuto la possibilità di respirare aria fresca e asciutta. Nel 1849 Gorrie ottenne tre brevetti per la produzione artificiale del freddo, ma in realtà egli costruì il primo vero impianto di condizionamento dell'aria. L'insieme comprendeva una pompa a pistone a doppio effetto che aspirava l'aria dal locale da raffreddare, comprimendola poi in un serbatoio dotato di una valvola di intercettazione a contrappeso; raggiunta la pressione desiderata, l'aria passava in un contenitore di espansione dove veniva raffreddata e deumidificata con acqua refrigerata proveniente da un sistema di compressione con scambiatore di condensazione del tipo a mantello. Gorrie morì prima di realizzare la commercializzazione della sua macchina, che aveva avuto anche critiche e suggerimenti anche da parte dell'ingegnere britannico-tedesco Carl Wilhelm Siemens.

L'eclettico ingegnere americano Alexander Catlin Twinings (1801-1884) è generalmente riconosciuto come il padre del metodo di refrigerazione a compressione di vapore; la sua prima macchina industriale fu costruita dalla *Steam Furnace Company* di Cleveland, che nel 1855 fu capace di produrre circa 800 tonnellate di ghiaccio, ma la Guerra Civile impedì ogni ulteriore progresso.

Arriviamo così agli inizi della refrigerazione commerciale con Harrison, Seibe e Carré. Un certo John Harrison, stampatore e poi editore di giornali, fu convinto a trasferirsi in Australia nel 1837 per impiantarvi la filiale di un giornale britannico; nel 1854, con l'aiuto di un suo amico maniscalco, John Scott, sperimentò un sistema di refrigerazione a compressione di vapore usando etere come refrigerante, che riuscì a brevettare. L'evaporatore e il condensatore erano metallici: l'evaporatore consisteva in un vassoio con una superficie piana sulla quale si stendeva un velo d'acqua che

cedeva energia termica all'etere e passava allo stato solido, mentre il condensatore era costituito da un tubo immerso in un serbatoio d'acqua che veniva riscaldata. Harrison tornò in Inghilterra dove contattò la *Seibe and Co.* per dotare il compressore di un motore a vapore, con la conseguenza che questa macchina del ghiaccio fu prodotta dalla Harrison in Australia e dalla Seibe in Gran Bretagna.

La refrigerazione per l'industria del ghiaccio e per il freddo nella industria

La seconda metà del XIX secolo vide lo sviluppo della refrigerazione commerciale in diverse parti del mondo, a partire dalla Francia, dove operarono Carré e Tellier, e della Germania, dove Carl Linde introdusse l'approccio termodinamico e il calcolo energetico.

Il prolifico ricercatore francese Ferdinand Carré (1824-1900) ottenne più di 50 brevetti, ma la sua grande ambizione era quella di trasformare le sue invenzioni in reali applicazioni industriali. Introdusse il compressore a membrana, diversi tipi di evaporatori e condensatori, raffreddatori d'aria e scambiatori di calore, cristallizzatori di liquidi e sistemi di ventilazione. La sua invenzione più importante fu l'introduzione dello scambiatore a doppio tubo concentrico e di quello che oggi chiamiamo "a mantello", con un fascio di tubi immersi in un contenitore di liquido.

Quasi contemporaneamente, sempre in Francia, Louis Charles Tellier (1828-1913), che con suo fratello minore Edmond fu pioniere dell'industria del ghiaccio, costruì una macchina che si avvaleva di un compressore di vapore e di etere di metile come refrigerante, che entrò in produzione nel 1868 e che gli valse la menzione d'onore come "Père du Froid". La macchina fu in qualche modo portata negli Stati Uniti da compratori che rimasero sconosciuti o comunque che scomparvero durante la Guerra Civile e introdotta negli stati del Sud dove a New Orleans, negli anni 1880, fu ulteriormente perfezionata da Daniel Hudson. A dire il vero, tutte queste macchine raramente raggiungevano un rendimento del 20%. Fu il tedesco Carl Linde (1842-1934) che primo affrontò il problema da un punto di vista teorico. Come professore di meccanica all'Università di Monaco, Linde si cimentò nella creazione di un metodo di cristallizzazione della paraffina esistente nei fondi di immagazzinamento del greggio per ottenerne la separazione attraverso un sistema di refrigerazione, questa volta basato su un approccio teorico diversamente dai sistemi pratici dei suoi predecessori. Egli fu contemporaneamente, come si disse all'epoca, scienziato, professore, ingegnere e imprenditore industriale. Linde era persuaso che il miglior sistema di refrigerazione fosse quello a compressione di vapore e di questo persuase gli industriali della birra di Monaco, ottenendo i finanziamenti necessari alla sua impresa, che portò alla definizione del noto ciclo termodinamico che porta il suo nome.

Verso la fine del secolo si ebbero addirittura dei tentativi di "district cooling" a New York, Londra, Parigi e altre metropoli con condotte sotterranee che trasportavano salamoia o ammoniaca per raffreddare più edifici con uno stesso impianto.

Si crearono anche industrie di accessori quali isolanti e sistemi di controllo, senza parlare di impianti per la condensazione come le torri evaporative a sviluppo verticale ad aspirazione della *Worthington*, che per prima utilizzò un pacco di evaporazione dell'acqua in controcorrente con l'aria costituito da alette di acciaio invece che di legno.

Gli sviluppi della refrigerazione commerciale negli Stati Uniti

Daniel Livingstone Holden (1837-1924) si può considerare il primo imprenditore del campo. Quando fondò una sua impresa meccanica di caldareria gli fu richiesto di supervisionare l'installazione di un impianto ad ammoniaca costruito con la tecnica Carré. Dapprima migliorò meccanicamente questo sistema per poi aprire una fabbrica per la produzione del ghiaccio utilizzando un impianto a compressione di vapore che usava come refrigerante il "chimogeno" o "crigeno", un non meglio identificato etere o "spirito" di petrolio. David Boye (1837-1891), un immigrato scozzese perfezionò la macchina di Holden adattandola con successo alla produzione di gelati; la sua macchina per fare ghiaccio, del nuovo tipo "a piastre", fu utilizzata in diverse attività, trovando il suo maggior successo nella produzione di birra. E' incredibile il numero di imprese che Boyle riuscì a generare e quello delle aziende, più o meno grandi, che si svilupparono sulla sua scia.

Ma con il successo diventava sempre più importante e urgente la questione dei refrigeranti.

Abbiamo diverse volte citato l'ammoniaca come il più diffuso e riconosciuto refrigerante di quei primi anni. Si tentò poi con il biossido di carbonio, allora definito come acido carbonico, il cui uso fu all'inizio confinato alle applicazioni navali e tale restò praticamente fino agli anni '40; lo stesso Carl Linde progettò in Germania una macchina che lo utilizzava.

Veniva anche utilizzato il biossido di zolfo, che lo stesso Holden utilizzò in diversi suoi impianti, ma bisognò attendere l'arrivo dell'energia elettrica nelle abitazioni, quando si svilupparono i refrigeratori domestici, perché il suo uso diventasse praticamente predominante.

Si diffuse anche il cloruro di metile, o etere metilico, dapprima utilizzato particolarmente in medicina: un importante esempio si ebbe in Europa con l'impianto di refrigerazione realizzato dal già citato Charles Terrier. Ma maggior successo ebbe il cloruro di etile, anch'esso un anestetico all'inizio usato principalmente negli impianti per le carrozze ferroviarie. Si pensi che a quell'epoca comparve un compressore rotativo ad alette introdotto da Cassius C. Palmer (1890) nella sua fabbrica di New York City.

I tentativi e le applicazioni furono innumerevoli e si protrassero anche nei primi anni del XX Secolo.

Erano sistemi di grandi dimensioni e per produzioni non sempre corrispondenti alla loro mole. Anche i sistemi a compressione di vapore sviluppati da Siebe e Har-

rison, già citati, erano macchine di grandi dimensioni, tutte comunque mosse da caldaie a vapore. La macchina di Holden era molto complicata. Eppure, tutte queste macchine hanno prodotto per decadi il ghiaccio necessario.

La refrigerazione come pubblica utilità

Fin qui furono tutte innovazioni e scoperte che in realtà erano indirizzate al comparto industriale della produzione di ghiaccio. Seguirono subito dopo i tentativi e le realizzazioni di natura domestica per il grande pubblico. Senza voler sminuire l'importanza dell'apporto tecnico europeo, non deve sorprendere se, come vedremo, la tecnologia della refrigerazione di segno più applicativo, intesa alla pubblica utilità nel senso domestico della parola, sia nata per la maggior parte negli Stati Uniti d'America e lì sviluppata a ritmi impressionanti. Il clima spesso impietoso di quella parte del Nordamerica, le zone desertiche, le enormi distanze tra i luoghi di raccolta e produzione particolarmente dei generi alimentari e di quelli di consumo costituirono la molla principale per la sua espansione.

Ma nulla sarebbe potuto accadere senza l'invenzione e la diffusione dell'energia elettrica e del motore che la sfruttava. Energia elettrica che negli USA fu dapprima appannaggio esclusivo dell'industria, praticamente fino al 1920, e che impiegò diverse decadi prima di arrivare nelle città a disposizione del grosso pubblico, a causa degli enormi problemi dovuti alla sua distribuzione.

La storia del motore elettrico meriterebbe di per sé una memoria completa, a partire dalla diatriba tra *Edison-General Electric* (motori ad induzione, CC) e *Tesla-Westinghouse* (motori sincroni, CA), ma potremmo ricordare anche il nostro Pacinotti e il suo motore che poté entrare nelle abitazioni solo dopo l'introduzione dello starter a condensatore.

Ad ogni modo, poter disporre di una macchina, nel nostro caso un produttore di ghiaccio, che funzionasse continuamente e non richiedesse nessuna presenza di operatori fu una conquista incommensurabile. Occorreva però che questi sistemi fossero dotati di sistemi di regolazione, particolarmente della temperatura, altrimenti non avrebbero potuto funzionare correttamente senza assistenza umana. I primi tentativi per il controllo automatico della temperatura furono eseguiti da Warren S. Johnson, della Johnson Controls, che sviluppò il termostato e l'umidostato, seguiti da un incredibilmente ingombrante meccanismo capace di programmare la temperatura per la durata di otto giorni della Minneapolis Heat Regulator Co., poi divenuta Honeywell Inc., e dai regolatori di temperatura ideati da William P. Powers, della Powers Inc. di Boston.

Ora che il motore elettrico liberava il compressore dal grave problema del suo azionamento e che alcuni elementi di automatizzazione rendevano il sistema autonomo dall'assistenza continua dell'operatore, si poté cominciare a pensare a sistemi molto meno ingombranti da abbinare alle normali "ghiacciaie" che esistevano in qua-

si tutte le case. Nel 1902 un pool di compagnie tra cui la Singer Automatic Ice Machine Co. rilevò molti brevetti nel campo e cominciò a costruire dei sistemi autonomi per applicazioni domestiche. Anche la Brunswick nel 1912 brevettò e commercializzò un sistema ad assorbimento ad ammoniaca, che si vantava di essere il più piccolo esistente, arrivando a venderne qualche migliaio. Fu poi nel 1914 che Fred W. Wolf introdusse un frigorifero casalingo autonomo che chiamò "Domerle"; la casa produttrice Isko fu poi acquisita dalla Packard Motor Co. che lo vendeva a 275 dollari, cifra piuttosto proibitiva per l'epoca. In quel periodo, la General Electric Co. con il suo ingegnere elettrotecnico Fred Mason Kimball iniziò a produrre motori elettrici di dimensioni ridottissime per quei tempi. Non solo, ma un ingegnere proveniente dalla General Electric, Edmund Copeland, con finanziamenti ottenuti dalla Chevrolet Motor Co. si associò con Wolfe di "Domerle" perfezionando il sistema e raggiungendo livelli di sviluppo sorprendenti. "Domerle" era un refrigeratore raffreddato ad aria, che utilizzava come refrigerante biossido di zolfo e il cui compressore veniva appoggiato sul ripiano della ghiacciaia, opportunamente allargato per aumentarne la superficie e per proteggere il condensatore che veniva alloggiato al di sotto, al lato della ghiacciaia. Un termostato bimetallico presettato provvedeva all'automatismo del funzionamento. L'evaporatore era a piastre ed era montato all'interno del vano frigorifero. Nel 1917 si costruirono ben 1500 macchine di questo modello.

Una configurazione molto "pulita" della condensante che comprendeva il compressore sistemato all'interno di un elegante vano formato dai tubi del condensatore avvolti a spirale rettangolare venne con la Kelvinator e fu prodotto fino al 1928. Questa macchina si avvantaggiò di un termostato a bulbo inventato da Edmund Copeland. Il complesso era talmente pesante che i tecnici montatori erano dotati di una particolare gru per sollevarlo al disopra della ghiacciaia.

Nel 1926 la Frigidaire arrivò a produrre un vero armadio in metallo che portava nel ripiano inferiore tutta l'apparecchiatura frigorifera con un condensatore ad acqua. La fortuna della Frigidaire fu la sua capacità di organizzare un servizio di pronto intervento molto efficace, dal momento che ovviamente i guasti e il malfunzionamento erano all'ordine del giorno.

L'industria elettrica, e particolarmente la General Electric, divenne fortemente interessata a questo campo. La GE produsse un frigorifero simile che però recava sul cabinet un condensatore ad aria. Era il famoso modello "monitor top" che ebbe grande successo.

Siamo ormai nel pieno sviluppo dell'era moderna.

Con l'espansione della refrigerazione applicata agli impianti e alle apparecchiature per il condizionamento dell'aria, il problema della sicurezza divenne improrogabile: si pensi ai primordi del condizionamento dell'aria nelle automobili. General Motors incaricò tre studiosi di scoprire un refrigerante non tossico, non infiammabile, inodoro, adatto ai cicli della refrigerazione per compressione di vapore: vennero

così prodotti gli idrocarburi alogenati, la cui storia e le cui vicissitudini, legate al cambiamento climatico, sono ben note. Ancora Frigidaire fu la prima a commercializzare un mobiletto per ambiente (peso circa 100 kili) collegato ad un impianto esterno di condensazione. A questo seguirono Carrier, Trane, Westinghouse ecc.

Il freddo per i trasporti

Omettiamo per brevità e per non ripetere quanto già esposto per altri settori gli avanzamenti e gli sviluppi della refrigerazione dei trasporti sia ferroviari che su gomma, un settore di grande importanza particolarmente per la preservazione degli alimenti.

La criogenia

Un discorso particolare merita la criogenia, una tecnologia costantemente migliorata dai tempi di Walter F. Castle della *Royal Society*, che offre un importante contributo al miglioramento delle condizioni di vita.

La criogenia trova applicazione in diversi campi, dalla liquefazione dei gas naturali alla produzione di azoto per l'iniezione nei pozzi petroliferi, fino alla produzione dell'ossigeno per la gassificazione dei combustibili pesanti e per la metallurgia e alla fabbricazione dei microchip. In campo ecologico la criogenia ha una parte attiva nella protezione dell'ambiente: tipici sono i trattamenti per la purificazione delle acque reflue e di quelle di fiumi e laghi. Inoltre, è utilizzata nell'industria farmaceutica ed è importante per il controllo della tossicità degli elementi che intervengono in vari processi.

Nel campo medico chirurgico le applicazioni vanno dalla ipotermia alla criochirurgia. Specie la chirurgia neonatale fa uso di queste tecniche, a causa dell'estrema limitatezza degli organi sui quali intervenire, che non permette tecniche chirurgiche tradizionali.

Il futuro della refrigerazione

La scienza e la ricerca non si sono certo fermate agli avvenimenti descritti. Non possiamo mancare di citare quanto si sta facendo nel campo della refrigerazione magnetica, dove sono in corso esperimenti avanzati. Tra l'altro si stanno sperimentando particolari materiali magneto-calorici che potrebbero portare a rilevanti risparmi energetici.

Da menzionare anche le applicazioni relative all'effetto Peltier-Seebeck, il raffreddamento termoelettrico per il quale una termocoppia di conduttori di materiale diverso genera una variazione di temperatura alle sue giunzioni se percorsa da corrente elettrica. Il sistema, pur avendo raggiunto un livello tecnologico importante per leggerezza e compattezza delle apparecchiature, presenta ancora uno scarsissimo rendimento ed elevati costi di produzione che ne rendono proibitiva la commercializzazione.

Suscita rinnovato interesse un raffreddatore meccanico ideato dall'assistente di Albert Einstein, Leo Szillard: è una macchina ad assorbimento brevettata negli Stati

Uniti nel 1930 e poi studiata senza successo dalla AEG, Allgemeine Eektricitaets Gesellschaft e poi migliorato dalla Università di Oxford nel 2008.

È di interesse anche il progetto del raffreddamento acustico nel quale onde sonore ad altissima intensità introdotte in un particolare tubo permettono trasferimento di calore alle due estremità: un concetto idealmente simile all'effetto Peltier.

La ricerca prosegue intensa e senza confini nell'intento di trovare sistemi e apparecchiature che garantiscano la conservazione dell'energia e la protezione dell'ambiente

Considerazioni finali

La refrigerazione è una delle tecnologie più importanti non solo per il benessere umano, ma anche per l'espletamento e l'evoluzione di molti processi industriali. Dobbiamo d'altro canto ricordare che nel complesso essa è altamente energivora e, come tale, rappresenta uno dei maggiori problemi per l'ecologia del pianeta terra. Moltissimo si sta facendo sia per migliorare al massimo l'efficienza delle apparecchiature e dei sistemi sia per eliminare i rischi dovuti all'utilizzo di refrigeranti pericolosi per l'atmosfera. Mentre quest'ultimo è compito precipuo della chimica, l'Ingegneria è chiamata a svolgere un ruolo fondamentale per rendere la tecnologia il più possibile "friendly" al mondo in cui viviamo.

Bibliografia

Meckler G. 1993. A Selective History. In: *Heat and Cold. Mastering the Great Indoors* (B. Donaldson and B. Nagengast eds.). Atlanta: ASHRAE.

Bibliografia di riferimento

Le informazioni contenute nella memoria sono state raccolte da newsletter, articoli, book review e in generale dalla documentazione delle organizzazioni che sono sottoindicate con l'intento di suggerire al lettore interessato di riferirsi alle stesse per approfondimento.

AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano, Giornate Informative F.R.E.E., 1998-2004.

ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Airconditionig Engineers, Atlanta, GA, U.S.A. – Refrigeration Handbook 2018.

Carrier Corporation, UTC Group, Hartford, Conn., U.S.A. -Archives of Refrigeration, 1918-1986.

Frigidaire Corporation (oggi General Motors).

IIF/IIR, Institut International du Froid, Paris – Newletters and Book Reviews.

Johnson Control Co., Milwaukee, Wisc., U.S.A. –Archives.

The General Electric Co., Boston, Mass., U.S.A. Hall of History, Achievements 1900-2013

The General Motors Institute of Technology, Catalogue 2015.

Westinghouse Journal, Pittsburgh, Penn.,U.S.A. (oggi CBS Corporation) – edizioni 1984-1996.

Francesco Spada

I nuovi materiali da costruzione prodotti e diffusi in Italia negli anni Trenta

Abstract
This paper is part of the research field on twentieth century construction techniques to restore Modern Architecture based on a rigorous consciousness for redevelopment projects. This study analyzes new materials produced in Italy in the 1930s by the construction industry that were quickly introduced, without upheavals, into the Italian construction context. In Italy, the reinforced concrete technique was incorporated into the traditional building site without alternating its mainstream character.
The 1929 economic crisis forced Italian architecture to follow parameters of economy and practicality, with northern Italian industries offering numerous new products for walls, partitions and floors. They mainly consisted of light types, larger than traditional ones, manufactured in slabs and panels or bricks, for faster installation and easy manual handling on site. They also had insulating properties, being characterized by the use of cellular mineral (gas-beton) and vegetable (eraclit) materials.
In the 1936 Milan Triennial, building materials became the fundamental expressive elements of Modern Architecture (and, therefore, of Italian Rationalism), which is why they deserve further in-depth study for correct recovery techniques. The study of materials focuses on the construction, which becomes a means of analysis and knowledge. This paper considers the "Dizionario dei nuovi materiali per l'edilizia" by Enrico A. Griffini published by Hoepli in 1934 for an examination, by type, of the new possibilities offered by the construction industry. The manual is indeed a detailed inventory of the new components available on the market and, therefore, constitutes a useful tool to understand the technological developments in the 1930s. Several articles published in specialist journals and a selected bibliography attesting the heated debate on subject are taken as a reference.

Introduzione
Gli anni Trenta rappresentano un connubio fra le ristrettezze dettate dalla crisi economica del 1929 e la ormai matura presa di coscienza delle possibilità offerte dall'industria a seguito della Rivoluzione industriale.

I giovani architetti razionalisti dimostrano, nella produzione edilizia più colta, un vivo interesse verso gli aspetti tecnico-costruttivi, fino a quel momento appannaggio

degli ingegneri e oggetto di ricerca nei Politecnici. Anche in Italia si assiste a una evoluzione del concetto di "bellezza", che viene ora connesso anche alla tecnica costruttiva, seppur non in maniera sistematica come negli altri paesi europei in cui il Movimento Moderno aveva trovato condizioni sociali, economiche e culturali più favorevoli ad accogliere il rinnovamento dell'architettura (Patetta, 1976).

La sesta Triennale di Milano del 1936, dando ampio spazio ai nuovi materiali da costruzione, è occasione per sancire in Italia il connubio tra tecnologia e architettura. Precedentemente, la quinta Triennale del 1933 aveva dedicato parte della mostra all'abitazione moderna, tra cui costruzioni industrializzate prodotte in serie con struttura a scheletro indipendente che consentivano trasformabilità e temporaneità anche grazie al rivestimento a secco della struttura, mediante lastre e pannelli.

Oltre che con il dibattito scientifico, i temi della Triennale sono in linea anche alla produzione manualistica dei primi anni Trenta che, per quanto in Italia non colga la portata del grande cambiamento culturale e dell'innovazione tecnologica in atto in altre Nazioni europee grazie alle potenzialità della struttura a scheletro in cemento armato, rappresenta un aggiornamento sui materiali da costruzione tradizionali (Cennamo, 1988).

Questo studio analizza il "Dizionario dei nuovi materiali per l'edilizia" di Enrico A. Griffini, edito a Milano da Hoepli nel 1934. Esso, costituendo, all'epoca, un'indispensabile raccolta di indicazioni costruttive per i professionisti, oggi supporta la comprensione delle evoluzioni tecniche dei procedimenti costruttivi e dei materiali, essendo un censimento di oltre mille nuovi prodotti per l'edilizia.

La costruzione tra le due guerre: materiali e innovazioni

In Italia la diffusione e l'utilizzo dei nuovi materiali devono necessariamente trovare un equilibrio tra la volontà di mettere in luce la crescita dell'industria nazionale, quasi esclusivamente concentrata nel centro nord del Paese, e la necessità di non causare stravolgimenti nell'organizzazione artigianale del cantiere tradizionale, caratterizzato da manodopera non specializzata e spesso impegnata nel settore delle pubbliche costruzioni solo per carenza di altra occupazione. A tutto ciò, corrisponde la modernizzazione dell'edilizia italiana, che segue quindi due linee: quella della continuità e quella del rinnovamento (Poretti, 2004). La prima è quella in cui l'impiego dello scheletro in calcestruzzo armato si diffonde nel piccolo cantiere artigianale, mantenendo però l'apparato murario, con tutti i condizionamenti del caso. Similmente, la linea del rinnovamento si riduce all'introduzione di nuovi materiali senza però arrivare alla distinzione formale tra struttura e tamponamento. I prodotti della tradizione muraria, quali marmi e mattoni di litoceramica, vengono affiancati da vetri, leghe leggere, vernici sintetiche nonché da linoleum, bakelite, conglomerati leggeri (eternit, eraclit, masonite, populit, spugnocemento), lincrusta, intonaci speciali (terranova, silexine).

La questione dei nuovi materiali interessa ovviamente anche il dibattito culturale dell'epoca. In particolare, sono emblematiche le posizioni contrapposte di Marcello Piacentini, il quale reputa i materiali dell'architettura razionale umili, difettosi e non durevoli (Piacentini, 1931), e di Giuseppe Pagano, che delinea un nuovo concetto di estetica in cui ciascun materiale è elemento essenziale per l'opera d'arte ma possiede un'altrettanta funzione pratica per l'architettura (Pagano, 1931). È utile citare anche Alberto Sartoris, che partecipa al dibattito mettendo in relazione l'architettura ai concetti di produzione e rendimento, mediante un nuovo approccio alla costruzione da parte dell'architetto moderno che deve favorire la semplificazione dei metodi di lavoro: vantaggio massimo, cioè razionalizzazione, e minimo sforzo, cioè standardizzazione (Sartoris, 1934).

In Italia, per quanto i piccoli cantieri fossero legati all'utilizzo di tecniche tradizionali, si era diffuso l'utilizzo del telaio in calcestruzzo armato, seppure a supporto dell'apparecchiatura muraria. L'autarchia, con le conseguenti limitazioni sull'utilizzo del ferro, grazie alle abilità presenti all'epoca nonché al desiderio di internazionalizzazione, è "occasione" per sperimentare nuove tecniche costruttive, come dimostrano le esperienze sull'utilizzo delle canne di bambù in sostituzione dei tondini di armatura nel calcestruzzo (Iori, 2001), i brevetti del travetto SAP (senza armatura provvisoria) per l'eliminazione della soletta (1932) e del solaio SIP (senza impiego di ferro) nel 1937.

Il desiderio di innovare dà vita a diverse sperimentazioni puntuali su strutture leggere in acciaio, completate con pannelli e altri materiali innovativi. Si tratta di progetti per piccoli manufatti standard per case vacanze a struttura in acciaio, anche smontabili, destinate alla borghesia, e a edifici per abitazione e uffici e servizi da destinare alle colonie dell'Africa orientale italiana, prodotti e commercializzati ai privati e agli enti statali, tra cui l'INA e l'INCIS, da piccole officine specializzate presenti nel centro-nord del Paese (Greco e Spada, 2019).

Tra le suddette applicazioni, le costruzioni coloniali, infatti, furono una valida occasione per applicare l'utilizzo di nuovi materiali e tecniche costruttive diverse da quelle tipiche dell'edilizia corrente. In maniera inedita per l'Italia, si assiste ad una ricerca volta all'industrializzazione edilizia basata sull'impiego di sistemi costruttivi prefabbricati cui partecipano i tecnici del Ministero Italiano dei Lavori Pubblici nonché architetti e ingegneri di industrie italiane impegnate a specializzarsi, data la richiesta del mercato, nella produzione di manufatti a struttura intelaiata metallica o lignea rispondenti a questi princìpi.

L'aggiornamento professionale attraverso la manualistica tecnica

La presenza sul mercato di materiali innovativi implicava la necessità di nuovi e validi strumenti divulgativi. Nei primi anni del Novecento, le industrie iniziano a produrre pubblicistica e riviste periodiche, facendo sì che questa documentazione tecnica ben presto diventasse un nuovo ed efficace strumento pratico per gli opera-

tori del settore. La velocità di aggiornamento rendeva la manualistica tradizionale inadeguata, essendo impostata sul metodo didattico, enciclopedico, quindi incapace di stare al passo con quanto di nuovo costantemente prodotto (Giuliano, 2018).

Enrico Agostino Griffini (1887-1952), ingegnere, docente presso il Politecnico di Milano, nei primi anni Trenta comprende la necessità di censire in maniera organica i nuovi prodotti industriali, di elencare per ognuno di essi le caratteristiche tecniche, fornendo di volta in volta indicazioni sull'impiego e sulla messa in opera; avverte la necessità di dotare il tecnico moderno, architetto o ingegnere, di un nuovo strumento, ovvero di aggiornare il concetto di manuale mettendolo in relazione con la rivoluzione tecnologica-architettonica in atto. Per questo motivo, nel 1931, pubblica, tramite Hoepli, "Costruzione razionale della casa", considerato il primo manuale moderno. In esso è presente il capitolo "Nuovi materiali per l'edilizia", contenente una disamina su circa 150 nuovi materiali industriali per l'edilizia, che testimonia l'interesse e la sensibilità dell'autore alla materia e che suscita immediatamente l'attenzione dei professionisti, interessati a un'edilizia più efficiente, aldilà dello stile adottato.

Con la sua opera divulgativa, Griffini sposa e promuove gli aspetti tecnologici del Razionalismo, nella loro accezione tipologica e costruttiva, rivolti prevalentemente all'edilizia residenziale, considerata il tema principale dell'architettura Moderna. Il successo ottenuto spinge Griffini a pubblicare, nel 1934 con Hoepli, il "Dizionario dei nuovi materiali per l'edilizia", contenente una dettagliata disamina di più di mille nuovi prodotti messi a punto da industrie italiane, europee e statunitensi. L'autore, consapevole di non poter contare sulla consuetudine delle tecniche consolidate, dà priorità all'aggiornamento anziché all'esperienza, attenendosi ai dati forniti dalle aziende produttrici e dichiarando che "*solo la esperienza e la lunga pratica potranno permettere la necessaria selezione"* (Griffini, 1934).

Le pubblicazioni di Griffini sono pragmatiche e mantengono sempre un profilo tecnico. Per questo motivo, da strumenti divulgativi diventano, oggi, dei documenti storici che guadagnano valore scientifico; ciò in quanto, come osservato da Giuliano (Giuliano, 2018), l'autore si astiene da considerazioni estetiche e politiche, rendendo la sua opera sui materiali moderni la più attendibile per lo studioso che intende approcciarsi al tema senza condizionamenti non prettamente tecnici.

Nel 1934 anche Giuseppe Pagano pubblica, con Domus e con il supporto di un gruppo di lavoro, un manuale dal titolo "Repertorio dei materiali per l'edilizia e l'arredamento", riferendosi esclusivamente a materiali italiani, ma estendendo il campo di censimento anche a impianti, attrezzature da cantiere, prodotti per casa, ufficio e negozi, fino ad arrivare a mobili e oggetti d'arte (Pagano, 1934).

La scrupolosità delle analisi contenute nei due manuali testimonia la centralità, nell'architettura Moderna, del materiale e della tecnologia della costruzione, ovvero del grande impatto che essi hanno avuto nel panorama di stili che hanno caratterizzato l'architettura nel periodo fra le due guerre (Cennamo, 1988).

Il Dizionario di Griffini

L'opera di Griffini è organizzata in una rassegna di materiali distinti in 19 categorie che interessano tutti gli elementi tecnici dell'organismo edilizio. Viene dato molto risalto a soluzioni leggere che consentivano una messa in opera più rapida e semplice, promuovendo i processi industrializzati in edilizia. Per ovvie ragioni, tutto ciò è maggiormente tangibile nei componenti per *tramezzi* e *tamponature* nonché per i *solai*. Relativamente ai primi, vengono presentati numerosi calcestruzzi leggeri, dei quali Griffini illustra anche il processo a livello microscopico, ovvero gli additivi di origine prevalentemente vegetale che, mescolati con il cemento, rendono quest'ultimo poroso aumentando leggerezza e coibenza dei blocchi. Per fornire un immediato riscontro pratico, le performance relative a queste caratteristiche e la velocità nella esecuzione vengono sempre paragonate ai materiali tradizionali, ovvero alle equivalenti pareti di mattoni pieni. Per le tramezzature, come alternative ai blocchi forati, vengono proposti elementi in calcestruzzo di pomice, litoceramica (Italianklinker), zellebeton e gasbeton in cui il cemento veniva rispettivamente additato con schiuma di sapone e scorie di alto forno. È interessante notare che buona parte dei blocchi proposti sia dotata, sulle superfici laterali, di speciale sagomatura per consentirne la messa in opera mediante connessioni del tipo maschio-femmina, anziché per semplice accostamento. Evitando l'esposizione diretta dei giunti, diminuivano la propagazione sonora e la dispersione termica (Fig. 1). Alcuni di essi, inoltre, risultano preformati per facilitare la movimentazione in cantiere favorendo il lavoro delle maestranze.

Vengono elencati anche materiali in lastre, in calcestruzzi alleggeriti o in gesso (Poncisol, S-schenkel, Vierfalz), prodotti da industrie estere e particolarmente adatti per tamponature di strutture leggere in legno o acciaio. Per i solai misti vengono descritti blocchi in calcestruzzo alleggerito e in laterizio. Di questi ultimi ne vengono elencati ben 21 tipi. Si tratta di elementi da accostare fra loro senza soluzione di continuità, da solidarizzare mediante il getto soprastante della soletta. Viene dato ampio spazio e risalto a soluzioni che consentivano la riduzione delle casserature, grazie alla conformazione degli elementi la cui forma era studiata per permettere una più leggera armatura provvisionale rispetto al classico tavolato continuo, nonché costituiva cassero a perdere per il getto delle nervature monodirezionate o bidirezionate. Nella trattazione di Griffini si evidenzia l'assenza di blocchi forati per travetti semiprefabbricati o prefabbricati, ma vengono presentate soluzioni in panconi di cemento armato e in laterizio armato. Tra questi ultimi è presente il solaio SAP, di produzione italiana per tramite delle Fornaci Ricci & C. di Piacenza che, parimenti alle soluzioni contemporanee, consentiva di eliminare in toto l'armatura di sostegno provvisionale (Poretti, 2004).

Si nota che la forma dei blocchi era studiata (e molto spesso brevettata) non solo in funzione della messa in opera facilitata, ma anche in linea con considerazioni statiche, ovvero in relazione alla parte tesa e compressa del solaio; è il caso del so-

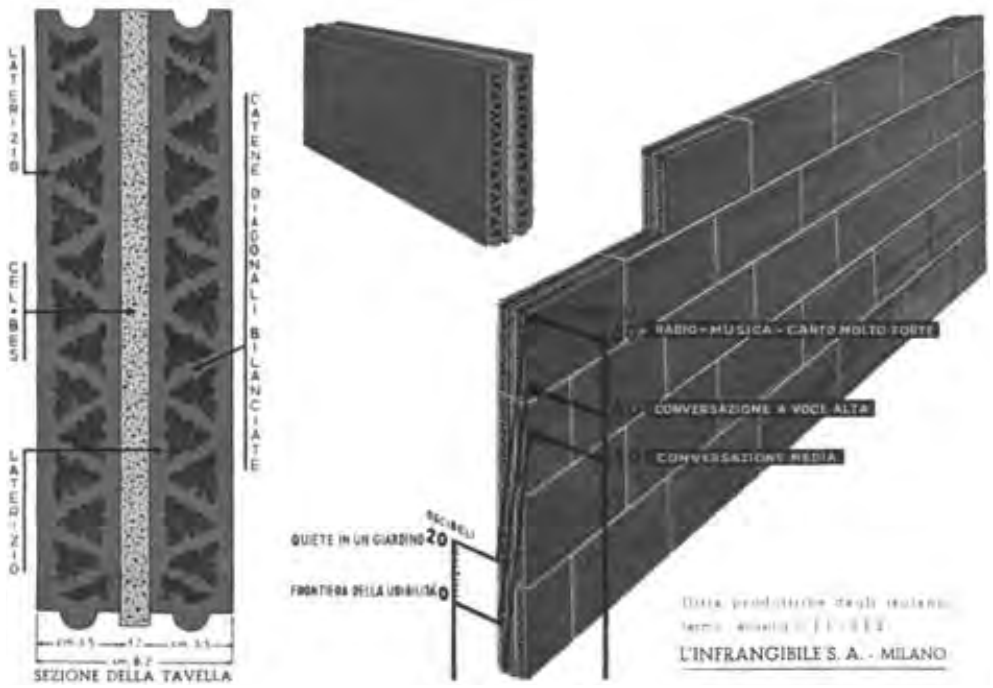


Fig. 1 – Applicazione di pannelli in Cel-Bes nell'intercapedine di tavelle in laterizio per tramezzi (fonte delle immagini: dépliant della ditta "L'Infrangibile S. A." di Milano).

laio tedesco Sperle, i cui laterizi presentano foratura di forma differente tra la parte superiore e quella inferiore. Tra le soluzioni varie, sono annoverati anche i cosiddetti *S.P.E.R.* prodotti dalla ditta Vender di Milano, composti da elementi retinati tridimensionali costituenti cassero per il travetto in opera in calcestruzzo armato o in acciaio fasciato di calcestruzzo durante il getto della soletta (Spada, 2019).

La parte più corposa nell'opera di Griffini è dedicata ai materiali isolanti, il cui uso si diffonde rapidamente negli anni Trenta. Ciò in quanto l'edilizia italiana, nonostante la diffusione dei concetti propri del Movimento Moderno, rimane legata alla costruzione muraria e proprio mediante i nuovi materiali isolanti era possibile l'addizione di strati funzionali alla parete tradizionale, aumentandone la performance.

Nella sezione dei materiali termicamente isolanti sono trattate numerose lastre autoportanti e di rivestimento di origine organica prevalentemente a base di legni di diversa natura che, in fase di produzione, erano rese imputrescibili, antisettiche, incombustibili. Di alcune di esse si trova riscontro anche nel manuale "Case in acciaio" di Fausto Masi, edito a Milano da Hoepli nel 1933 (Masi, 1933), essendo adatte per realizzare pareti perimetrali verticali a secco oltre che partizioni verticali.

Fra queste è sicuramente da citare l'Eraclit, ricavato da sfilacciature di pioppo alle quali venivano fatte acquisire le proprietà di durevolezza mediante impregnazioni di magnesite e indurite mediante malta cementizia. L'Eraclit era prodotto in Italia dalla Società Eraclit-Venier di Portomarghera in lastre di spessore variabile a seconda dell'utilizzo, da 1 centimetro (sottofondo a secco per pavimenti) a 15 centimetri (per pareti interne ed esterne). A differenza di altri, usati prevalentemente per isolare ma non in grado di fornire adeguata resistenza meccanica, l'Eraclit consentiva di formare pareti molto resistenti in quanto, intonacando la lastra con malta di cemento, essa si trasforma in una soletta di calcestruzzo a elevatissima rigidità. La Magnesilite, anch'essa italiana, analoga all'Eraclit e formata da trucioli di legno, aveva coibenza circa 4 volte superiore a quelle delle murature ordinarie in mattoni ed era prodotta in lastre o blocchi a seconda dell'utilizzo. Era disponibile anche in pannelli sandwich, ovvero due lastre di magnesilite con interposto del compensato in sughero. Il Solomit, prodotto in Italia a Milano dalla ditta S.I.C.E., era ottenuto da steli di paglia di grano o riso pressati e tenuti insieme da fili di ferro galvanizzato. Simili a essi erano i Pannelli Christin, francesi, nei quali la paglia era sostituita dalla canna; dopo il montaggio a secco era solo necessario sigillare i giunti. Relativamente alla produzione americana, viene annoverato il Celotex, anch'esso analogo al Solomit, prodotto con fibre di canna da zucchero, in grandi lastre fino a 132x430 centimetri, importato dalla ditta S.A.R.S.I. di Milano.

Tra i materiali per lastre di rivestimento di origine organica vengono elencati prevalentemente prodotti di provenienza americana, derivati da fibre legnose pressate, nati per la tecnologia costruttiva in legno propria del continente d'oltreoceano. Fra questi la Masonite, ottenuta da materiale ligneo di rifiuto fatto esplodere per mezzo di vapore ad alta pressione e classificato in base al grado di pressatura del materiale: isolante (spessore 11,5 millimetri), medio (7 millimetri) per rivestimenti e massetti a secco, pressato (3,5-5 e 7 millimetri) per sostituire il legno compensato, temperato (3,5-5 e 7 mm) per pavimenti duri e resistenti. Vi erano poi: il Maftex, prodotto in nord America dalla radice di liquirizia anche calabrese; la Insulite, fabbricata in Finlandia su controllo americano. Il Cel-bes era invece un materiale nazionale, prodotto mediante fibre di canapa italiana e distribuito da Cel-Bes Milano, molto leggero e con buona coibenza termica e acustica, grazie alla struttura cellulare derivante dal processo di feltrazione cui il materiale era sottoposto durante la produzione. Era solitamente commercializzato in lastre semi-rigide spesse 12 millimetri facilmente lavorabili, su cui posare l'intonaco o altro rivestimento (tappezzeria, linoleum, lincrusta). Un ulteriore impiego prevedeva l'accoppiamento a lastre di fibrocemento-eternit mediante l'uso di uno speciale adesivo impermeabile; in questo modo si otteneva un pannello sandwich isolante, resistente a trazione grazie alle fibre di amianto, oltre che impermeabile, incombustibile e con caratteristiche di elasticità tali da essere adatto all'impiego in strutture in ferro soggette a dilatazioni e contrazioni termiche.

Queste caratteristiche, in aggiunta alla leggerezza, rendevano queste lastre particolarmente indicate per le costruzioni smontabili prodotte in Italia per le Colonie d'Africa (Greco e Spada, 2019).

Dallo studio del Dizionario di Griffini, si prende atto che questi materiali erano prodotti prevalentemente in America perché adatti alle tecnologie costruttive leggere e a secco correntemente utilizzate negli Stati Uniti. Tuttavia si rendeva utile e necessario un censimento di quelli importati e di quelli prodotti in Italia, non soltanto perché utilizzati per applicazioni speciali, quali le costruzioni per i territori coloniali, ma ancor più per il contribuito all'aggiornamento delle tecniche murarie derivante dalla loro introduzione sul mercato, come in precedenza evidenziato.

Proseguendo l'analisi delle lastre di rivestimento rigide censite da Griffini, si può notare il risalto dato alle fibre di amianto che, additivate al cemento, davano vita all'eternit, prodotto in Italia e largamente utilizzato in quanto impermeabile, resistente all'usura e alle intemperie, nonché al fuoco; poteva essere usato per applicazioni diverse: lastre piane per pareti a secco oppure ondulate per coperture, tegole, tubi; ciò anche grazie alle caratteristiche di leggerezza e lavorabilità, che permettevano di segarlo con mezzi comuni. Analogo all'eternit era il salonit, anch'esso cemento-amianto italiano.

Ancora sui materiali in lastre termicamente isolanti, Griffini elenca vari tipi di sughero (di produzione nazionale): il Non plus ultra, analogo al sughero agglomerato evaporato "espanso", il primo prodotto a Torino, il secondo a Milano, erano ricavati facendo dilatare le cellule mediante essicazione, ovvero perdita dell'umidità organica, con conseguente aumento di coibenza e leggerezza dovuto all'accrescimento dell'aria all'interno di esse. La coesione delle particelle era garantita mediante bitumi o colle naturali, motivo per cui veniva commercializzato di tipo "asfaltato" e "naturale". Vi era poi il Vetroflex, prodotto a Livorno, costituito da filamenti di vetro contenenti cellule d'aria nella massa che venivano uniti a cartoni catramati, a reti metalliche, a lamierini o a fogli di alluminio per essere utilizzati come isolanti di pareti e soffitti.

Vale la pena di osservare che nel manuale, vengono citati numerosi tipi di stuoie ricavate da fibre di origine vegetale protette con bitume: anche queste trovavano applicazione nelle costruzioni smontabili per le Colonie. Quest'ultime infatti, essendo realizzate con strutture intelaiate leggere in ferro o legno, erano completate con pareti in lastre leggere (Fig. 2) non dotate di inerzia termica tale da garantire livelli di comfort accettabili per i climi torridi africani. Per questo motivo, tali costruzioni erano quasi sempre dotate di porticato esterno (Greco e Spada, 2019) dotato di stuoie nella parte terminale che, una volta chiuse, avevano la funzione di mantenere in ombra le pareti perimetrali verticali evitandone il surriscaldamento.

Molti dei materiali isolanti contro il calore trovano applicazione anche contro la propagazione del suono. Tra quelli specifici, prodotti da Assorbite S.A. di Torino, vengono annoverati: l'Antifono, l'Antivibrite e l'Assorbite**.**

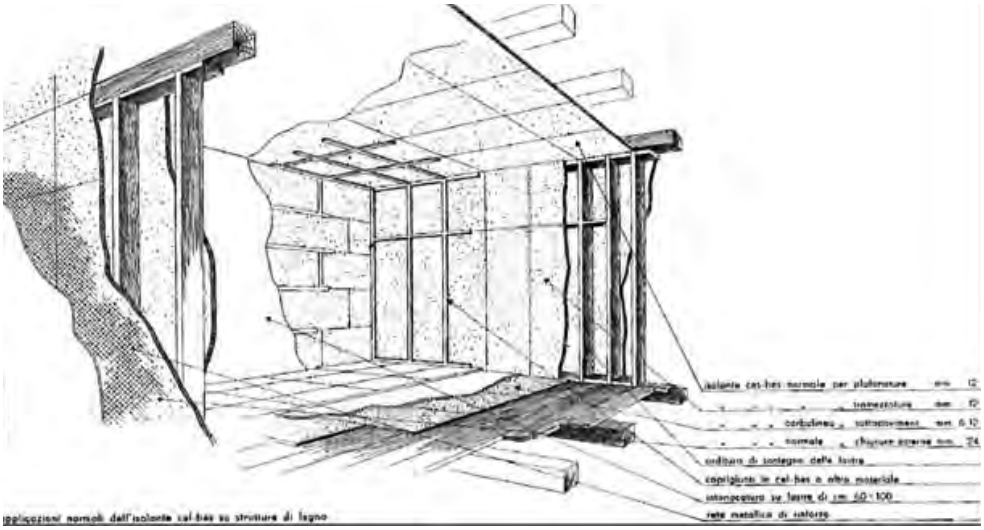


Fig. 2 – Utilizzo di pannelli in Cel-Bes su strutture in legno a secco (da Marescotti, 1936).

Nel capitolo del Dizionario dedicato agli intonaci, vengono elencati diversi additivi per rendere questi ultimi e le malte, resistenti all'umidità, impermeabili, antigelo e anche per confezionare malte per il risanamento di strutture esistenti con problemi di umidità di risalita o per preservarle da muffe, acidi, sfioritura oppure per proteggere murature, beton e pietre naturali dal degrado da agenti atmosferici. Tra quelli isolanti acusticamente, vengono riportati materiali di produzione americana: Halico, Hacoustic, Malone, Stucoustic. Anche per gli intonaci vengono espressi i vantaggi dell'applicazione di fibre di amianto nelle malte di calce, dovute principalmente all'aumento di coesione che la miscela calce-amianto acquisiva rispetto a quella calce-sabbia: oltre 3 volte più resistente a flessione nonché agli urti e alla infissione di chiodi nel confezionamento di intonaci per pareti.

Griffini non manca di trattare il linoleum, materiale ampiamente impiegato per le finiture di ambienti dichiaratamente moderni, evidenziandone le qualità tecniche e i processi di produzione, nonché elencandone le varianti commerciali.

Tra i materiali di finitura sono considerati anche i cristalli, in particolare i prodotti Securit (prodotto dalla Saint Gobain di Pisa) e V.I.S. (prodotto dalla S.A. Vetro Italiano di Sicurezza di Pisa) che entrano nel repertorio dell'architettura moderna, caratterizzandone le rappresentazioni più pregnanti.

Conclusioni

Lo studio della manualistica storica è importante per la comprensione dell'evoluzione di tecniche e prassi costruttive nel tempo.

Lo studio del Dizionario di Griffini mette in luce un aspetto importante, relativo alla diffusione delle costruzioni leggere all'epoca. In relazione a ciò, esso documenta i primi passaggi dell'auspicata industrializzazione del settore edilizio in Italia. Negli altri Paesi europei, infatti, il Movimento Moderno, contestualmente ad una diversa concezione dell'architettura, aveva modificato le prassi con cui gli edifici venivano realizzati, introducendo in cantiere componenti industriali e tecniche di razionalizzazione della produzione, già prima della Seconda guerra mondiale. In Italia – nonostante il dibattito teorico del dopoguerra – ciò avvenne in maniera compiuta con forte ritardo.

Nel contesto italiano degli anni Trenta, fortemente legato alla tradizione muraria, la pubblicazione del manuale di Griffini, così come quello citato di Fausto Masi relativo alle case in acciaio, testimoniano il forte interesse degli intellettuali nel voler diffondere tecnologie nuove, capaci di sfruttare i vantaggi derivanti dall'industria. L'elencazione che fornisce Griffini di così tanti materiali profondamente diversi da quelli propri delle costruzioni in muratura, ovvero leggeri e compatibili con la messa in opera a secco, è testimonianza di una presa di coscienza circa le possibilità offerte dall'industria, rappresentando altresì un invito ai professionisti dell'epoca a superare le tecniche consolidate grazie alle possibilità offerte dall'industria.

Nella cornice scientifica odierna, lo studio dei materiali e delle loro tecniche di impiego sostiene il recupero dell'architettura del Novecento, connotata dall'introduzione della tecnologia nel suo apparecchio costruttivo. Tuttavia è da evidenziare che data la natura sperimentale dei nuovi materiali, questo patrimonio necessita di maggiore e diversa protezione dell'edilizia di matrice tradizionale, caratterizzata da componenti i cui requisiti di durabilità e affidabilità sono confortati dall'esperienza pregressa.

A tal proposito, si rivelano quanto mai opportuni gli avvertimenti di Griffini a premessa del suo volume, con i quali mette in guardia il tecnico-lettore sulla corposità della rassegna proposta, la cui fonte è costituita da "*cataloghi o informazioni dirette*", per cui è lecito interpretare i dati tecnici con "*discernimento, quando non siano confermati da risultati di esperimenti ufficiali*" (Griffini, 1934).

Bibliografia

Cennamo M. 1988. *Autarchia e tecnologia nell'architettura razionale italiana*. Napoli: Fratelli Fiorentino.

Giuliano A. A., 2018. *I materiali dell'architettura italiana tra le due guerre. Conoscenza e catalogazione per il restauro architettonico*. Milano: Streetlib.

Greco L., Spada F., *The Invulnerabile prefabricated construction system for Italian temporary buildings in the 1930s*, in Atti del VI convegno della Construction History Society, pp. 535-548, Cambridge 5-7 Aprile 2019.

Griffini E. A. 1932. *Costruzione razionale della casa: i nuovi materiali. Orientamenti attuali nella costruzione, la distribuzione, la organizzazione della casa.* Milano: Hoepli.

Griffini E. A., 1934. *Dizionario nuovi materiali per edilizia*. Milano: Hoepli.

Iori T., 2001. *Il cemento armato in Italia. Dalle origini alla Seconda guerra mondiale.* Roma: Edilstampa.

Marescotti F., 1936. Caratteristiche tecniche e sperimentali del Cel-Bes in Casabella (108-1936). Milano: Arnoldo Mondadori Editore.

Masi F., 1933. *Case in acciaio*. Milano: Hoepli.

Pagano G., I materiali della nuova architettura in "Casabella" (6-1931). Milano: Arnoldo Mondadori Editore.

Pagano G. (a cura di), 1934. *Repertorio 1934 dei materiali per l'edilizia e l'arredamento*. Milano: Editoriale Domus.

Patetta L., 1976. Libri e riviste d'architettura in Italia tra le due guerre in "*Il Razionalismo e l'Architettura in Italia durante il fascismo*". Venezia: Biennale.

Piacentini M., 1931. *Dove è irragionevole l'Architettura Razionale* in "Dedalo" (2-1931). Milano: Bestetti Edizioni d'Arte.

Poretti S., 2004. Modernismi e autarchia in Ciucci G., Muratore G., *Storia dell'architettura italiana – Il primo Novecento*, pagg. 442-475. Milano: Electa.

Sartoris A., 1934. I sistemi della nuova architettura in Sartoris A., *Gli elementi dell'architettura funzionale.* Milano: Hoepli.

Spada F., The role of technical manuals for the diffusion of steel construction in Italy in the 1930s, in Atti del XVII Forum "Le vie dei mercanti", pagg. 288-295, Napoli/Capri 6-8 Giugno 2019.

Laura Greco

La costruzione a secco nel dibattito sulle tecniche costruttive in Italia nel secondo dopoguerra. Note sull'attività della rivista "Cantieri" (1946-50)

Abstract
The current paper refers to the research field on the evolution of building techniques in Italy in the twentieth century and concerns the spread of the dry construction techniques in post-World War II Italy through the analysis of the technical review "Cantieri. Documenti sull'industria, la sperimentazione e la tecnica edile con particolare riguardo all'unificazione e produzione di serie", established in Milan in 1946 and published until 1950. The analysis of the journal examines the general methodological issues in relation to the debate on building industrialization, the numerous foreign experiences and the few Italian cases of dry construction technique presented by Cantieri. The analysis highlights the aspects of interest and the reasons for the slow introduction of these techniques into the national framework, despite they having been developed in Italy in the 1930s.

Introduzione
La breve ma intensa esperienza della rivista "Cantieri. Documenti sull'industria, la sperimentazione e la tecnica edile con particolare riguardo all'unificazione e produzione di serie", fondata a Milano nel 1946 e rimasta attiva fino al 1950 come organo del Centro Industriale Lombardo di Coordinamento per l'edilizia, è testimone del vivace intervallo temporale che scandisce la nascita e lo sviluppo delle politiche per la ricostruzione edilizia in Italia nel secondo dopoguerra. Sulle sue pagine sono presentati prodotti e sistemi costruttivi, attrezzature e macchine di cantiere, progetti e prototipi, riflessioni teoriche e rassegne della ricerca in atto nei Paesi europei e negli Stati Uniti. L'analisi di questo patrimonio, con riferimento allo sviluppo della costruzione a secco, tiene conto della cornice culturale e produttiva che racchiude il quinquennio compreso tra il 1945 e il 1950 e accompagna l'apertura del dibattito sulla prefabbricazione. "Cantieri" è infatti parte di questo laboratorio eroico e interrotto, ne testimonia la nascita e gli sviluppi, ne stimola la crescita, ne registra i limiti e gli insuccessi.

Il dibattito sulle tecniche costruttive in Italia nel secondo dopoguerra
Il dibattito sulle tecniche costruttive si svolge nel quadro delle politiche per la ricostruzione dopo il secondo conflitto mondiale, ponendo con convinzione l'industria-

lizzazione edilizia tra i temi della riflessione, e indicando, in taluni casi, la costruzione a secco come opzione privilegiata. Alcuni eventi e questioni sono di interesse per considerare l'oggetto di questo studio nel panorama costruttivo italiano del tempo e vale dunque la pena di ricordare i passaggi essenziali di questo frangente. Tra il 1946 e il 1948 sono dati alle stampe il "Manuale dell'Architetto" (1946) e "Il problema sociale costruttivo ed economico dell'abitazione" (1948); entrambi propongono un approccio alla progettazione e alla costruzione basato sui criteri della normalizzazione, unificazione e tipizzazione degli spazi e degli elementi costruttivi. Intanto, il polo culturale e produttivo milanese si candida a guidare il dibattito sulle tecniche costruttive: il capoluogo lombardo ospita nel 1945 il primo convegno nazionale sulla ricostruzione e la mostra del concorso per modelli di case prefabbricate, bandito nel giugno dello stesso anno dal C.N.R. Nel 1946 si costituisce a Milano il "Centro industriale Lombardo di coordinamento per l'edilizia", cui aderiscono i maggiori costruttori edili del capoluogo meneghino con l'obiettivo di stabilire condizioni, metodi e strumenti per "*innescare una produzione di massa nel settore edilizio, mediante il coordinamento delle azioni in tal senso intraprese singolarmente dalle imprese afferenti al settore*" (Talanti, 1978). Nel 1947, nell'ambito della VIII Triennale viene allestita una sezione intitolata "Unificazione, modulazione e industrializzazione edilizia", di cui sono curatori Ignazio Gardella e Carlo Rusconi Clerici, con il contributo di Giuseppe Ciribini, Eugenio Gentili Tedeschi e Vico Magistretti. Come noto, inoltre, nel laboratorio del QT8, il quartiere modello della VIII Triennale, la prefabbricazione è analizzata attraverso la presentazione di progetti di case prefabbricate e di sistemi costruttivi brevettati, utilizzati anche per la realizzazione degli edifici del comparto (Triennale, 1947; Brunetti, 1986).

L'habitat propulsivo del capoluogo lombardo accoglie in maniera esclusiva anche la ripresa dell'attività editoriale delle riviste, fatta eccezione per "Metron", di ispirazione "romana", coordinata inizialmente da Luigi Piccinato per la sezione urbanistica e da Mario Ridolfi per quella architettonica. Al di là delle riviste che riprendono la loro attività dopo la pausa imposta dal conflitto, Casabella e Domus tra le più note, si registra la nascita di "Cantieri" (1946) e di "Vitrum" (1949), quest'ultima promossa dal Centro Informazione e Studi per le applicazioni del Vetro in Edilizia.

D'altra parte, il Piano Fanfani (1949), cui si lega il primo settennio del piano INA-Casa, individua nella conservazione della tradizione costruttiva di matrice muraria il presupposto programmatico per assicurare effetti socio-economici e produttivi su tutto il territorio nazionale. Ne deriva la coesistenza di una traiettoria di rinnovamento delle tecniche e di un percorso di conservazione della tradizione muraria che si rivela il carattere peculiare del contesto italiano del tempo e la premessa che contraddistingue lo sviluppo dell'industrializzazione nei decenni successivi.

La diffusione della costruzione a secco subisce un reale condizionamento da questa cornice strutturale che perpetua il ricorso a procedimenti umidi, all'uso dei

leganti, alla visione del cantiere come luogo primario del fare costruttivo. La lenta trasformazione dei processi, derivata prevalentemente da una progressiva ibridazione dei procedimenti artigianali con innesti di protoindustrializzazione, determina, pertanto, una battuta d'arresto di quella sperimentazione sulla costruzione a secco avviata, sempre nell'area milanese, negli anni Trenta.

I prodromi della costruzione a secco in Italia negli anni Trenta

Nel 1939 Giuseppe Pagano pubblica sulle pagine di Casabella un saggio in cui dibatte il rapporto tra costruzione e industria, sostenendo le costruzioni in serie come espressione di "*una poderosa e intelligente collaborazione tra arte e industria, tra fantasia creativa e organizzazione produttrice*" necessaria per attivare "*nel campo della tecnica edilizia il processo di revisione in favore di un più intenso e più logico collegamento tra l'industria e la costruzione*"(Pagano, 1939).

Lo scritto di Pagano si colloca a valle di un periodo di sperimentazione sull'industrializzazione del processo costruttivo che contiene i prodromi del dibattito del dopoguerra e coincide con la pubblicazione della manualistica tecnica moderna, tra cui vale la pena di ricordare la prima edizione de "La costruzione razionale della casa" di E.A. Griffini (1932), e con le edizioni della Triennale organizzate negli anni Trenta. Nell'ambito della la mostra sull'abitazione moderna allestita nell'esposizione del 1933, la V Triennale, sono esposti tre edifici pluripiano con struttura metallica, tutti pensati come unità base per la composizione di quartieri residenziali moderni: la "*casa a struttura d'acciaio*" di Giuseppe Pagano, Franco Albini, Renato Camus, Giancarlo Palanti, Giuseppe Mazzoleni e Giulio Minoletti, la cui realizzazione fu promossa dall'ANFIMI, la "casa tutta d'acciaio", della Società anonima costruzioni edilizie Tuttoacciaio e "l'abitazione tipica a struttura d'acciaio", di Luigi Carlo Daneri e Luigi Vietti. Il tema della costruzione industrializzata si ripropone nello stesso allestimento espositivo nelle trenta piccole case progettate da giovani architetti e destinate a quella borghesia dell'area lombarda e piemontese che rappresenta negli anni Trenta una committenza privilegiata per architetti e designer (Greco e Mornati, 2012; Greco e Spada, 2019). Nel repertorio di soluzioni esposte sono particolarmente esemplificative le cinque "villette per il fine settimana" progettate da Faludi, Griffini e Bottoni, tutte concepite come costruzioni prefabbricate smontabili, economiche, trasportabili e trasformabili, come la villa n. 1 "Casa di vacanza vicino al lago", realizzabile in 48 ore e basata su un sistema a secco composto di una struttura di legno e chiusure esterne stratificate di lastre di eternit con un doppio rivestimento interno di insulite e compensato; la villetta n. 2 "Casa da mezza montagna", realizzabile in otto giorni, è smontabile e trasportabile. L'uso del telaio metallico o ligneo contribuisce a diffondere un modo di costruire che si pone come alternativo alla tradizione muraria. Le pareti esterne e quelle interne, le coperture e i solai sono realizzati in queste sperimentazioni con componenti modulari a base di fibre legnose, lamiera metallica e

conglomerato cementizio misto a fibre vegetali. Un segmento di mercato inconsueto si struttura per rispondere alla domanda di edifici temporanei per i territori coloniali, cui si rivolgono aziende come le Officine Savigliano, la Curtisa, L'Invulnerabile e la Società Legnami Pasotti (Greco e Spada, 2019). L'interesse di questa produzione, limitata per l'impatto determinato nella prassi costruttiva nazionale, è da riferirsi agli sforzi operati per aggiornare tecniche di produzione e di montaggio dei sistemi già impiegati per baraccamenti e costruzioni temporanee agli standard qualitativi e agli stili di vita propri della residenza borghese del tempo. In questo senso si può ravvisare un intento di applicazione della produzione industrializzata a un tema tipologico inconsueto, seppure non espressamente rivolto ad attuare quel collegamento tra industria e arte cui fa riferimento Pagano nel suo scritto del 1939.

La rivista Cantieri e la diffusione dei sistemi industrializzati a secco

Nel giugno del 1946 esce il primo numero della rivista "Cantieri. Documenti sull'industria, la sperimentazione e la tecnica edile con particolare riguardo all'unificazione e alla produzione di serie". La denominazione "Informatore tecnico", che precede il titolo della testata nel frontespizio, chiarisce il ruolo che la rivista intende assumere nel programma di riorganizzazione del quadro tecnico-costruttivo e delle professioni in Italia. Come osservato da Anna Maria Talanti, Cantieri si pone "*come forza attiva al servizio della Ricostruzione, battendosi e lavorando in special modo per una riqualificazione dei Tecnici […]. In particolare, Cantieri va ad agire nel mondo industriale, proponendosi di sensibilizzare imprenditori e tecnici alle nuove esperienze tecnologiche, scientifiche e organizzative nel campo della costruzione*" (Talanti, 1978).

La direzione dell'Informatore è affidata all'architetto Maurizio Mazzocchi (1908-2007), formatosi presso il Politecnico di Milano con una laurea in Architettura (1932). Partecipe del clima culturale milanese, Mazzocchi svolge negli anni Trenta attività professionale nello studio del padre Cesare, prima di partecipare in Svizzera, durante gli anni del conflitto, all'attività del "Bureau Technique de Reconstruction". Questa esperienza incide significativamente sugli sviluppi del lavoro di Mazzocchi nel dopoguerra, segnato dall'impegno per la rivista "Cantieri" e per la promozione della Mostra permanente sulla Costruzione. Mazzocchi avvia anche iniziative di carattere imprenditoriale nel settore immobiliare e, di certo, questa parte del suo lavoro contribuisce all'interesse per la razionalizzazione del processo progettuale e costruttivo, in nome di un'economia di costi e tempi che si definisce, nella visione di Mazzocchi, come cardine dell'aggiornamento del settore edile di fronte alle urgenze poste dal periodo post-bellico, e che l'architetto ripone nelle mani dell'iniziativa privata e degli industriali più illuminati. Così scrive nell'editoriale del primo numero di "Cantieri" dal titolo "Mobilitare le intelligenze": "*ci rivolgiamo ai privati, ed in particolare a quegli industriali che sono rimasti fino ad ora sordi alla voce di quella cultura e di quella intelligenza che anche da un punto di vista puramente materia-*

listico, potrebbe venire incontro a pericolanti situazioni economiche che il più delle volte sono il frutto dell'empirismo e dell'improvvisazione. […] Occorre aiutare gli intellettuali, occorre dar loro il mezzo di portare su un piano di pratica realizzazione i problemi che per ora sono costretti a dibattere nelle riviste, nei convegni, nelle associazioni, mentre i cantieri rimangono inerti" (Mazzocchi, 1946a).

Un incipit editoriale che marca il profilo dell'Informatore tecnico, osservatore vigile e critico delle difficoltà strutturali che zavorrano l'evoluzione in chiave industriale del settore edile; atteggiamento palesemente schierato nel campo dell'iniziativa privata e dell'interventismo dell'industria italiana dinanzi alla necessità di organizzare, pianificare temi e strumenti della ricostruzione (Brunetti, 1986). La linea editoriale della rivista è dunque così tracciata; in questo solco si collocano negli anni, con rigorosa coerenza e lucidità di visione, gli scritti che disegnano i contorni del dibattito sull'industrializzazione e la diffusione delle nuove tecniche, ivi compresi i sistemi costruttivi a secco. Lo scritto di Gaetano Ciocca, che dal secondo numero condivide con Mazzocchi la direzione di "Cantieri", presenta "*Il punto di partenza*" della ricostruzione edilizia e dichiara la "*necessità di una sperimentazione al fine di promuovere una vera industrializzazione dell'edilizia*", ossia la proposta di costruire "*la casa metro*", modello-misura cui rapportare le sperimentazioni varie per valutare la convenienza economico-produttiva dei progetti e degli interventi. Sullo stesso tema ritorna, circa un anno dopo, Carlo Rusconi Clerici, nell'editoriale "Sperimentazione edilizia" in cui esamina l'attività di alcuni programmi pilota in atto in Inghilterra e in Francia per valutare tempi ed economie di costruzione derivanti dall'uso di sistemi industrializzati. La raccolta di dati e la comparazione in termini di tipi, qualità, pesi e costi della costruzione tradizionale dei vari elementi costruttivi e un analogo esame dei vari tipi prefabbricati rappresentano l'apparato scientifico che Rusconi Clerici, confortato dall'attività in atto in altri paesi, crede possa consentire un uso consapevole dei nuovi modi di costruire (Rusconi Clerici, 1947). Un rinnovato invito alle imprese lo muove Giulio Minoletti nel n. 17 del 1949, con il suo editoriale "Case in grande serie. Invito alle industrie" (Minoletti, 1949). Qui il riferimento alla costruzione a secco è palese e la tecnica proposta come opzione necessaria per rispondere con efficacia e qualità alla crescente domanda edilizia italiana. Minoletti, riprendendo con lucida coerenza l'appello lanciato da Mazzocchi sul n.1 della rivista nel 1946, si rivolge alle industrie con la consapevolezza delle difficoltà del quadro italiano dettata dall'esperienza delle vicende della ricostruzione, ma con immutato vigore, introducendo elementi di preziosa originalità di visione programmatica e di efficacia strumentale. Minoletti osserva che solo grandi industrie legate allo Stato possono "*riunire da un lato quella vastità di attrezzatura tecnica e, soprattutto, di quadri tecnici e dall'altro quella possibilità di collegamento con gli organi governativi*" necessari per l'industrializzazione del settore e la produzione di case in grande serie. In ultima analisi, per Minoletti si conferma condizione propizia la formazione

di uffici tecnici interni alle industrie che si occupano della progettazione della "casa prefabbricata" in tutte le sue parti (Minoletti, 1949). Per gli obiettivi di queste note, la parte più rilevante dello scritto concerne il decalogo delle caratteristiche delle case in grande serie, tra cui Minoletti include lo sfruttamento della produzione di serie per "*raggiungere il massimo comfort con il minimo costo finale*"; la flessibilità spaziale e tecnologica dell'approccio progettuale volto a "*consentire la formazione di organismi differenti per differenti composizioni famigliari e per differenti condizioni climatiche*"; la preferenza per la costruzione a secco, espressa con convinzione nel passaggio "*Abolizione di ogni materiale da 'colare', plasmare o cementare in luogo e abolizione quindi di ogni lavoro comportante un periodo di presa, di assestamento ecc. Costruzione quindi totalmente a secco*"; la riorganizzazione del processo costruttivo attraverso "*l'esclusione di ogni lavoro a carattere artigiano o comunque subordinato all'abilità e alla precisione individuale. Costruzione quindi a macchina*" e con la conseguente "*riduzione al minimo di ogni lavoro in luogo. Lavoro quindi al massimo in officina*", che ottimizzi tempi e sequenze di montaggio dei pezzi. La visione di Minoletti, di sorprendente attualità nel quadro della rinnovata attenzione rivolta dal panorama costruttivo contemporaneo alle costruzioni a secco e sintetizzata dall'autore nell'ideale di "*casa stampata*" composta di materiali fusibili e pienamente recuperabili, rappresenta una delle posizioni più avanzate del dibattito promosso da *Cantieri* e ben si accorda con l'appello degli esordi lanciato da Mazzocchi sul n.1 della rivista. Ed è ancora lo stesso Direttore, ormai consapevole dell'indifferenza dei costruttori dinanzi al tema della casa di serie, a riprendere il piano di Minoletti sul n. 21 del 1950, penultimo della breve vita editoriale dell'Informatore tecnico, per rivolgersi nuovamente alle grandi industrie e scrivere "*Se i costruttori sino ad oggi non hanno saputo risolvere questo problema, lo risolvano industrie tipo Montecatini, tipo FIAT, tipo Breda, tipo Pirelli, tipo Edison, e cioè degli organismi sorti con concetti e procedimenti industriali*" (Mazzocchi, 1950).

Questa linea editoriale pragmatica, protesa verso la sperimentazione e il deciso coinvolgimento delle industrie, è promossa da "Cantieri*"* attraverso la rassegna di sistemi e prodotti. La presentazione dei sistemi si rivolge in particolare al quadro internazionale, molto più avanzato di quello italiano. Lo scenario allargato è privilegiato fin dagli esordi, anche grazie all'esperienza svizzera e alle relazioni internazionali di Mazzocchi. Questa tendenza è formalizzata nel 1948, quando nella nota ai lettori del n. 11 la redazione annuncia che l'Informatore "*acquista un carattere decisamente internazionale*" e con orgoglio rivendica "*di aver portato sulla via della realizzazione il programma che per primo Giuseppe Pagano formulò dichiarando che questa rivista avrebbe dovuto favorire nel modo più ampio lo scambio di idee tra i tecnici di tutto il mondo*" (Red., 1948a). La qualifica "internazionale", che va a completare la definizione dell'Informatore tecnico, è certificata dall'istituzione di un comitato internazionale di patrocinio di cui fanno parte Alvar Aalto, Max Bill, Lu-

cien de Vestel, Ambrogio Gadola, Enrico A. Griffini, Alexander Klein, Marcel Lods, Maurizio Mazzocchi, Alfred Roth, Jean Tachumi, Jean Pierre Vouga, cui si aggiunge poco dopo Richard Neutra (Red., 1948c). Alcuni di questi personaggi intervengono sulle pagine dell'Informatore, come accade per Marcel Lods con la nota "Evolution de la manière de construire les bâtiments" sul n. 15 del 1949 e per Richard Neutra con l'articolo "Chances of prefabrication" sul n.16 del 1949.

La rassegna dei prototipi e dei sistemi industrializzati internazionali dà conto delle soluzioni in calcestruzzo armato e, con riferimento agli interessi di queste note, dei sistemi costruttivi a secco. Non espressamente menzionata come opzione privilegiata della costruzione di serie industrializzata, l'alternativa tecnica a secco è presente fin dai primi numeri nelle recensioni dell'attività internazionale, con contributi più o meno rilevanti in chiave scientifico-tecnologica e in termini di diffusione commerciale. A questa attività si può riferire la recensione della Wichita House, il noto progetto di Buckminster Fuller che perfeziona la Fuller Dymaxion House del 1927, per svilupparne a partire dal 1947 la produzione in serie. Il caso è riportato nella sezione "Documenti" del n. 4 del 1946, con una nota di accompagnamento alle immagini che descrivono in particolare gli impianti dell'unità. Si evidenzia il peso di quattro tonnellate della Wichita House, ridotto a un decimo di una costruzione tradizionale, il montaggio contabilizzato "*in 60 ore lavorative, cioè due soli giorni di lavoro per una squadra di dieci uomini*", la facilità di trasporto e montaggio delle parti che "*vengono imballate piatte, e curvate poi in luogo, così che per il trasporto tutta quanta la casa – eccezion fatta per la cucina – può essere imballata in una apposita custodia cilindrica del diametro di 4 piedi e lunga 16*" (Perogalli, 1946).

Un anno dopo è il turno di un'altra ben nota sperimentazione statunitense, promossa da Konrad Wachsmann e Walter Gropius. Si tratta del sistema, messo a punto dai due europei per la General Panel Corporation con sede in California, che prevede di poter "*comporre una casa in 38 ore lavorative*" utilizzando i pannelli prefabbricati prodotti dall'azienda californiana. La nota di Lanfranco Bombelli Tiravanti (1947) evidenzia che il sistema "*ha la particolarità di essere, a differenza di altri che lo sono soltanto nominalmente, veramente modulare e flessibile*" basato su un concetto di modulazione dei componenti della casa, da cui è derivato "*un elemento analogo al mattone in quanto ha sempre le medesime proporzioni e lo stesso profilo laterale*".

La recensione si riferisce all'insieme di pannelli per pavimenti, soffitti, pareti e copertura, con varianti per l'inserimento di porte e finestre che, grazie al giunto versatile messo a punto da Wachsmann, in Figura 1, possono essere combinati tra loro nella medesima maniera, secondo una costruzione a catena, a prescindere dalla tipologia del pannello. La costruzione a secco è in questo caso centrale e, infatti, si dà spazio alla descrizione del giunto in acciaio "*composto di quattro parti che vengono adattate l'una all'altra sino a formare un rigido sistema cruciforme*" (Bombelli Tiravanti, 1947)

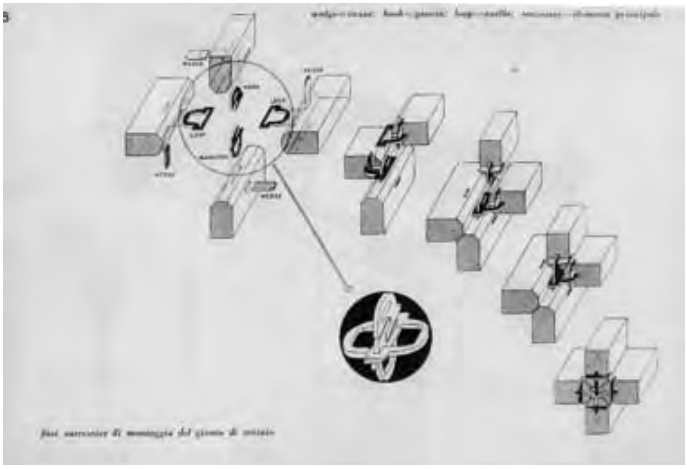


Fig. 1 – Il giunto del sistema Wachsmann-Gropius pubblicato sul n. 9 del 1947 del "Cantiere".

Ai casi di maggiore rilevanza e meglio documentati, "Cantieri" affianca la recensione di sistemi diffusisi in Europa e negli Stati Uniti, come testimonia l'analisi delle case temporanee di alluminio prodotte nel Regno Unito da fabbriche di areoplani che convertono la loro produzione nel dopoguerra (Red., 1947a); i sistemi di alluminio per le case tropicali sviluppati sempre in Inghilterra per dare risposta alla domanda edilizia nei territori coloniali (Red., 1947c); i sistemi in alluminio per scuole prefabbricate inglesi (Perogalli, 1950); e, infine, la "Casa pieghevole" di Carl Koch prodotta negli Stati Unti dalla Acorn house Inc. e basata sull'impiego di pannelli di legno compensato incernierati tra loro così da consentire il trasporto della casa ripiegata e la successiva "*apertura in cantiere*" (Perogalli, 1949). Il medesimo orizzonte internazionale definisce l'approccio ai prodotti da impiegare nei sistemi costruttivi a secco, nonostante la vivace produzione italiana degli anni Trenta di pannelli isolanti e di tamponamento cui si è fatto precedentemente cenno in queste note. Testimonianza ne sono la recensione dei pannelli di Durisol, prodotti a base di fibre di legno legate con cemento e compresse in apposite casseforme metalliche per la formatura dei pannelli; il marchio svizzero, cui peraltro Mazzocchi è legato per ragioni professionali, è al tempo già largamente impiegato in Europa per la realizzazione di case a un piano ed edifici alti (Mazzocchi, 1946b). Un analogo prodotto per il tamponamento di sistemi intelaiati montati a secco è recensito nel numero 14 del 1948; ottenuto da materiale di scarto della lavorazione del legno (segatura, fibre) e legato con resine sintetiche, il prodotto suscita l'interesse dell'Informatore Tecnico per il ciclo di produzione, che ottimizza tempi e costi (Red., 1948d).

In questa cornice internazionale si possono censire pochi esempi italiani, che riflettono la lenta e difficile introduzione dei sistemi a secco nelle politiche di pro-

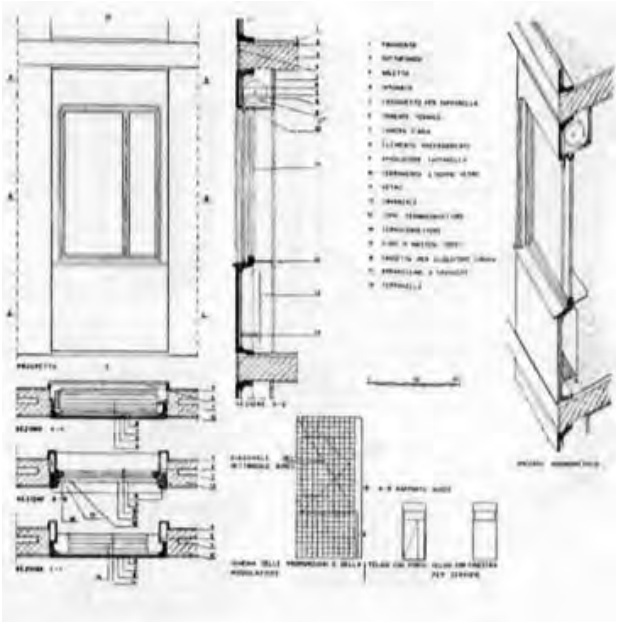


Fig. 2 – Il pannello prefabbricato messo a punto dal gruppo BBPR pubblicato sul n. 11 del 1948 del "Cantiere".

grammazione e attuazione della ricostruzione del Paese. Due casi emergono nella rassegna quinquennale di "Cantieri". Si tratta della "Casa in legno ad elementi smontabili in 48 ore" progettata da Vittorio Gandolfi e Luigi Tanzi nel 1943 e analizzata nel n. 7 del 1947. Il manufatto, già pubblicato su Domus, Metron e nel volume "Ville e Casette" edito da Gorlich, ha una struttura composta di intelaiature disposte con passo di 1,40 metri e pareti di tamponamento formate di pannelli di legno con doppia camera d'aria (Red., 1947b). Un secondo caso di interesse è il "Pannello-serramento prefabbricato", studiato dal gruppo BBPR in calcestruzzo armato prefabbricato e con rivestimento in graniglia di marmo e serramento di legno integrato (Red., 1948b). Il sistema, in Figura 2, pur non adottando i principi della costruzione a secco, si contraddistingue per un profilo di flessibilità di impiego molto affine alle logiche di quel tipo di soluzioni industrializzate.

Conclusioni

In conclusione, *Cantieri* è parte del laboratorio culturale del dopoguerra sul rinnovamento delle tecniche e dei processi costruttivi; esperienza eroica e interrotta, di cui la rivista testimonia la nascita e stimola gli sviluppi registrandone, infine, i limiti e gli insuccessi che Enrico Gentili Tedeschi, sulle pagine di Cantieri nel 1948, attribu-

isce alla mancanza di "*una base sicura*" perché le industrie si orientassero a fornire "*elementi per l'edilizia costruiti in serie a prezzi moderati*" (Gentili Tedeschi, 1948). Questo deficit condiziona lo sviluppo della costruzione a secco nel dopoguerra e, infatti, il connubio tra "*arte e industria*" di cui scriveva nel 1939 Pagano, si rivela ancora soltanto un auspicio, nonostante le promettenti premesse degli anni Trenta. La sperimentazione industriale in questo settore delle tecniche, posta dinanzi alle urgenze e alle difficoltà straordinarie del dopoguerra, non ritrova un analogo slancio, sancendo un'inevitabile battuta d'arresto della produzione, malgrado gli studi e i dibattiti teorici. Un destino difficile che segna i sistemi costruttivi a secco prima che un nuovo e diverso scenario si schiuda per questi procedimenti negli anni Cinquanta nel campo degli edifici per uffici, dove conquistano il primato tecnologico.

Bibliografia

Bombelli Tiravanti L. 1947. La casa industrializzata, USA, Sistema Wachsmann-Gropius. Cantieri, 9, 5-12.

Brunetti F. 1986. *L' architettura in Italia negli anni della ricostruzione*. Firenze: Alinea.

Gentili Tedeschi E. 1948. Industrializzazione in Italia. Cantieri, 14, 2.

Greco L. Mornati S. 2012. *La torre Galfa di Melchiorre Bega. Architettura e costruzione*. Roma: Gangemi.

Greco L., Spada F. 2019. The Invulnerabile prefabricated construction system for Italian temporary buildings in the 1930s. In: *Water, Doors and Buildings: studies in the History of Construction* (a cura di James W.P. Campbell et al.). Cambridge (UK): Construction History Society.

Griffini E.A. 1032. *La costruzione razionale della casa*. Milano: Ulrico Hoepli.

Mazzocchi M. 1946a. Mobilitare le intelligenze. Cantieri, 1, 1946.

Mazzocchi M. 1946b. Contributo alla prefabbricazione. Il Durisol materiale leggero da costruzione. Cantieri, 2, 5-11.

Mazzocchi M. 1950. L'industria edilizia e la produzione di casa. Cantieri, 21, 1-2.

Minoletti G. 1949. Case in grande serie. Invito alle imprese. Cantieri 17, 3-4.

Perogalli C. 1946. Una casa di quattro tonnellate. Cantieri, 4, 22-24.

Perogalli C. 1949. La casa pieghevole Acorn. Cantiere, 16, 26-27.

Perogalli C. 1950. Costruzioni prefabbricate in alluminio. Cantieri, 21.

Pagano G. 1939. Le costruzioni in serie, Casabella, 144, 2.

Red. 1947a. La casa di alluminio. Cantieri, 5, 33-34.

Red. 1947b. Casa in legno ad elementi smontabili in 48 ore. Cantieri, 7, 23.

Red. 1947c. Alluminio per le case tropicali. Cantieri, 8, 28-29.

Red. 1948a. Nota ai lettori. Cantieri, 11, 1.

Red. 1948c. Ai lettori. Cantieri 13, 1.

Red.1948b. Pannello-serramento prefabbricato. Cantieri, 11, 2-5.

Red.1948d. Pareti di legno con materiali di scarto. Cantieri, 14.

Rusconi Clerici C. 1947. Sperimentazione edilizia. Cantieri 9, 2-4.

Talanti A. 1978. L'industrializzazione edilizia in Italia 1945-1954. Milano:AIP.

Triennale di Milano, 1947. *Ottava Triennale di Milano*, catalogo guida. Milano.

Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida

Some considerations about the role of the historical drawings on the modern design

Abstract
I disegni storici costituiscono, in ambito tecnico, un patrimonio di contenuti (soluzioni costruttive) e di forme (criteri di rappresentazione). In questo lavoro vengono proposte alcune considerazioni sull'importanza dei disegni storici e sui criteri di rappresentazione delle proiezioni verticali e orizzontali su un unico piano. Il disegno, come forma di comunicazione tecnica, ha avuto importanza ben prima dell'invenzione e della formalizzazione delle regole tecniche introdotte nell'era moderna e contemporanea ma, come accade per i disegni tecnici odierni, i disegni storici richiedono una chiave interpretativa. Quello che a noi può apparire come un disegno 'sbagliato', alla luce dell'evoluzione dei metodi rappresentativi e delle convenzioni del disegno tecnico adottate a partire dal XVIII secolo, in realtà può rivelarsi essere realizzato secondo un linguaggio descrittivo che può essere considerato, a tutti gli effetti, come una vera e propria convenzione di disegno tecnico, e quindi decifrabile e interpretabile correttamente dai tecnici del tempo. Presenteremo alcuni esempi di disegni storici evidenziandone l'importanza per il disegno tecnico, la progettazione e la comunicazione moderni. Descriveremo quindi l'uso in epoca medievale di un metodo di rappresentazione di assiemi e componenti meccanici, basato sulla rotazione su piani differenti dei diversi componenti di uno stesso sistema, che, pur essendo errato da un punto di vista prospettico o assonometrico, risulta efficace e comprensibile a chi ne possiede la chiave interpretativa. Siamo in presenza di un vero e proprio metodo di rappresentazione grafica utilizzato da Guido da Vigevano nel XIV secolo e che trova applicazione ancora oggi, ad esempio negli esplosi ortografici funzionali.

Introduction
Drawing as a form of technical communication had an important role even before the invention of the proper technical drawing, as we know it, in the modern time. As the modern technical drawings, the historical ones need an interpretative key. In many cases, what may seems to us as a "faulty" drawing, according to our conventions based on the evolution of representational methodology and technical drawing conventions adopted since the XVIII Century, in reality employs a descriptive format that can be practically considered as a true convention for technical drawing. Thus

could be easily read and correctly interpreted by the technicians of the period. In this paper, we present some considerations about the historical drawings, and, particularly, the criteria to draw the vertical and the horizontal projections in a unique plane. The most important advantages of these criteria consist in representing:

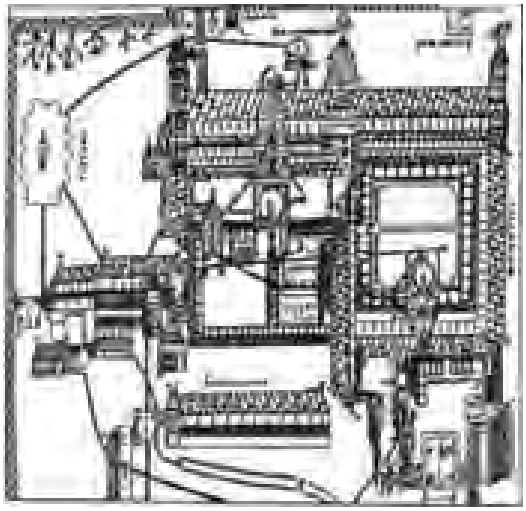
– all details in the most significant projection;
– only in one view the complete configuration of an object.

One can find such a way of graphical representation even in non-technical images.

In Figure 1 we propose three historical images, belonging to different eras, as examples of drawing criteria to represent the vertical and the horizontal projections in a unique plane. Furthermore, we consider the historical drawings as an important database of contents (constructive solutions) and forms (criteria of drawing). It is important to emphasize that one needs to face and interpret an historical drawing without the current mindset that is the result of a long process of design convention about the standard views, projections and representative methods. In this paper, we present some examples from historical drawings and the role they play to the modern design. In particular, we propose a novel approach for the interpretation of some medieval drawings. We will describe the use of a method of representing mechanical components and assemblies via rotation of the various components of the same system

a)

b)



c)

Fig. 1 – Historical images: a) image of a chariot from stone engraving (Italian peninsula, 850 – 700 A.C.) (from Chirone, 1984); b) burden of a donkey, painting from the tomb of Iti and Neferu, First Intermediate Period (2118-1980 BC), Museo Egizio di Torino; c) Medieval drawing of a building in which the top and side views are superimposed (from Chirone, 1984).

through different planes, which is technically incorrect from a perspective or axonometric point of view, but effective and fully understandable to those who possess the interpretative key. We will see that even today, technical communication makes use of representative models (such as orthographic exploded functional views of systems or assemblies) very similar to those employed in the XIV Century. Moreover, some technical solutions adopted in the past could be inspirational to new standards.

Guido da Vigevano's method and the Wind-powered Wagon

We first describe a novel approach for the interpretation of medieval drawings using, as an example, the work of Guido da Vigevano, physician at the court of France at the first half of the XIV Century. Guido represents an interesting figure of a cultured man of his time with interests in Medicine and in Mechanics (Ostuni, 1993). In the days of Guido da Vigevano the separation of practical activities from theoretical formulations was required; that involves the separation of written text from illustrations. The latter were considered as "inferior" instruments of communication, mainly used by people without culture and inferior to people with verbal eloquence (Salvi, 2013). Moreover, we should never forget that in an age when knowledge was transmitted via manuscripts, the copyist could introduce involuntary modifications to the illustrations, and the accumulation of small errors could completely distort their divulgatory value with respect to the text. Guido provided a graphical representation of the anatomical method that had recently attained official recognition in the University teaching, as testified by the text *Anothomia* (1316) by the Bolognese physician Mondinus de' Liuzzi. In this way, Guido entrusted to the eye what the practice of anatomy in the Universities was beginning to discover through written anatomical texts (essentially those of Claudius Galenus, II Century) (Salvi, 2013). For our contention, Guido's method is of the utmost importance regarding the confidence in the cognitive value of images, even given the limitation imposed by the manuscript disclosure and dissemination. An example of the method we are illustrating can be seen in the manuscript *Anothomia designata per figuras* (1345) in which 18 figures (in 16 plates) are represented and in particular in the figure in which Guido shows how to open the belly in order to see all the members (Figure 2). A brief text is accompanying the image[1].

Fig. 2 – Guido da Vigevano, second anatomical figure in which the physician is showing how to open the belly. Anothomia designata per figuras, Bibliothèque du Chateau de Chantilly, Ms 334.

Many are the important aspects related to the figure in terms of iconography but the two most interesting, as regarding our topic, are about:

- the concurrent use of text and image to reach the highest information. In both his medical and mechanical works, Guido adopted this way of representing which is based on the alternative use of text and figure. This method, used to make it easier for the reader the understanding of the text, can be regarded as an anticipation of the conception *figurare e descrivere*[2] (i.e. to draw and describe) introduced by Leonardo da Vinci. In Guido for the first time, we can observe a new way of describing which can be summed up as "descrivere e figurare" (i.e. to describe and draw) keeping in mind the famous Leonardo's claim. We can observe that, like Leonardo, but preceding him by a century and a half, Guido acknowledges the urgencies to overcome the mere verbal description to achieve an effective and immediate but 'objective' technical communication. In particular, we may observe that Guido introduces explicit references in his text to the importance of drawings[3].
- the evident rotation of the plane in which is lying the body on which the physician is working to open the belly and make the anatomical dissection.

Moreover, one of the most significant aspects of Guido's work lies in what we could call as a method of drawing or graphical representation. Again, we find this method applied in the *Anothomia* and, even more effectively, in the second of his known works: the *Texaurus Regis Francie* (1335), which is one of the most interesting technological manuscripts of the Middle Ages (Hall, 1976, Ostuni 1993, Bona et al., 2016).

Two extant copies of the manuscript relating to the second part on the war machines, titled "*Modus acquisicionis*", (i.e. Way of conquer the Holy Land), are conserved at the Bibliothèque Nationale in Paris and at the Yale University, respectively (Ostuni, 1993). For our purposes, these two manuscripts, for the sake of brevity in the following denoted as Ms. P, Paris, and Ms. Y, Yale, have minor differences from each other although Martin of Aachen transcribed the latter in Cyprus in 1375. Even Ms. P is not the original. We do not know for certain whether the original drawings were by Guido's own hand or an illustrator made them, although there are passages in the *Texaurus* where Guido says that he could not represent in a figure all the information needed for the construction of the device. In any case, for the sake of convenience, we will refer as Guido's drawings to the images the *Texaurus* contains.

Of particular concern to our research, the text, written in Medieval Latin and divided in thirteen chapters, describes, among the other war machines and devices, two remarkable war wagons. The first one is a battlewagon, propelled via muscular force by the crew, and the second one is a self-propelled wind wagon. In the following, we will focus on the Chapter XII of the *Texaurus Regis Francie* in which Guido da

Vigevano describes a battlewagon of imposing size capable of moving without the use of draught animals, using only the force of the wind. It can be considered as the first-ever vehicle capable of independent propulsion using a wind-driven system to produce the necessary power (Rottenbacher et al., 2018). Moreover, the description of the vehicle shows many novel features. In fact, we can notice a considerable number of innovations for the period characterizing the text, starting with the title, *De modo faciendi*, which declares an operational and design intent, and which represents a synthesis of the most advanced mechanical techniques of its time. The use and description of components and assemblies (e.g. thrust bearings, gearwheels or fitted with rundles wheels, lantern pinions, a steerable rear axle on a pivot, the transmission of motion from the rotor to the front wheels of the wagon) plus the reference to the ease of assembly and disassembly, to the modularity, the breakdown and transportability of the parts, are all aspects that reveal considerable mechanical knowledge (Hall, 1961). Indeed a certain eye for invention, such as the combination of a windmill with a revolving cap and a two-axle wagon, the use of a hand crank and the provision of a system to prevent the wagon from being overturned, can be noted. These features remain even though Guido delegates its construction, in the field, to the master craftsman (*ut videbitur operanti*). Even the references to the units of measurement and the materials to be used, albeit within the limits of the description, constitute an interesting novelty with respect to the elusively rare indications in the treatises of the time and afterwards. However, the most innovative aspects lie

- in the way of presenting the wagon through a genuine descriptive method based on the alternate use of text and figures (such as in the case of some mechanical components: *vella, narigia, cagnionum, parve ruelle*) aimed at providing a clearer explanation of the project (Rottenbacher et al., 2018) and, in this way, anticipating Leonardo, as stated before.
- by providing an overall drawing of the wagon (*manifestum exemplum*) at the end of the description (Figure 3). In particular, this method of representing his invention via rotation of the various components of the same system through different planes, technically incorrect from a perspective or axonometric point of view, is effective and fully understandable to those who possess the interpretative key.

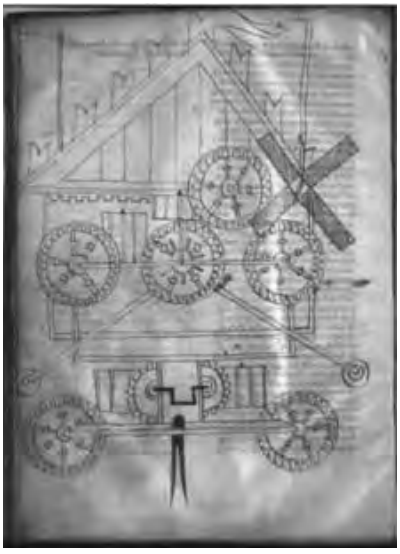


Fig. 3 – Drawing of the wind wagon, Texaurus Regis Francie, Chapter XII, Ms.Y.

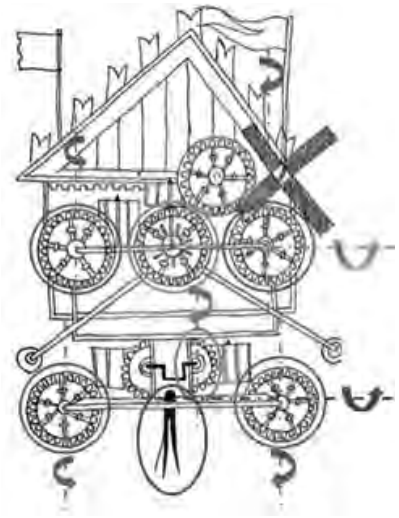


Fig. 4 – Highlights of some of the main elements of the wind wagon represented through the method of the rotation of their planes in the image fundamental plane (easy-to-see drawing for enhanced image sharpness).

In Figure 4, we can see an image of the wind wagon represented in Ms.Y in which we applied to some of the main mechanical elements, as an interpretation, the method of the rotation of their planes in the image fundamental plane. In this way, we can identify the front and rear wheels of the wagon (in blue), the great wheel for the transmission of the movement of the rotor to the wheels of the forward axle (in orange), the gearwheel (*rota indentata*) that receives the torque from the handle (*manegia ferri*) and moves the lantern pinion (*cugnone*) engaged to the rear wheel of the wagon (in green), and finally the pivoted rear axle with shaft (in red). In an age in which the prospectiva and its geometrical laws were being rediscovered in the fields of paintings and the modern mechanical design conventions did not exist yet, this method holds a great significance of representation.

To have a general overview of the wind wagon, as presented and described by Guido in the text of Chapter XII, it is possible to highlight its main elements on the drawing (Figure 5).

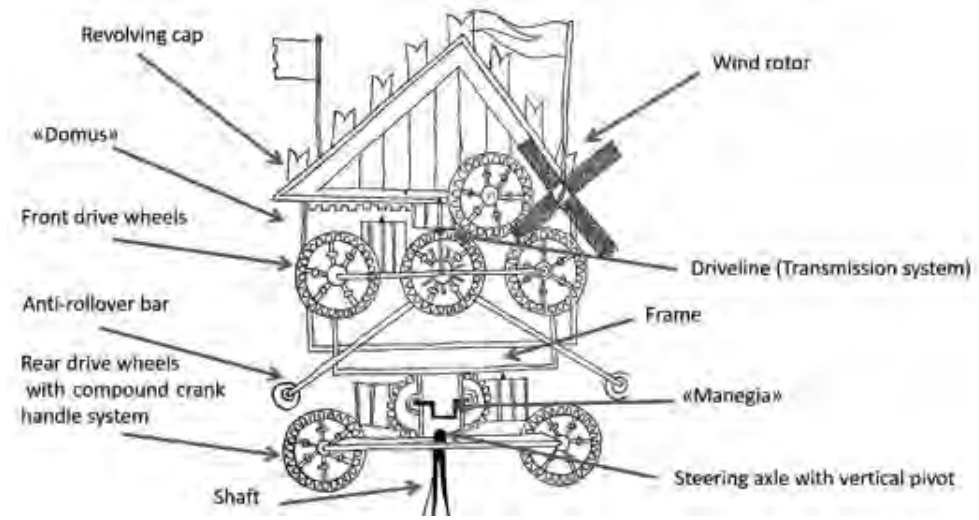


Fig. 5 – Main elements of the wind wagon.

What may seems to us as a "faulty" drawing, according to conventions based on the evolution of representational methodology and technical drawing conventions adopted since the XVIII Century, in reality employs a descriptive format that can be practically considered as a true convention for technical drawing. Thus could be easily read and correctly interpreted by the technicians (master craftsmen) of the period[4]. Moreover, we can observe that since the Industrial Revolution principal aim of the technical drawing was to provide instructions increasingly effective in the production of items, through different methods and instruments. In this way, one can refer to it as a true language of graphical representation. In the drawing of the wind wagon, we do not find, of course, the method, the use of the standardised technical conventions, the directions and drawing requirements or even the precision of 'our' technical drawings.

However, it shows *in nuce* a bridging function between the representation of an item and its concrete realization (manufacture) which is typical of the machine design. Based on this interpretative method, Figure 6 shows a 3D model reconstruction of the wind wagon (Rottenbacher et al., 2018).

Further insights on the drawing and its graphical composition may arise comparing it with current schemes employed in the actual technical communication. To testify the effectiveness of this representative method, it is interesting to note that even today technical communication makes use of representative models (such as orthographic exploded functional views of systems or assemblies) very similar to those employed by Guido in the XIV Century.

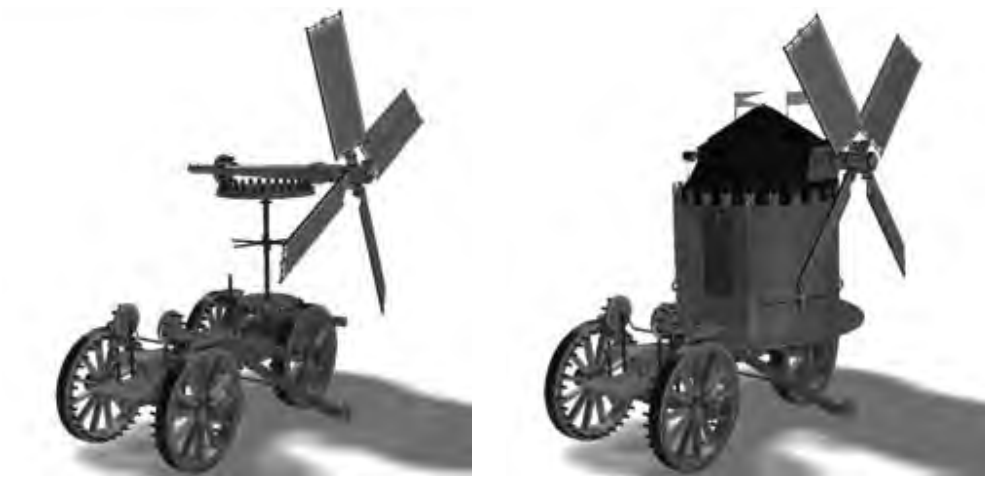
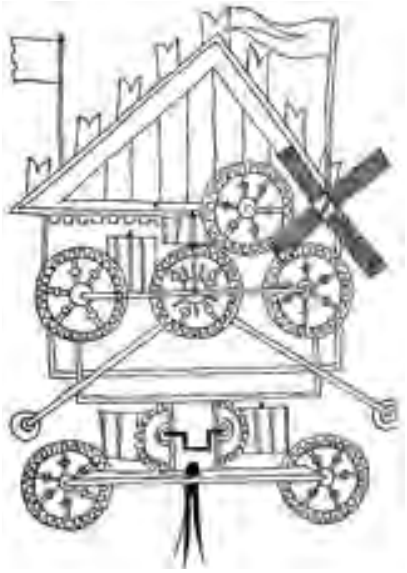
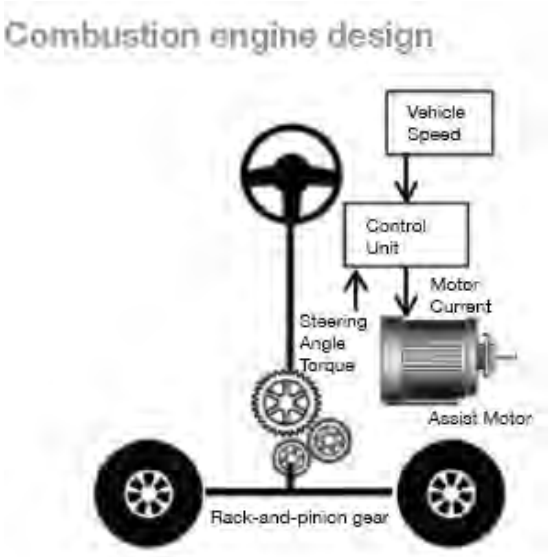


Fig. 6 – Virtual reconstruction and 3D model of the wind wagon. Main transmission system at the front axle and compound crank handle system mounted on the pivoted rear axle (left); rendering of the full model of the wind wagon (right) (from Rottenbacher et al., 2018).

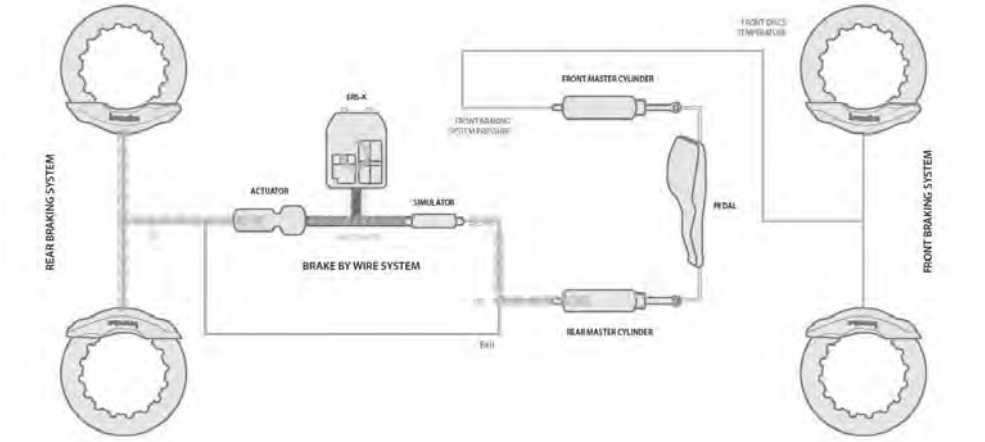
As examples, in Figure 7 we show two contemporary functional drawings in which the rotation of the components with respect of the main plane of the scheme allows an immediate and clear interpretation of the represented system.



a)



b)



c)

Fig. 7 – a) Wind Wagon (from Ms.Y); b) Functional Diagram of Electric Power Steering (EPS) system (Courtesy of Yokogawa Test and Measurement Corp.); c) Ortographic exploded functional view of Formula 1 Brake By Wire (BBW) system assembly (Courtesy of Brembo S.p.a.).

Thus, we can clearly notice an evident use of the method of the rotation of the planes, in which the main components of the system lie. In this way, even today, it is possible to achieve an immediate representation of the overall system regarding, for example, a functional diagram of an electric power steering system or a functional view of a Formula 1 brake-by-wire system assembly.

Finally, an implementation of this method could be useful also in standardization. Figure 8 represents the principle of representation of a section overturned in place, applied to a connecting rod.

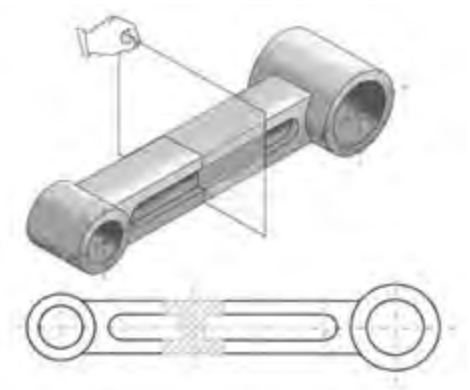


Fig. 8 – Principle of representation of a section overturned in place, applied to a connecting rod.

The examples presented are significant, especially in the early stages of project development. The Authors believe that an in-depth analysis could be useful, especially with the aim of proposing a specific ISO standard on the subject.

Conclusions

Historical drawings are an important database of contents and forms. The need to represent on a two-dimensional plane the three-dimensional reality has led to an evolution in graphical representation through the eras until the *prospectiva* and then, finally, the technical drawing standards were set up. In the Middle Ages, Guido da Vigevano used a method of graphical representation of the various components of a system via rotation of their planes in the image fundamental plane. This method, technically incorrect from a perspective or axonometric point of view, is effective and fully understandable to those who possess the interpretative key. We are in presence of a true graphical method which is applied also today in technical communications and which could be proposed for an in-depth analysis targeted for specific standards.

References

Bona S.G., Genta G., Mimmi G., Rottenbacher C.E., Rovida E. 2016. The ancestors of the motor car. First steps in terrestrial locomotion. Proceedings of the 2nd International Conference on History of Engineering, Naples, 343-356.

Chirone E., Colosi G. 1984. Alcune note sull'evoluzione del disegno meccanico. Meeting "Il disegno industriale ed i suoi collegamenti con attività progettuali, costruttive, funzionali" Bari XLVIII Fiera del Levante, 14.09.1984.

Hall H.R. 1961. More on Medieval Pivotal Axles. Technology and Culture, 2(1), 17-22.

Hall H.R. 1976. Guido's "Texaurus" 1335. In: *On Pre-Modern Technology and Science. Studies in Honor of Lynn White* (B.S. Hall and D.C. West eds.). Malibu: Undena Publ.

Ostuni G. 1993. *Le macchine del re. Il Texaurus Regis Francie di Guido da Vigevano*. Vigevano: Diakronia Edizioni.

Rottenbacher C.E., Rovida E., Genta G., Bona S.G., Mimmi G. 2018. Guido da Vigevano, from the Midlde Ages a modern man. Proceedings of the 3nd International Conference on History of Engineering, Naples, 631-641.

Salvi P. 2013. *L'anatomia di Leonardo: "figurare e descrivere"*. Prato: CB Edizioni.

Notes

1. "*Hec est secunda figura anothomie, sicut scinditur venter causa videndi omnia membra que sunt in ventre, ut sunt primo tres paniculi, scilicet mirac, sifac et zirbus et post hec sunt intestina, splen, epar et renes, et vie urinales et vie portantes sparma*"
   [Trad.] "This is the second figure of the anatomy, showing how to open the belly in order to see all the members that are in the belly, beginning with the first three membranes, namely the mirac, the sifac and the zirbus. Below these are the intestines, the spleen, the liver and the kidneys, and the urinary tract and the ducts that carry the sperm". Guido da Vigevano, Anathomia designata per figuras (1345), second anatomical figure. Bibliothèque du Chateau de Chantilly, Ms 334.
2. *"E tu che vogli con parole dimostrare la figura dell'omo con tutti li aspetti della sua membrificazione, removi da te tale openione, perchè quanto più minutamente descriverai, tanto più confonderai la mente del lettore e più lo removerai dalla cognizione della cosa descritta. Adunque è necessario figurare e descrivere"*
   [Trad.] "And you who think to reveal the figure of man in words, with his limbs arranged in all their different attitudes, banish the idea from you, for the more minute your description the more you will confuse the mind of the reader and the more you will lead him away from the knowledge of the thing described. It is necessary therefore for you to draw and describe". Leonardo da Vinci, Anatomical Studies, Windsor Castle, RCIN 919013 v [K/P 144 v].
3. For example, in Chapter II of the *Texaurus*, *De modo faciendi perticam,* on the way of building a pole for siege, where Guido at the end of the description (r 101), writes:
   "Et hanc perticam designabo in exemplo/quia levius designabitur".
   [Trad.] "And this I will draw for example/ because it's easier to draw [than to describe]".
   In Chapter VII, *De modo faciendi pontes*, on the way of building bridges, where it is stated
   "*..prout videbitur in exemplo clare et manifeste quia non bene possum proferre litteris sicut habeo in corde sed exemplum declarabit*"
   [Trad] "..as it will be made clear and obvious in the illustration because I cannot so well set it forth in words as I see it clear in my mind", (r 24-25).
4. One may also guess that Guido was not the inventor of this method, in case we may infer that the method was obviously already in use at the time and consequently we may infer the existence of sketchbooks (of which however we have no evidence up until now). Thus, Guido would have been aware of these sketchbooks, in which, like the modern 'process book', the master craftsman noted the constructive details of his machines, and would have used the same representative technique.

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS

ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Giovanna Greco

Alluvioni, esondazioni, impaludamenti: costruire e coltivare in paesaggi fragili. Alcuni esempi dall'antichità: Paestum e Velia

Abstract
This paper shows how ancient cities and sanctuaries werebuilt in marshy areas. These case-studies represent the different adopted solutions: in Velia the use of wood and pebbles isolates the floor of the houses from wet sand; in Poseidonia, in the sanctuary of Hera at the mouth of river Sele, the so called hardened floors allow the crossing of the area.

Ambiente e paesaggio umano

Il rapporto tra l'uomo e la natura, *physis,* è oggetto di riflessioni già da parte dei primi filosofi della scuola ionica del VI sec. a.C. che si interrogano sui principi della vita e sulla nascita delle cose e cominciano a chiedersi se mai sia possibile all'uomo dominare la natura o prevedere o, ancora, mutare eventi naturali con la tecnica di cui si andava impadronendo. E nelle fonti antiche si racconta di Empedocle di Agrigento, filosofo e scienziato vissuto nel corso del V sec. a.C. che avrebbe frenato il diffondersi di un'epidemia, nella piana di Agrigento, sbarrando la gola di un monte da cui soffiavano i venti pestilenziali; da qui anche l'appellativo di *carceriere dei venti*. Il saper fare, sempre più evoluto, segna tutto il cammino dell'uomo e la sua sopravvivenza, in ambienti il più delle volte ostili, dove gli eventi catastrofici rivelano, in maniera devastante, il sovrastare della natura.

Sarà Aristotele a stigmatizzare questo lento processo di sopravvivenza che porterà l'uomo ad adattarsi agli ambienti e a contrastare la furia degli elementi naturali: *"con la tecnica otteniamo il dominio sulle cose in cui siamo vinti dalla natura"* (Mechanica, Proemium, p. 847). Ma è lo stesso Aristotele a riconoscere i limiti della tecnica a fronte della imprevedibilità della natura.

Scorrendo la letteratura antica si coglie appieno la coscienza che gli antichi avevano della sproporzione tra le capacità umane e le forze naturali e dunque di una sorta di incapacità a dominarla, controllarla o modificarla Così Platone, come paradigma delle catastrofi immani provocate dalla natura, inventa una mitica Atlantide, isola ricca e potente, inghiottita dal mare o Erodoto che descrive le terre d'Egitto come scaturite dalle cicliche esondazioni del Nilo (Repici Cambiano, 2003).

Quando i Greci, tra VIII e VII secolo a C. arrivano sulle coste dell'Italia Meridionale e della Sicilia e fondano nuove città hanno, chiaramente, la percezione di una terra vista dal mare; il contesto ambientale ha, quali elementi caratterizzanti del paesaggio, i fiumi, le sorgenti e le paludi. E' quindi l'elemento acqua a dominare e guidare i nuovi arrivati: il fiume può segnare un confine, così come rappresenta una via di percorrenza verso i territori dell'interno e la ricerca delle risorse primarie; la sorgente è indispensabile per la vita quotidiana, mentre la laguna e la palude possono costituire un buon riparo per le navi e la palude non aveva quella connotazione così negativa quale le verrà assegnata, molto più tardi; della palude si apprezza sia la possibilità e la facilità del riparo delle navi, sia la risorsa idrica, peschiva e anche agricola. Nella scelta dei luoghi dove impiantare la nuova città ricorrono alcune costanti ambientali che li caratterizzano e ne condizionano forme e modi di occupazione del territorio; l'insediamento è sempre sul mare, che costituisce la via di accesso ma, allo stesso tempo, garantisce i commerci, la navigazione e una rapida via di fuga; una piana alluvionale compresa tra due fiumi è adatta allo sfruttamento agricolo; la città si costruisce su una lieve altura, proprio per evitare facili e frequenti impaludamenti causati dalle esondazioni dei corsi d'acqua, tutti a regime fortemente torrentizio (Cordano, 1992). Nella letteratura antica sono famose le paludi dell'Averno, nei cui pressi sorgerà Cuma, quelle vicine a Poseidonia e, non a caso, Servio, un tardo commentatore del IV sec. d.C. dice di Velia: "*Velia è così detta a causa delle paludi che la circondano che i Greci chiamano hele*". Tutta la costa tirrenica è caratterizzata da un paesaggio costellato di lunghi e profondi cordoni dunari, in Figura 1, che porta alla formazione di lagune più o meno profonde che se da un lato consentono, soprattutto nei pressi delle foci dei fiumi, facili approdi, ricovero alle navi e possibilità di approvvigionarsi di acqua potabile, dall'altro rendono elevato il rischio di impaludamenti ed esondazioni.

Il difficile rapporto uomo-natura trova in quasi tutte le città antiche testimonianze ed evidenze materiali messe in campo per contrastare, controllare, modificare e adattare l'habitat naturale alla vita quotidiana dell'uomo e al suo benessere: una lunga storia di contrasto e resistenza; la stessa forma che assume un insediamento e ancor più una città riflette il costante adattamento all'ambiente circostante che condiziona l'organizzazione e la strutturazione della comunità. In ogni contesto ambientale si sviluppano tecniche edilizie specifiche legate alla presenza, sul sito, di materie prime facili da utilizzare e da trasportare e si elaborano accorgimenti peculiari, compatibili con il contesto naturale. L'intervento dell'uomo ha un impatto quanto mai pervasivo nella modificazione del paesaggio naturale e certamente la coltivazione e l'adattamento dei terreni all'agricoltura e all'allevamento hanno lasciato i segni più evidenti dei processi di modificazione del paesaggio naturale.

Un ruolo quanto mai significativo, in Italia Meridionale, è quello svolto dal fenomeno storico della colonizzazione greca, uno dei più significativi movimenti mi-

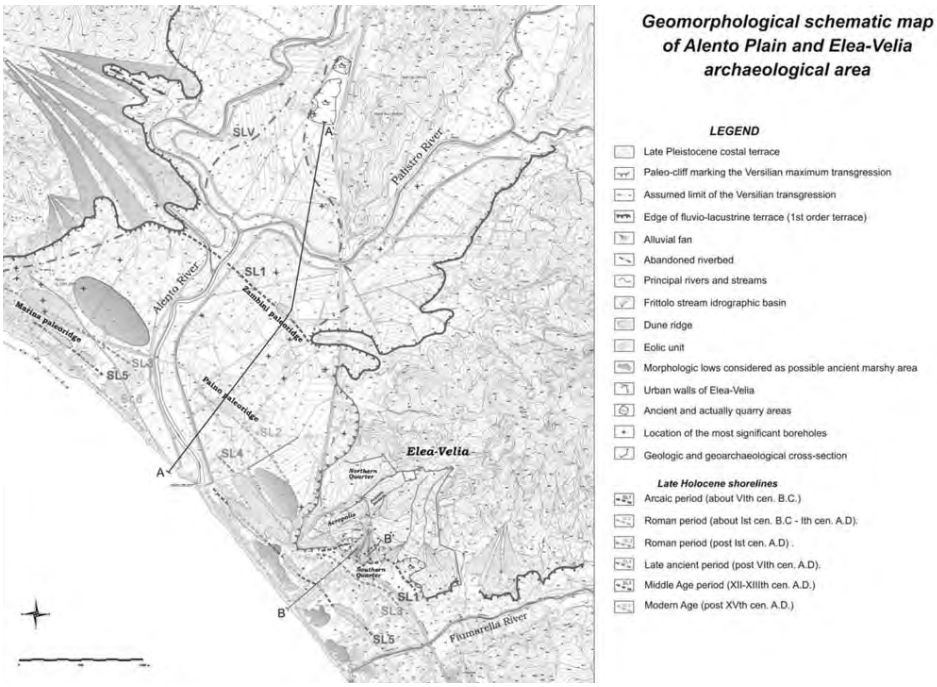


Fig. 1 – Velia: geomorfologia.

gratori avvenuti in un periodo di favorevoli condizioni climatico-ambientali che ha determinato una crescita economica e demografica; tra l'VIII e il VI sec. a.C. i Greci hanno costellato il litorale tirrenico, ionico e quello siciliano di splendide e fiorenti città. Ma con la nascita di una città urbanisticamente organizzata e dunque con la necessità di territori da sfruttare per le risorse alimentari, si determinano profonde e radicali trasformazioni al contesto naturale, contrastando, modificando e cercando di opporsi "alla furia degli elementi".

Alluvioni e maremoti: Elea

Emblematica nel contrasto ai fenomeni alluvionali è la storia urbanistica di Elea, sita sulla costa tirrenica, tra Punta Licosa e il promontorio di Palinuro. Fondata da un gruppo di Focei in fuga dall'Asia Minore dopo l'invasione delle armate persiane del re Ciro, negli anni tra il 540 ed il 535 a.C., ebbe grande fama nell'antichità, se non altro come patria di Parmenide e Zenone, ma non altrettanta fortuna in età moderna. Alluvioni, frane e acquitrini la distrussero fino quasi a farne perdere le tracce; saranno i lavori per la costruzione del tratto Vallo-Pisciotta della ferrovia a riportare alla luce i resti della città antica.

Il rapporto tra paesaggio naturale e insediamento è cruciale per Elea/Velia e, sin dalle prime fasi di vita, l'insediamento coloniale riflette un costante adattamento all'ambiente e alla morfologia complessiva del contesto paesaggistico. Nelle fonti antiche che tramandano la storia della città, l'elemento acqua è una costante e caratterizza la struttura stessa dell'insediamento; il ricordo della fonte *Yele*, da cui la città prenderebbe il nome, così come il riferimento alle paludi, alle isolette di fronte alla costa, ai due porti, sono tutti elementi che contribuiscono al meglio a definire lo stretto rapporto tra la città e il suo *habitat* naturale.

Ed è l'acqua l'elemento che, da sempre, ha rappresentato il problema preponderante per l'assetto della città; portatrice di benessere e qualità di vita, è al contempo fonte di catastrofi e distruzioni violente. Le stratigrafie veline, controllate in questi ultimi venti anni di esplorazione da parte della missione archeologica dell'Università di Napoli Federico II riflettono chiaramente la successione degli eventi distruttivi alluvionali che, nel corso del tempo, hanno costretto gli Eleati a ricostruire e ristrutturare case e monumenti, quasi in un ciclo costante dettato dalla ciclicità degli eventi naturali (Figura 2).

Le indagini geo-morfologiche hanno restituito un ambiente naturale al momento dell'arrivo dei coloni focei, caratterizzato da un promontorio proteso sul mare per circa 400÷500 metri che separa le pianure alluvionali dell'Alento e della Fiumarella, con due ampie insenature che si aprono a Sud e a Nord del promontorio, al riparo da venti e correnti; i carotaggi hanno anche dimostrato come l'insenatura a Sud avesse un fondale marino di alcuni metri di profondità, adeguato al pescaggio delle navi, mentre l'insenatura a Nord aveva un fondale costituito da terreni duri, i Flysch del Cilento, non soggetti a facili insabbiamenti: diventerà il porto della città e conserverà la sua funzionalità per un lungo arco di tempo. Tre ampi fiumi arricchiscono d'acqua il territorio e delineano pianure adatte alla coltivazione: a nord il grande Alento, perfettamente navigabile in tutto il suo tracciato, e il Palistro sfociavano a mare con foci differenti e più arretrate rispetto alla situazione attuale; sul lato Sud è la Fiumarella a segnare un'ampia pianura profondamente distesa tra costa ed entroterra.

Il fronte mare si presentava molto ampio, caratterizzato da baie, piccole rientranze, isolotti e larghe zone paludose, di cui rimane il ricordo nella toponomastica moderna con i termini pantano e limazzo), ma è la laguna che si estende di fronte la spiaggia, determinata da profondi cordoni di sabbia paralleli alla linea di costa, a favorire un primo impianto per l'approdo e il riparo delle navi. Alle spalle una corona di monti disposti quasi a emiciclo ricoperti di manto boscoso e un entroterra con molte risorse naturali: terra collinare adatta alla coltivazione e ricca di acqua sorgiva, di materiali da costruzioni e legname dalle foreste circostanti. In questo paesaggio naturale, così delineato dalla ricerca geo-ambientale, si impianta il nuovo insediamento; la distanza dal mare non doveva essere a più di 100 metri (oggi la linea di costa è a circa 750 metri); i diversi gruppi familiari che sbarcano, tra 3000

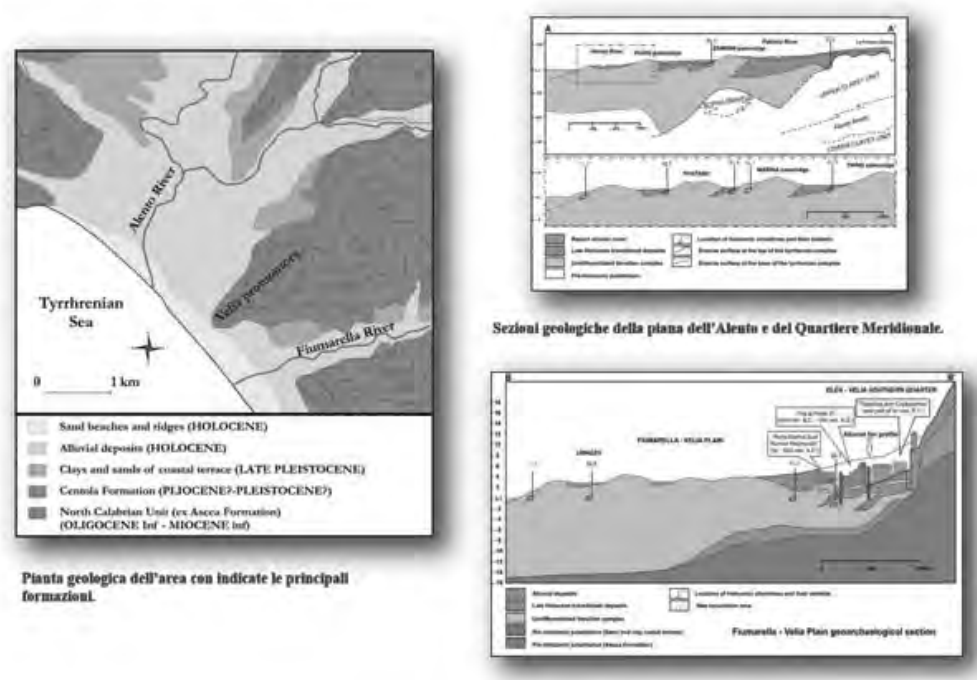


Fig. 2 – Velia: pianta geologica dell'area con indicazione delle principali formazioni e sezioni geologiche della piana dell'Alento e del Quartiere Meridionale.

e 4000 persone) organizzano l'abitato costruendo quartieri separati fra loro e dislocati in aree strategiche, collegate e unite da spazi pubblici condivisi; un modello di insediamento a nuclei sparsi che trova numerosi confronti in quasi tutte le altre città coloniali greche. Le case si dispongono sia lungo le pendici del promontorio che sulle terrazze degradanti verso il mare, adattandosi perfettamente all'ambiente naturale ed all'orografia del luogo.

In una casa tardo arcaica dei primi decenni del V sec.a.C. è stata documentata, nella sottofondazione del pavimento, la presenza di una griglia di pali di legno rinforzata con argilla e paglia essiccata, posta in orizzontale per la stessa ampiezza del piano di calpestio sovrastante, ricoperta da un livello piuttosto duro e compatto di terra pressata, argilla e ciottolame sul quale si imposta il piano di calpestio della casa per isolare la casa dall'umidità della sabbia e dalla risalita dell'acqua del mare; lo scavo in profondità ha rivelato con chiarezza che questa casa è costruita con pareti in terra cruda su zoccolatura di pietra e che questo apparato protettivo sotto pavimentale, in realtà, si impianta sui resti di una casa più antica, appartenente ancora alla prima generazione dei coloni degli ultimi decenni del VI sec.a.C., spazzata via da

una violenta mareggiata le cui tracce sono state chiaramente lette nella stratigrafia. Tutto il quartiere subisce ì i danni provocati dal concorso di due terribili cause; da un lato le forti mareggiate e il continuo riflusso marino, dall'altro il forte ruscellamento delle acque sorgive e piovane del promontorio e della conoide naturale del Frittolo, un imponente bacino idrografico che attraversa il promontorio fungendo da cerniera tra la sua punta estrema verso Est e la terrazza dell'acropoli; ben presto il quartiere viene abbandonato e gli abitanti spostano questo nucleo abitativo a una quota di livello più elevata, su una lieve terrazza prospiciente il mare; si ritornerà ad abitare sul litorale molto più tardi, nel corso del III sec. a.C., dunque quasi due secoli dopo, quando ormai la linea di costa si è significativamente allontanata e il mare non costituisce più un pericolo per l'edilizia pubblica e privata.

Nelle stratigrafie delle case ellenistiche che si vanno a sovrapporre negli spazi dapprima occupati dall'abitato tardo arcaico si registra con chiarezza questo vuoto di documentazione che copre un arco cronologico dalla metà del V secolo fino alla metà circa del III secolo a.C.

Questa realtà materiale, documentata dallo scavo archeologico, si inserisce in un quadro più ampio che vede, tra V e IV sec. a.C. in quasi tutto il bacino del Mediterraneo, profonde crisi ambientali e una successione di eventi climatici che trasformano profondamente il paesaggio ed i territori. A Elea questi fenomeni hanno portato a un consistente accumulo di sabbie marine grossolane, tempestiti, e significativi depositi di sedimenti alluvionali determinati dalla situazione complessiva idrogeologica che caratterizza tutta la fascia litorale tirrenica: la linea di costa si allontana e il piano di campagna si innalza all'incirca tra 3 m e 4 m. La lenta progradazione della linea di costa determina anche la scomparsa delle lagune e l'insabbiamento del porto posto a Sud del promontorio; le stratigrafie veline conservano le tracce degli imponenti accumuli di sabbia e fango che obliterano e distruggono le case, i piani di calpestio, le vie e tutto il tessuto urbano della città tardo arcaica. Ma i danni maggiori alla città provengono dalla profonda incisione naturale del Frittolo nella quale scorre una delle sorgenti, quella forse più ricca e ancora oggi attiva, nella quale si è voluto riconoscere la fonte *Yele*. Questo imponente canalone naturale, che raccoglie sia le acque di deflusso provenienti dai versanti del promontorio che quelle della sorgente, si estende per una lunghezza di circa 400 m e presenta un dislivello, tagliato da tre successivi e rapidi terrazzamenti, di circa 100 m. Un altro bacino idrografico altrettanto imponente e significativo è stato di recente identificato proprio alla punta estrema, verso Est del promontorio lì dove il circuito murario si innesta nel possente fortilizio di Castelluccio e dove scorre un'altra ricca sorgente. Questa ricchezza di acque ha concorso non poco allo sviluppo della città ma, allo stesso tempo, ha anche richiesto radicali interventi di controllo e di regolamentazione delle acque sia sorgive che meteoriche per evitare i danni provocati dal forte ruscellamento, costringendo gli architetti antichi a sviluppare una innovativa tecnica di raccolta e sfruttamento

di questa immensa ricchezza che viene controllata e sfruttata così da fornire l'intera città di numerosi punti di approvvigionamento (Greco, 2012). Per cogliere appieno gli sforzi ingegneristici di contrasto alle distruzioni del Frittolo è interessante vedere come i costruttori abbiano messo in sicurezza tutto il vallone, dove viene programmata una della più complesse e ardite realizzazioni urbane di pubblica utilità riscontrabili in una città greca, in età ellenistica con interventi finalizzati al controllo dei versanti scoscesi e alla regimentazione dell'acqua, utili anche alla monumentalità scenografica di quest'area strategica per immagine e funzionalità.. È una vera e propria pianificazione urbanistica: le tre terrazze che degradano verso il mare, tagliando il dislivello della conoide, vengono consolidate lungo i versanti e diventano la sede di altrettanti edifici monumentali secondo un modello architettonico già ben codificato nel mondo ellenistico, dalla Sicilia all'Asia Minore. Sull'ampio terrazzo posto alla quota più elevata, a ridosso dello sbocco della sorgente, è realizzato un edificio termale che sfrutta l'acqua sorgiva incanalata in un grande canale costruito in pietra che corre lungo tutto il suo lato N/O. Questo imponente canale attraversa tutta la terrazza e con diverse pendenze raggiunge la terrazza mediana e quella inferiore; corre sia sopra terra, coperto da pietre disposte a doppio spiovente, sia sottotraccia; con i suoi pozzetti di decantazione, vaschette di raccolta e fontane rappresenta un'opera di alta ingegneria idraulica e distribuisce acqua pubblica in città, giungendo fino alle case del quartiere meridionale (Greco, 2014). La terrazza mediana è perimetrata e ben consolidata sui tre versanti con muri in ottima opera quadrata, in blocchi di arenaria; la terrazza inferiore anch'essa perimetrata e consolidata su tre lati con possenti muri in arenaria, accoglie un edificio a corte porticata, molto probabilmente parte di un più articolato ginnasio. Dunque, un progetto urbanistico di alta tecnologia sia idraulica che ingegneristica, in Figura 3, che ottiene il risultato di contenere, controllare e frenare le continue alluvioni e i ruscellamenti che avevano portato alla distruzione dei quartieri abitativi e all'abbandono dell'area della città prospiciente la linea di costa; l'area sarà di nuovo abitata e troverà un vivace sviluppo urbanistico e monumentale in età ellenistica e fino alla tarda romanità.

Tra il IV ed il V secolo d.C. tutta la fascia costiera tirrenica è di nuovo interessata da una profonda crisi ambientale; un periodo, particolarmente piovoso, è segnalato in numerose regioni del Mediterraneo e determina profonde modificazioni ambientali e territoriali. Nelle stratigrafie veline si registrano perfettamente questi fenomeni naturali devastanti che in circa 150-200 anni portano ad un ulteriore innalzamento del piano di campagna di oltre 4÷6 metri e a un corrispondente allontanamento della linea di costa, in Figura 4. È grosso modo in questa fase che i canali di drenaggio e le opere di contenimento messe in atto nei secoli precedenti cominciano a perdere la loro funzione; quando questo raffinato sistema di canalizzazioni e distribuzione perde lentamente la sua funzionalità e i porti sono ormai del tutto insabbiati, è la palude a prendere di nuovo il sopravvento nel territorio, a coprire monumenti e case,

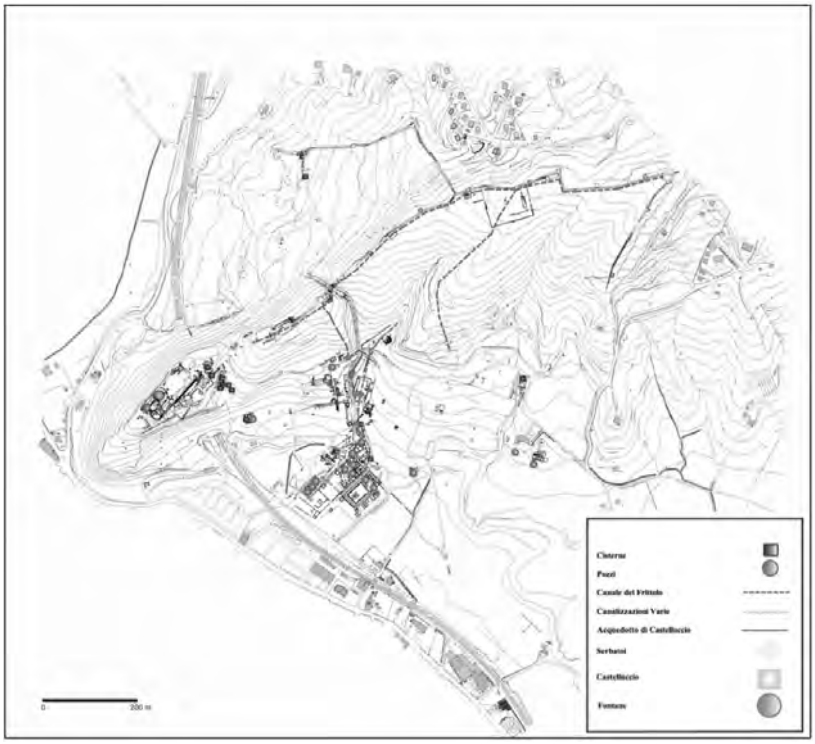


Fig. 3 – Velia: distribuzione dei sistemi idraulici.

Fig. 4 – Velia: ipotesi ricostruttiva della linea di costa 1995-1999.

a rendere malsano l'ambiente; la vita della comunità, sempre più ridotta, si restringe sul promontorio e tutta la fascia costiera viene abbandonata e diventa di nuovo dominio di paludi e acquitrini.

Camminare e costruire in ambienti paludosi:Paestum

Poseidonia è città fondata dai Greci di Sibari nei decenni iniziali del VI sec. a.C. su una piattaforma rocciosa di travertino, al centro di una vasta pianura lambita ai lati da due fiumi, il Sele a Nord e il Capodifiume a Sud, ricco di carbonato di calcio; sono le acque del Capodifiume che, depositandosi ciclicamente, formano le incrostazioni travertinose che hanno determinato, nel lungo tempo, la decadenza della città. La fascia costiera, come ad Elea, è caratterizzata da dune sabbiose e formazioni lagunari e una piccola laguna è stata riconosciuta nei pressi di Porta Marina, in piena età classica; già nel corso del I sec. a.C. la piana è interessata ad un progressivo impaludamento. Così Strabone, geografo vissuto tra il I sec. a. C. ed i primi decenni del I sec. d.C. può dire (*Strab*.V,4,13) "*Poseidonia è resa malsana da un fiume che si getta nelle paludi nelle vicinanze*".

Violenti e continui fenomeni di impaludamento portano al degrado e all'abbandono dell'area fino al forzato trasferimento degli abitanti di Paestum sulle colline, alla metà circa del VI sec. d.C.; paludi e acquitrini invadono completamente l'antica città e le immagini che i primi viaggiatori settecenteschi tracciano delle rovine e dei templi sono accompagnate dal disegno delle acque nelle quali si specchiano i templi o di paludi e stagni dove pascolano indisturbate mandrie di bufale. (AA.VV., 1992)

Un santuario dedicato alla dea Hera viene fondato, già al momento dell'arrivo dei primi coloni da Sibari, vicino al luogo dello sbarco, alla foce del Sele, fiume navigabile e al centro di una vasta pianura alluvionale nota in letteratura come "depressione del Sele", a Nord di Poseidonia. L'area è paludosa per la presenza del fiume che, alla foce, si presenta con innumerevoli diramazioni che costituiscono un fattore determinante nella configurazione naturale del sito, divenendo elemento di difficoltà per la fruizione da parte dell'uomo e costituendo allo stesso tempo la sacralità del luogo; tutta l'area, proprio per la presenza di dune e lagune costiere è idonea all'approdo e al riparo delle navi. È una situazione geomorfologica del tutto simile a quella di Elea, alla foce dell'Alento; la presenza della laguna ha favorito certamente la formazione di una baia, che i geologi hanno ricostruito in corrispondenza dell'ultima larga ansa del fiume protetta dai venti e dalle correnti dalla lieve sporgenza della collina di Santa Cecilia.

La natura paludosa e la consistenza argillosa dei terreni hanno fortemente condizionato lo sfruttamento dell'area, determinando la necessità di escogitare accorgimenti tecnico-costruttivi peculiari per il controllo delle acque e dunque dell'impaludamento e per dare una maggiore solidità e consistenza a un suolo molle e fragile. Gli scavi stratigrafici hanno evidenziato chiaramente come tali problematiche siano

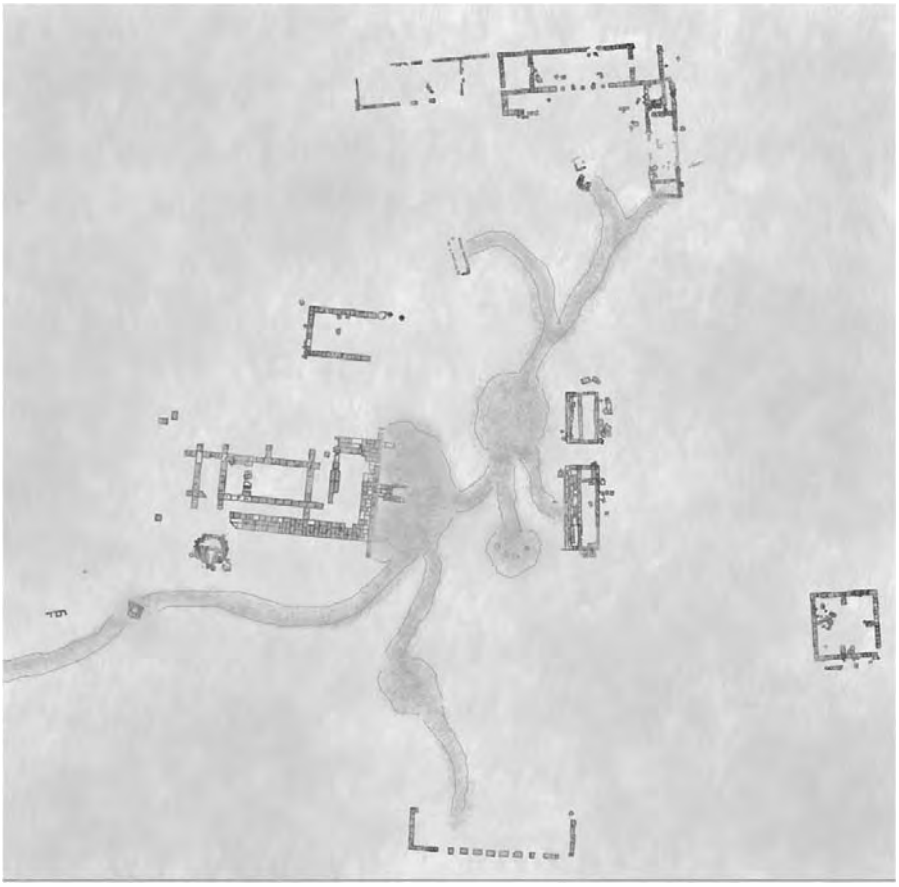


Fig. 5 – Paestum, Santuario di Hera alla foce del Sele: ipotesi ricostruttiva dei sentieri di collegamento tra i principali edifici.

una costante negli anni di vita del santuario (AA.VV., 2010). Il primo livello di una frequentazione coloniale nei decenni iniziali del VI sec. a.C. è caratterizzato, infatti, da una sottile massicciata di minuscole scaglie di pietra calcarea e piccoli nuclei di arenaria mescolati a terreno argilloso giallastro; si riconoscono sentieri irregolari in terra battuta e consolidata con pietrame, larghi tra 1 m e 2,5 m, che si snodano tra i principali edifici del santuario e che portano in larghi spiazzi, in corrispondenza dei fronti degli edifici, in Figura 5. I numerosi sondaggi hanno messo in luce queste massicciate utili per rendere duro e praticabile un terreno di per sé molle e acquitrinoso, definiti 'piani induriti', che costituiscono una soluzione tecnica al problema dell'impaludamento, una sorta di *bonifica ambientale* che interessa tutta l'area occupata dagli edifici del santuario.

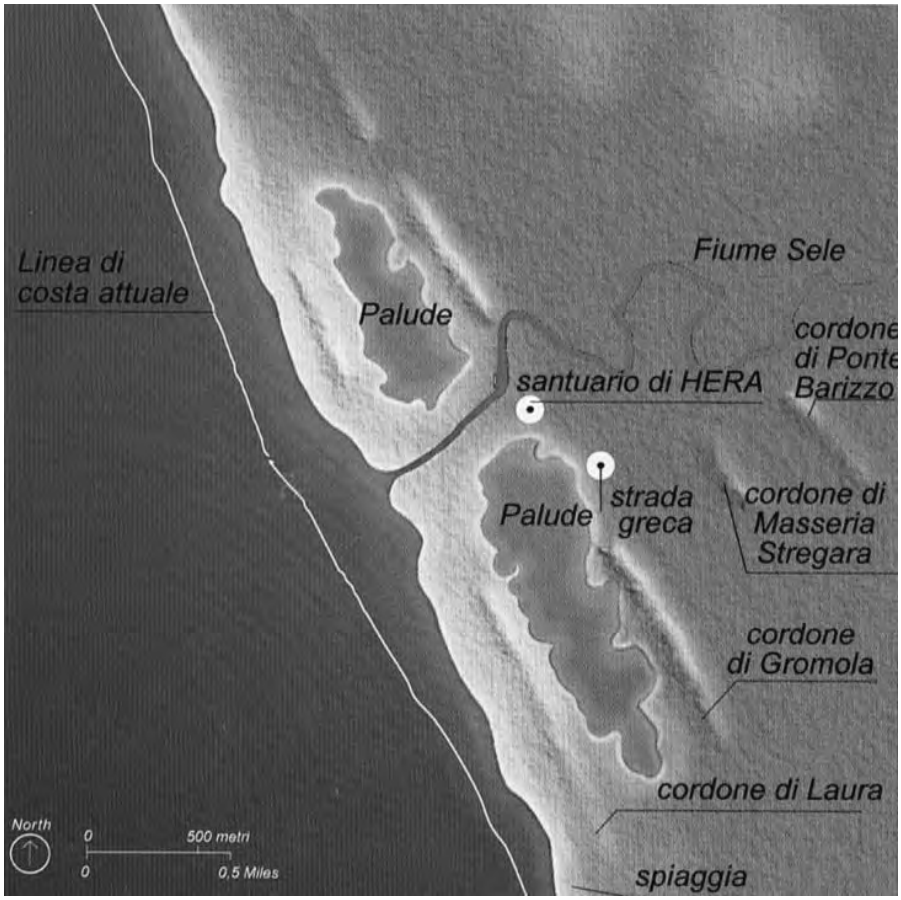


Fig. 6 – Paestum, Foce del Sele: ricostruzione dell'ambiente naturale 2500 anni fa.

La distanza del santuario dalla foce è oggi di 1500 m per quei fenomeni di bradisismo che, nella piana pestana, hanno portato all'avanzamento della linea di costa; oggi il santuario dista dal mare circa 3 km mentre in antico la distanza era di gran lunga inferiore, come mostrato in Figura 6. Le caratteristiche dell'area, sostanzialmente depressa con lievi livelli altimetrici differenziati, determinano ancora oggi, problemi di fruibilità causati dalle continue esondazioni del fiume: molto spesso, quando si innalza il livello dell'acqua o si susseguono forti precipitazioni atmosferiche, le fondazioni degli edifici del santuario rimangono coperte dall'acqua del fiume che lascia, sempre, un sottile strato di mota.

Altrettanto complesse risultano le problematiche legate all'arte del costruire. Le soluzioni tecniche adottate nella costruzione del grande Tempio alla Dea sono ben

riconoscibili tanto nei cavi quanto nei diversi livelli delle fondazioni; accorgimenti tecnici sono stati sperimentati e messi in atto per sostenere l'elevato e la sua ricca decorazione e il luogo scelto per la costruzione si presenta ad una leggerissima quota di livello emergente sulla bassa e depressa piana alluvionale. Un primo progetto disegna sul terreno un imponente edificio: vengono operati profondi tagli per alloggiare fondazioni piuttosto larghe e molto profonde, da 1,20 m a 1,80 m di profondità e queste trincee vengono riempite da uno spesso livello di sabbia riportata, molto fine, giallastra, perfettamente pulita; il terreno ha conservato il disegno di un rettangolo allungato di 34,50 m · 17,50 m, corrispondente a un *hekatompedon*, cento piedi ionici; all'interno di questo perimetro sono stati individuati cavi di fondazione più stretti e meno profondi, sempre riempiti solo di sabbia fine, di 22 m · 8 m, che, con ogni probabilità, alloggiavano i muri di una cella. Queste trincee, per quanto profonde, sono state riempite solo di sabbia che, nella natura paludosa del terreno, si sono rivelate non in grado di sostenere una struttura monumentale in pietra; questo primo progetto viene quindi abbandonato ma le trincee non vengono obliterate. Un secondo progetto disegna sul terreno un altro edificio rettangolare e prevede accuratissime e profonde fondazioni tagliate a brevissima distanza dalle prime, leggermente spostate verso sud; il terreno risulta già parzialmente asciugato grazie proprio alle trincee preesistenti. Le nuove trincee sono più larghe e più profonde, da 1,80 m a 2,50 m, rispetto alle precedenti e vengono riempite alternando accuratamente più livelli di acciottolato a livelli di sabbia o a scagliette di arenaria e calcare fortemente pressate; negli angoli della *peristasis*, sono impiantati muretti di rafforzamento per rinforzare i punti di contatto con le trincee del primo progetto riempite di sabbia; i piani di calpestio, nel corso dei lavori e dell'innalzamento delle fondazioni sono realizzati con successive e sottili massicciate di pietrame alternate a livelli di terreno mescolato a sabbia fortemente compattato, i *piani induriti*. I muri di fondazione della cella e della *peristasis* sono inoltre legati da possenti briglie di contenimento e tutto l'insieme è rinforzato da contrafforti angolari in pietra tagliata e squadrata, come mostrato in Figura 7. È su questa imponente opera di bonifica e consolidamento del terreno che si innalza il Tempio alla Dea, nei decenni finali del VI sec. a.C., secondo la pianta in Figura 8 (AA.VV., 2010).

L'opera di consolidamento e prosciugamento del terreno si registra costantemente in tutte le fasi di vita del santuario: la costruzione di nuovi edifici prevede sempre un'operazione preliminare di bonifica, così come ben evidenziato nei saggi stratigrafici all'edificio quadrato dove una grande fossa quadrangolare, dalla forma "*approssimativamente conica*" terminante a imbuto è stata scavata prima dell'impianto delle trincee di fondazione e poi riempita di terreno frammisto a materiale votivo proveniente dalle periodiche pulizie che si operavano negli edifici sacri per bonificare e prosciugare il terreno e per svolgere la funzione di drenaggio e consolidamento dell'area e consentire quindi ai costruttori di operare in un contesto asciutto

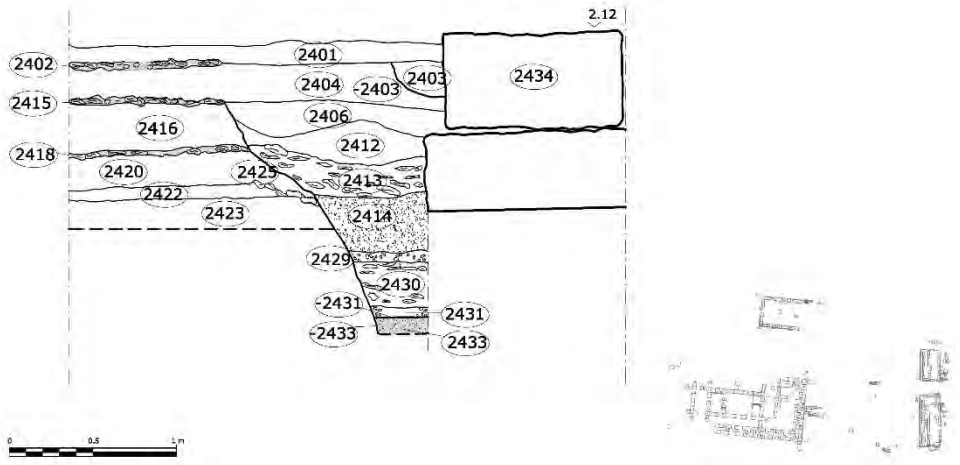


Fig. 7 – Paestum, Santuario di Hera alla foce del Sele: saggio 2400, trincea delle fondazioni del tempio.

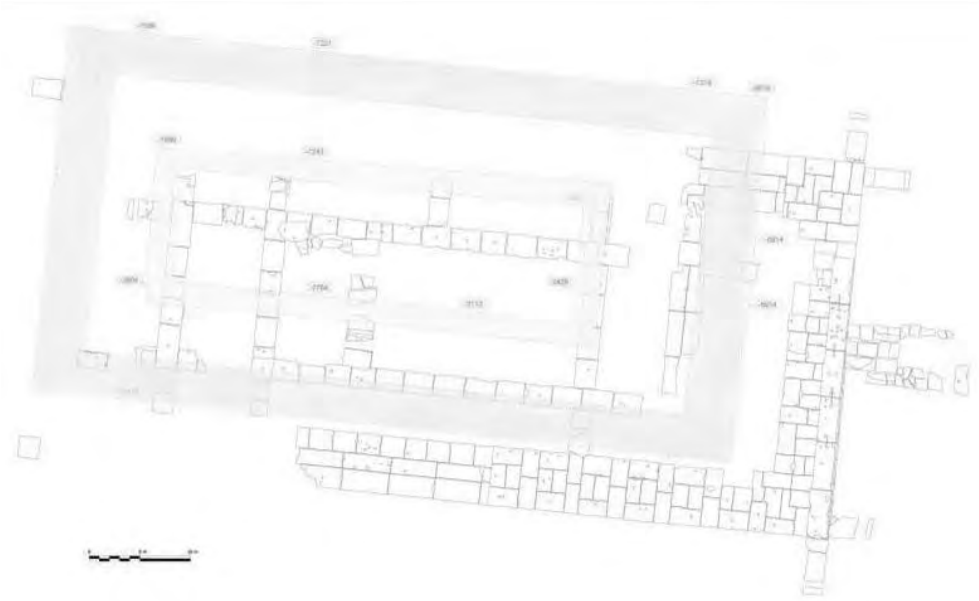


Fig. 8 – Paestum, Santuario di Hera alla foce del Sele: trincee di fondazione del primo progetto di tempio e del tempio maggiore.

Fig. 9 – Paestum, Santuario di Hera alla foce del Sele: ricostruzione del recinto sacro.

e solido (Greco, 2012). La stessa soluzione di bonifica per colmata viene adottata nel settore nordorientale del santuario dove, al di sotto delle fondazioni degli edifici di accoglienza costruiti nel corso del IV sec. a. C., riutilizzando molto materiale lapideo proveniente da edifici andati in disuso, sono stati intercettati livelli di sabbia mista a pietrame e lembi di *piani induriti* che coprono e sigillano un esteso livello di scarico di materiali arcaici, da metope scolpite e frammenti di membrature architettoniche ad oggetti votivi, compattati nel terreno al di sotto delle fondazioni; tutti accorgimenti tecnici che hanno la funzione di solidificare un terreno paludoso e consentire ai costruttori di lavorare in un cantiere asciutto (Greco e Ferrara, 2016).

Ancora all'indomani dell'arrivo dei Romani, nei primi decenni del III sec. a.C., sono necessari identici accorgimenti tecnici per la fruizione del santuario e quando si decide di innalzare un piccolo recinto sacro a nord del tempio, in Figura 9, si rende necessaria una opera di bonifica molto radicale e incisiva. Un profondo canale, funzionale al prosciugamento dell'area viene tagliato nel terreno prima della costruzione del sacello votivo, con pendenza verso S-E, dove maggiore è la depressione dell'area. In un saggio stratigrafico realizzato per controllare la stabilità di questa fondazione, è stato individuato un canale che descrive una curva intorno all'estremità est del muro sud del recinto; scavato al di sotto del piano di posa del primo filare della fondazione, favorisce il drenaggio dell'acqua durante la costruzione rendendo il terreno asciutto così da consentire l'impianto della struttura. La presenza di materiali riferibili alla prima metà del III sec. a.C. ha permesso di collocare questo picco-

lo recinto sacro, scoperto e tutto realizzato con materiale di reimpiego, al momento dell'impianto della colonia latina di Paestum (AA.VV., 2010).

Il rinvenimento nel settore orientale dell'area sacra di canali di drenaggio con le stesse caratteristiche tecniche e alla stessa quota, consente di ipotizzare un vero e proprio percorso del deflusso dell'acqua verso S-E, verso la depressione fluviale, sempre per rendere asciutta l'area consentendone la fruibilità. Quando i canali, le fosse di drenaggio e gli accorgimenti messi in campo per mantenere asciutta l'area sacra non saranno più funzionanti, anche quest'area sacra, così famosa e importante nei secoli precedenti, verrà ricoperta dalla mota del fiume; il lento degrado del santuario e il suo definitivo abbandono avviene, grosso modo, in contemporanea con l'impaludamento in città, tra V e VI sec. d.C. (Greco e Ferrara, 2016).

Bibliografia

AA.VV. 1992. *Poseidonia-Paestum*. Atti del XXVII Convegno di studi sulla Magna Grecia: Taranto-Paestum, 9-15 ottobre 1987. Taranto: ISAMG.

AA.VV. 2010. *Il santuario di Hera alla foce del Sele. Indagini e studi (1987-2006)*. Atti e Memorie della Società Magna Grecia (a cura di J. de La Genière e G. Greco), Serie IV. Roma: Giorgio Bretschneider Editore.

Cordano F. 1992. *La geografia degli antichi*. Roma-Bari: Laterza Editori.

Greco G. 2012. Il santuario di Hera alla foce del Sele. In: *Poseidonia-Paestum, Culti greci in Occidente* (a cura di Greco G., Biraschi A.M., Talercio M.), vol. III. 171-236. Taranto: ISAMG.

Greco G. 2014. La cultura del bagno e le tecniche di riscaldamento tra mondo greco e mondo romano. Atti del V Convegno di Storia dell'Ingegneria - 1st International Conference (a cura di S. D'Agostino e G. Fabricatore), Napoli, 19-20 maggio, I, 211-255. Napoli: Cuzzolin.

Greco G., De Simone D. 2012. Velia: città delle acque. Atti del IV Convegno di Storia dell'Ingegneria (a cura di S. D'Agostino), Napoli, 19-21 aprile, II, 601-624. Napoli: Cuzzolin.

Greco G., Ferrara B. 2016. *Santuario di Hera alla foce del Sele. Per un aggiornamento delle ricerche*, Atti e Memorie Società Magna Grecia, serie V, I, 43-63. Pisa: Fabrizio Serra Editore.

Repici Cambiano L. 2003. Natura e comunità umane nella riflessione antica. In: Ambiente e paesaggio nella Magna Grecia. Atti del quarantaduesimo Convegno di studi sulla Magna Grecia, Taranto 5-8 ottobre 2002, 33-89. Taranto: Istituto per la storia e l'archeologia della Magna Grecia.

Giovanna Greco

Lagune e agricoltura. Vivere e coltivare in paesaggi fragili: tra Cuma e Metaponto

Abstract
This paper shows how ancient cities survive and create thriving agriculture in fragile territories. These case-studies represent the different adopted solutions in Cuma and Metaponto.

Le lagune flegree e Cuma
Le fonti antiche raccontano che i primi Greci a insediarsi sulle coste dell'Italia antica, nel corso della prima metà dell'VIII secolo a.C., siano stati gli Euboici, che fanno scalo dapprima sull'isola di Ischia, Pithecusa, strategicamente collocata lungo la rotta dei metalli e, solo in un secondo momento, organizzano la fondazione di una colonia di popolamento, Kyme, sul litorale, quasi di fronte all'isola, come mostrato in Figura 1.

Le recenti ricerche a Cuma e nel suo immediato entroterra, condotte sin dal 1994 da un'équipe di ricerca composta dall'Università di Napoli Federico II, dall'Istituto Universitario Orientale e dal Centre Jean Bérard di Napoli, hanno svelato il volto della città nella sua organizzazione urbanistica e nella estensione dell'abitato e del territorio coltivato alle sue spalle. L'attenzione rivolta alla conoscenza dell'ambiente e del paesaggio ha consentito una corretta ricostruzione dell'evoluzione geomorfologica del litorale ed è stato ben documentato come l'area dove si impianta la città antica sia stata scelta grazie a una distanza sufficiente dai fenomeni vulcanici e tettonici del Campi Flegrei e alla presenza di un promontorio roccioso tufaceo, il Monte di Cuma, quasi al centro di una vasta pianura fertile; un largo e lungo cordone dunare ha determinato la formazione di numerose lagune, tra le quali quelle di Licola, del Fusaro e del Patria, particolarmente favorevoli ad approdi e al riparo delle navi. Il litorale, caratterizzato dalla presenza di una spiaggia stretta, bassa, sabbiosa e fortemente allungata era dunque costellato da piccole lagune e formazioni acquitrinose. L'antica laguna di Licola, a nord dell'acropoli, in comunicazione con il mare attraverso un canale, offre le migliori condizioni ambientali per un riparo costiero; l'ipotesi che nella laguna di Licola vi fosse il porto della città arcaica è, oggi, suffragata da molte evidenze. Ma la piana di Licola e tutta l'area settentrionale è fortemente acquitrinosa, soggetta ad impaludamento; zone umide, paludi, acquitrini circondano

Fig. 1 – Cuma, tra il lago d'Averno e la palude di Licola.

tutta l'area sia a nord del monte di Cuma che a est con il lago d'Averno e a sud con quello del Fusaro, che gli antichi chiamavano Palude Acherusia; lavori di drenaggio e regimentazione delle acque diventano vitali per la sopravvivenza della città e per lo sfruttamento agricolo. Cuma, da sempre, fornisce grano a Roma e Livio ricorda l'invio di frumentatores romani che venivano a comprare grano a Cuma (Livio II, 34; IV 25; IV, 52). Opere di drenaggio e bonifica sono documentate dalla ricerca archeologica sin dai primi momenti dell'impianto ellenico: canali e fossi di prosciugamento dei terreni destinati all'impianto urbano sul litorale e alla coltivazione sono stati ben evidenziati; ma è con il tiranno Aristodemo, nei decenni finali del VI sec.

Fig. 2 – Cuma: collettore fognario a Sud della platea d'ingresso al Tempio cosiddetto. del Gigante.

a.C. che a Cuma si avviano delle vere e proprie opere pubbliche di grande impatto sull'ambiente e sul paesaggio naturale. Un enorme, profondo fossato, con andamento circolare, viene tagliato attorno al territorio di Cuma e sono le stesse fonti antiche a raccontarlo (Plutarco, Moralia, 262, a-b); sulla funzionalità di questo fossato ancora molto si discute, ma è indubbio che l'opera, imponente per dimensioni e complessità ingegneristica, costituisce un impianto considerevole di bonifica del territorio a nord di Cuma, la cui natura paludosa costituiva un pericolo costante alla vita della città; il carattere paludoso di questo tratto della piana cumana ritorna frequentemente nelle fonti antichi ed è Dionigi di Alicarnasso a ricordarlo (Ant. Rom.VII,4,1): "*la località dinanzi alla polis nella quale si scontrarono era uno stretto vallone circondato da monti e paludi*".

Ad Aristodemo si attribuisce anche la realizzazione di un vasto progetto di opere pubbliche con la costruzione di un grande collettore fognario che attraversa la città e passa sotto le mura di fortificazione; è del tipo a doppio canale, è coperto da imponenti blocchi squadrati disposti su due fila e poggianti su spallette laterali. Le acque della città vengono incanalate verso il fossato esterno alle mura, in Figura 2, che diventa così il terminale di un complesso sistema di regimentazione delle acque;

la sua cronologia, nei decenni finali del VI sec. a.C. ne fa uno dei più antichi sistemi idraulici e definisce bene la grandiosità dei progetti di opere pubbliche voluta dal tiranno Aristodemo per migliorare la vita della città (Greco, 2009).

Opere di controllo delle acque e di contrasto all'avanzare della palude si registrano anche nel territorio; il recupero di suolo sottratto alla laguna è testimoniato da un recente scavo in un'area a nord della città, dove è stato rinvenuto un quartiere artigianale che si impianta fuori dalla città, in un'area prima occupata dalla laguna. E ancora nel corso del I sec. a.C. viene realizzato un altro grande collettore pubblico, probabilmente collegato a quello arcaico, per lo smaltimento delle acque nella laguna; rimane in uso per breve tempo e già alla metà del I sec. d.C. risulta insabbiato e non più in funzione (Stefaniuk et al., 2002).

Tra IV e III sec. a.C. si cominciano a registrare i primi fenomeni naturali che portano alla colmata delle lagune con il relativo impaludamento; una forte erosione costiera e la progradazione della linea di costa rendono sempre meno fruibile il porto arcaico nella laguna di Licola. che lentamente si insabbia fino a perdere del tutto la sua funzione; fioriscono i porti vicini di Miseno e di Pozzuoli, le cui baie sono naturalmente meglio protette e che diventeranno i porti della flotta di Augusto e della ricca borghesia mercantile romana. Ancora una volta la natura prende il sopravvento e si innesta quel lento processo di degrado che porterà la città a perdere prestigio e ricchezza come mostrato in Figura 3.

I movimenti idrogeologici, l'abbandono del controllo dei canali e delle fogne, il lento impaludamento, costituiscono una serie di concause che portano alla destrutturazione urbana; il fenomeno lentamente determina l'abbandono e la trasformazione d'uso dell'area prospiciente la marina, fino ad allora fittamente urbanizzata, dove vengono impiantate numerose e grandi calcare per la produzione della calce, mentre nuclei di modeste sepolture a fossa vi si dispongono a macchia d'olio, ancora tra V e VI sec. d.C. (AA.VV., 2009).

Coltivare, bonificare tra lagune ed acquitrini: Metaponto

Opere di bonifica per conquistare terra alla urbanizzazione o alla coltivazione sono ben attestate in quasi tutte le città antiche costiere di Magna Grecia e Sicilia.

Un documento prezioso, conservato al Museo Archeologico Nazionale di Napoli, testimonia modalità e forme della conduzione di un fondo rustico; sono le Tavole di Eraclea, due lastre di bronzo iscritte, rinvenute nel 1732 nei pressi di Eraclea, che risalgono al IV sec. a.C. e che contengono la redazione di veri e propri contratti agrari per la conduzione di fondi rustici, con l'obbligo per l'affittuario di operare migliorie, mantenere puliti i canali, bonificare costantemente i lotti di terreno con il fine di ottenere una sempre maggiore produzione cerealicola ma, al contempo, di contrastare e frenare l'avanzare della palude. Nel documento i lotti di terreno sono minuziosamente descritti e i canali di bonifica svolgono il doppio ruolo di confine tra i poderi

Fig. 3 – Cuma: le trasformazioni della linea di costa nel corso dei secoli.

e di regimentazione delle acque. Il riscontro archeologico di quanto raccontato nel documento epigrafico è stato restituito a Metaponto, colonia fondata dai Greci di Sibari nei decenni finali del VII sec. a.C. su una vasta piana alluvionale compresa tra due fiumi, Bradano e Basento, dal regime fortemente torrentizio. In Figura 4 è riportata la planimetria della città.

La ricerca geomorfologica ha ricostruito il paesaggio antico e ha rilevato le tante azioni dell'uomo per adattare e modificare lagune e pantani rendendoli campi fertili e produttivi. Lo scavo archeologico, strategicamente impostato sulla base di quanto si poteva rilevare dalla foto aerea e da uno stringato survey di superficie, ha documentato con molta chiarezza le imponenti opere di canalizzazione che segnano sia l'impianto della città che la divisione di terre da destinare a coltura, nel territorio alle spalle.

In città, sin dalle prime fasi di vita, si costruiscono imponenti canali in muratura, funzionali a evitare l'impaludamento; lungo gli assi viari che suddividono i lotti urbani corrono i collettori di acque che si riversano nel grande fossato esterno alle mura, così come avviene a Cuma. Canali e drenaggi preventivi, impiantati prima di costruire un qualunque edificio, sono testimoniati nell'area dell'abitato ma è nello scavo della cinta di fortificazione che è stato individuato un largo e profondo canale,

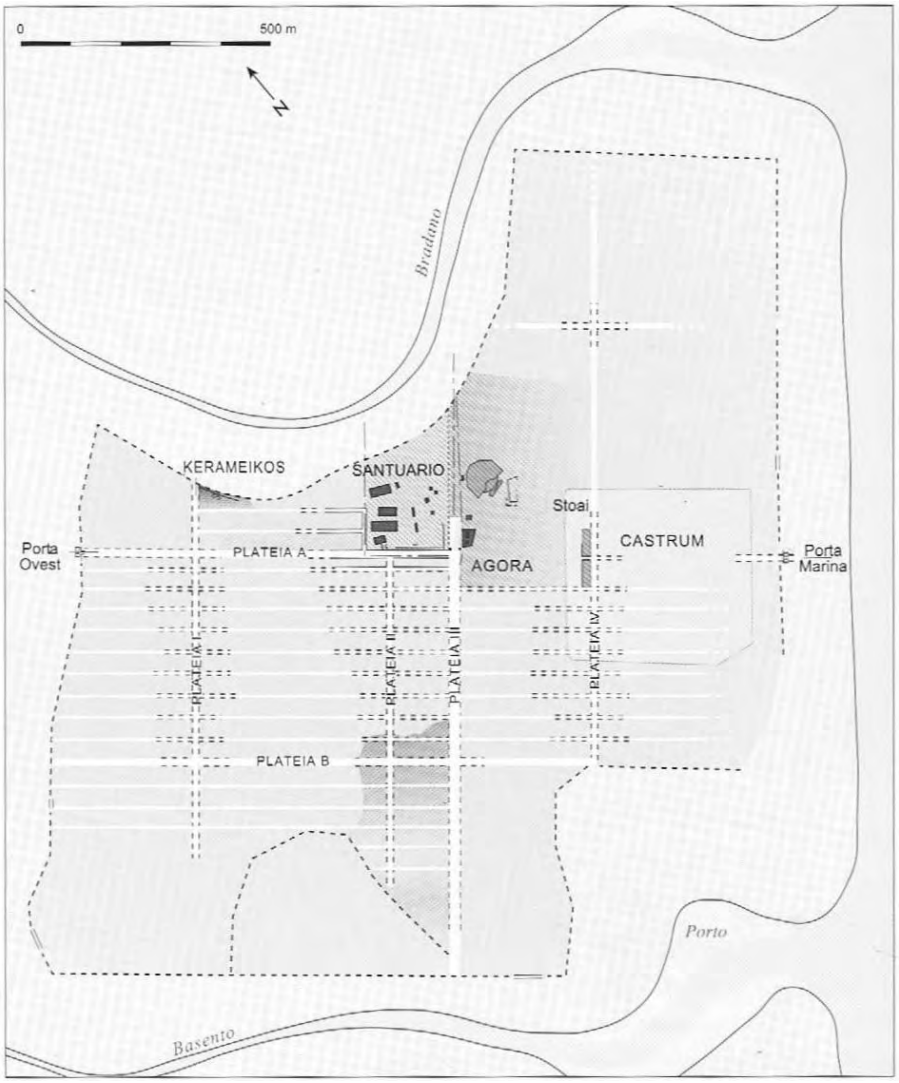


Fig. 4 – Metaponto: planimetria della città.

il fossatum, il cui andamento segue la cinta muraria al suo esterno, a cerchio, funzionale da un lato alla bonifica del terreno prima dell'impianto delle mura, dall'altro allo smaltimento delle acque dall'abitato; un altro grande canale fungeva da collegamento tra il porto e la città. Il modello di impianto idraulico riflette quanto è stato riscontrato a Cuma e suggerisce una coerente modalità di interventi, a fronte di terreni difficili dove la palude diventa l'elemento naturale da contrastare.

Nelle fondazioni degli edifici sacri monumentali si riscontrano accorgimenti tecnici funzionali a solidificare il terreno e anche a Metaponto, come nel santuario di Hera alla foce del Sele (Greco, 2020), il grande tempio dedicato ad Apollo ha avuto almeno due diversi progetti di realizzazione; il primo viene abbandonato senza essere completato e ne rimane la documentazione nel terreno, con grandi e profonde trincee scavate nell'argilla alluvionale fino ad arrivare alla sabbia marina, che hanno reso il terreno più asciutto e dunque più solido, così da consentire una situazione stabile al nuovo progetto di Tempio; le fondazioni, scavate anch'esse nell'argilla, presentano successivi strati di riempimento realizzati con sabbia riportata, i letti di sabbia, la cui altezza varia da 30 cm a 40 cm; su questi letti di sabbia poggiano altri livelli di riempimento, caratterizzati sempre da sabbia ma mescolata a terra e brecciame, che reggono il primo filare della fondazione costituita da numerosi filari di blocchi tagliati e squadrati, messi in opera con terra e argilla pressata a formare una profonda e solida fondazione per il Tempio di Apollo (Adamesteanu et al., 1980).

Nel territorio un fitto sistema di canalizzazione consente una buona produzione agraria e allo stesso tempo segna i confini dei poderi; lunghi e approfonditi percorsi vicinali ai campi fungono da vere e proprie condotte d'acqua così da lasciare asciutti i terreni (De Siena, 2002; Carter, 2002). La ricerca archeologica ha documentato una imponente opera di bonifica del territorio alle spalle della città, che sottrae terra alla palude e avvia specifiche forme di utilizzazione e sfruttamento della terra già nei decenni inziali del V sec. a.C.; il valore dell'impatto che una tale opera pubblica ha nella società metapontina trova un riscontro emblematico nella coniazione di una serie monetale con la testa di Acheloo, divinità fluviale, figlio di Oceano e Teti e padre di tutti i fiumi, espressione parlante della centralità che i fiumi dovevano svolgere per la vita della città.

Una situazione analoga si riscontra in numerose città dell'Italia meridionale e un esempio recente è stato riscontrato a Locri; imponenti opere di bonifiche sono state individuate lungo tutto il vallone Milligri, dove un passaggio rovinoso di acque torrentizie da monte portava con sé distruzioni e alluvioni; nel corso del VI sec. a.C. si avviano le prime opere idrauliche, in città, con la realizzazione di un profondo canale costruito in blocchi di calcarenite locale, la cui larghezza corrisponde esattamente allo spazio di una *plateia* e dell'isolato contiguo; dunque un'opera di bonifica perfettamente integrata all'impianto urbanistico e preventivo a esso, in Figura 5 (Elia, 2016). Nel territorio la bonifica e il controllo delle acque naturali del vallone Milligri, restituisce allo sfruttamento agricolo un territorio vasto ben presto costellato di campi suddivisi e sistematizzati con canalizzazioni di confine, secondo un modello già realizzato nel metapontino.

Il rapporto uomo-ambiente muta costantemente e non sempre le cause sono determinate da cataclismi o cambiamenti climatici, terremoti o eruzioni vulcaniche; molto incide piuttosto l'elemento sociopolitico ed economico e il caso di Cuma, con

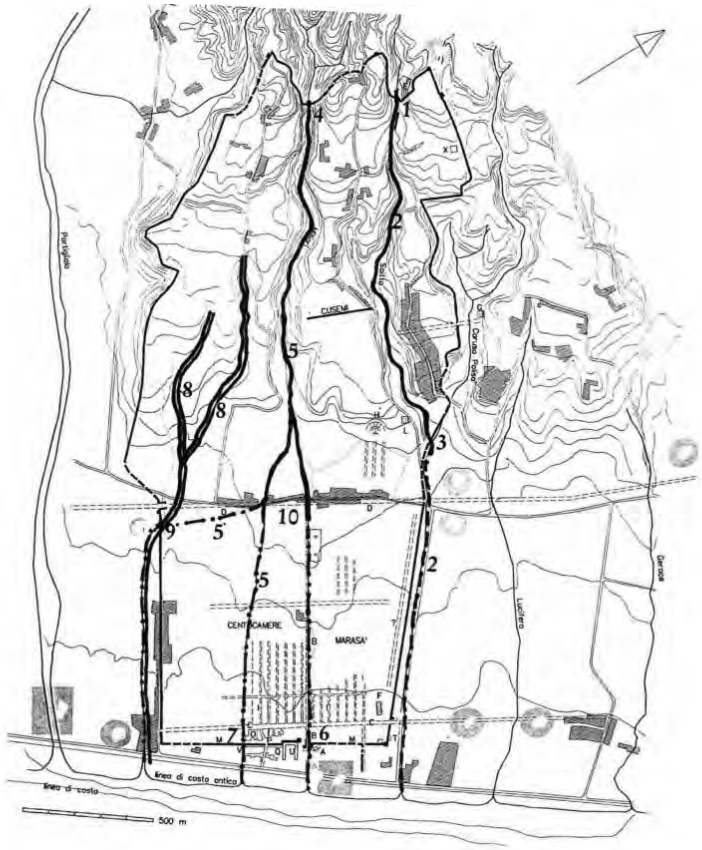


Fig. 5 – Locri sistemi idraulici (da Barra Bagnasco, 1989).

le imponenti opere pubbliche di bonifica e modifica del contesto naturale volute e realizzate dal tiranno Aristodemo ne costituisce un paradigma. Nel corso del V sec. a.C. si diffonde nel mondo antico una vera e propria cultura idraulica, intesa nella sua accezione più ampia, dove prevale il concetto della tutela *dall'acqua e dell'acqua.* Le imponenti opere idrauliche realizzate nelle città greche del V sec. a.C. sono ben raccontate dalle fonti antiche, da Plutarco a Strabone a Plinio; risalta, nei loro racconti, come il controllo del regime naturale, l'adattamento alle necessità vitali dell'uomo, la sistemazione dei terreni, siano già centrali, operativi e sperimentati nel sapere tecnico di età classica.

Nella Roma repubblicana le acque sono regolamentate da un vero e proprio regime giuridico che ben si racchiude nel principio: *flumina omnia publica sunt*, sancito nella Istituzione di Giustiniano (*Inst*. 2,1,2).

Trascurare le opere di drenaggio, lasciare libere le periodiche inondazioni dei fiumi e un prolungato ristagno delle acque con il conseguente impaludamento e la comparsa della malaria sono tutti fattori che porteranno, unitamente a una contrazione demografica, al lento spopolamento delle campagne e alla scomparsa di intere città, una volta ricche e fiorenti.

Bibliografia

Adamesteanu D., Mertens D., D'Andria F. 1980. Rapporto preliminare nel santuario urbano di Metaponto. Notizie degli scavi, XXIX, Supplemento. 313- 354. Roma: Accademia dei Lincei.

AA.VV. 2009. *Cuma*. Atti del 48° Convegno di studi sulla Magna Grecia: Taranto, 27 settembre-1 ottobre 2008. Taranto: ISAMG.

Carter J.C. 2012. Ambiente e paesaggio nel metapontino. In: *Ambiente e Paesaggio nella Magna Grecia*. Atti del XLII Convegno di studi sulla Magna Grecia: Taranto 5-8 ottobre, 491- 510. Napoli: ISAMG.

De Siena A. 2002. Ambiente e paesaggio nella Magna Grecia: Metaponto. In: *Ambiente e Paesaggio nella Magna Grecia*. Atti del XLII Convegno di studi sulla Magna Grecia: Taranto 5-8 ottobre, 510-513. Napoli ISAMG.

Elia D. 2016. Intervento a D. Mertens. In: *Poleis e politeiai nella Magna Grecia arcaica e classica.* Atti del LIII Convegno di studi sulla Magna Grecia: Taranto, 26-29 settembre 2013, Taranto, 198. Taranto: ISAMG.

Greco G. 2009. Modalità di occupazione in età arcaica nell'area del Foro di Cuma. In: *Cuma. Indagini archeologiche e nuovo scoperte* (a cura di Gasparri C. e Greco G.), Quaderni del Centro Magna Grecia. Studi cumani 2. Pozzuoli: Naus.

Greco G. 2020. Alluvioni, esondazioni, impaludamenti: costruire e coltivare in paesaggi fragili; alcuni esempi dall'antichità: Paestum e Velia. Atti dell'VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria – 4th International Conference (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 6-7 aprile. Napoli: Cuzzolin.

Stefaniuk L., Brun J.P., Munzi P. e Morhange C. 2002. L'evoluzione dell'ambiente nei campi flegrei e le sue implicazioni storiche: il caso di Cuma e le ricerche del CJB nella laguna di Licola. In: *Ambiente e paesaggio nella Magna Grecia*. Atti del XL convegno di sudi sulla Magna Grecia, Taranto 5-8 ottobre, 397-435. Napoli: ISAMG.

Umberto Di Marco, Pier Gabriele Molari

Archimede ed il sistema di caricamento della balista da un talento utilizzata nella fortezza dell'Eurialo di Siracusa

Abstract

In this contribution, starting from the research of what has been written about the weapons used in the Roman siege of Syracuse in 213 b.C., from the texts on the ballistae of Filone, Bitone, Vitruvio, and Erone, reported, translated and annotated by Mardsen (Mardsen and Beste, 1971), from the reliefs of the places where the ballistae were to stay and the space to defend, it is hypothesized which could be the loading system of the biggest of the ballistae used in the fortress of the Eurialo of Syracuse. Unlike what is shown for arrow-shooting machines, this system is only hinted at in book X of Vitruvius' De Architectura (Vitruvius-Rowland). It therefore became necessary to carry out research aimed at defining what the design bases of these machines were based on the analysis of the dimensions so carefully parametered and already known, but also trying to grasp the strength limits of the various components of the machine which the latter defined the geometry. The analysis allowed to argue the presence in the fortress of a ballista capable of throwing stone balls of a talent, about 26 kg, at a useful distance, with a maximum lift of 20 °, of about 200-250 meters, precisely for counter the enemy advance in the only passable bottleneck to access the city of Syracuse from the ground.

Introduzione

In questo contributo, partendo dalla ricerca di quanto è stato scritto sulle armi impiegate nell'assedio romano di Siracusa nel 213 a.C., dai testi sulle baliste di Filone, Bitone, Vitruvio, ed Erone, riportati, tradotti e annotati da Mardsen (Mardsen 1971), dai rilievi dei luoghi nei quali dovevano alloggiare le baliste e dello spazio da difendere, si ipotizza quale potesse essere il sistema di caricamento della più grande fra le baliste utilizzate nella fortezza dell'Eurialo di Siracusa. A tale sistema, a differenza di quanto esposto per le macchine lancia frecce, si trova solo un accenno nel libro X del De Architectura di Vitruvio (Vitruvius-Rowland). Si è resa quindi necessaria una ricerca volta a definire quali fossero le basi di progetto di queste macchine basandosi sull'analisi delle dimensioni così accuratamente parametrate e già note, ma cercando di cogliere anche i limiti di resistenza dei vari componenti della macchina che di quest'ultima definivano la geometria.

L'analisi ha permesso di argomentare la presenza nella fortezza di una balista capace di lanciare palle di pietra da un talento, circa 26 kg, a una distanza utile, con un alzo massimo di 20°, di circa 200-250 metri, proprio per contrastare l'avanzata nemica nell'unica strettoia percorribile per accedere da terra alla città di Siracusa.

La fortezza dell'Eurialo con le caratteristiche geometriche (osservazione sul campo di battaglia) del luogo che ospitava la balista in studio

Come mostrato in Figura 1, alle spalle di Siracusa, si innalza una grande balza a forma quasi di spicchio di cerchio, individuato dai punti A-B-C**,** che, disvellando una decina di metri sia dal terreno circostante che dal mare, costituiva nell'antichità una sorta di protezione naturale della città da eventuali attacchi nemici. Man mano che i due lati rettilinei della balza salgono verso l'interno, tendono a convergere mantenendo il dislivello e quindi la protezione. Arrivati nel punto più alto C (circa 150 m s.l.m.), invece di incrociarsi, il lato B-C devia bruscamente verso destra generando una specie di istmo di collegamento tra la balza e l'entroterra costituito da due zone: la prima, totalmente piana, lunga e con una larghezza massima intorno ai 50 m, in Figura 2; la seconda leggermente inclinata.

Questa particolare conformazione poteva permettere il passaggio verso l'interno della balza di eventuali nemici con grande rischio per la città. Per contrastare tale minaccia, a cavallo delle due aree, tra il 400 a.C. e il 250 a.C. e in quattro fasi successive, venne costruito il cosiddetto Castello Eurialo, schematizzato in Figura 2 e in Figura 3 come è oggi. La struttura vede la sua difesa articolata, sulla parte piana, da tre fossati (A, B e C), da un rivellino a forma di punta di freccia, R, compreso fra

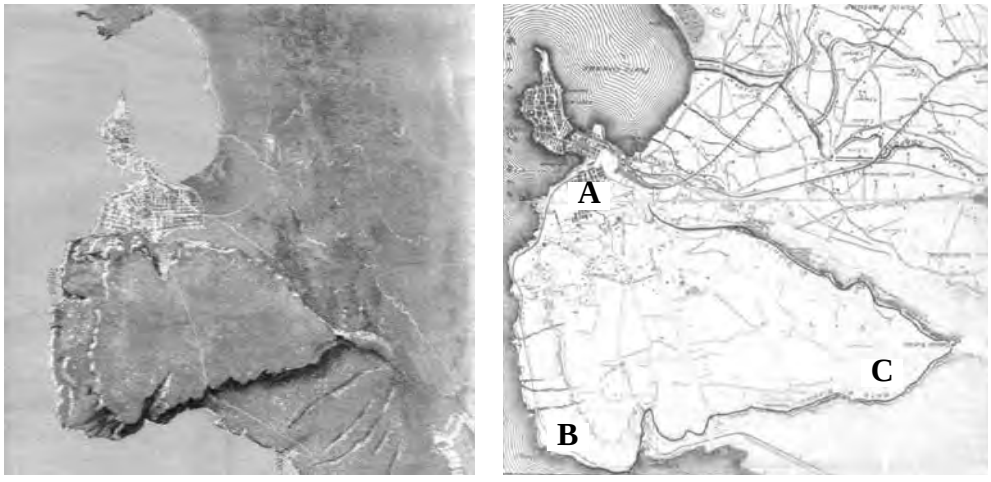


Fig. 1 – Siracusa e la balza di protezione naturale.

il secondo ed il terzo fossato, e da cinque torri collegate fra loro da mura, mentre la parte inclinata è protetta da un lungo muro delimitato alle estremità rispettivamente da una torre rettangolare X con un vano utile di (5,30 m · 10 m), da una torre quadrata Y e da una grande porta a tenaglia in posizione centrale Z.

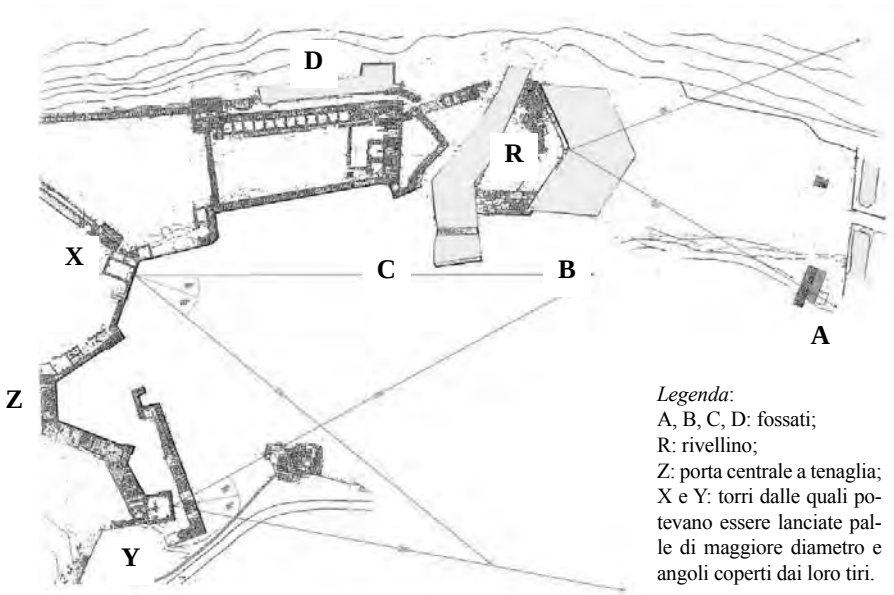


Fig. 2 – Il rilievo archeologico del castello (da Mertens e Beste, 2018).

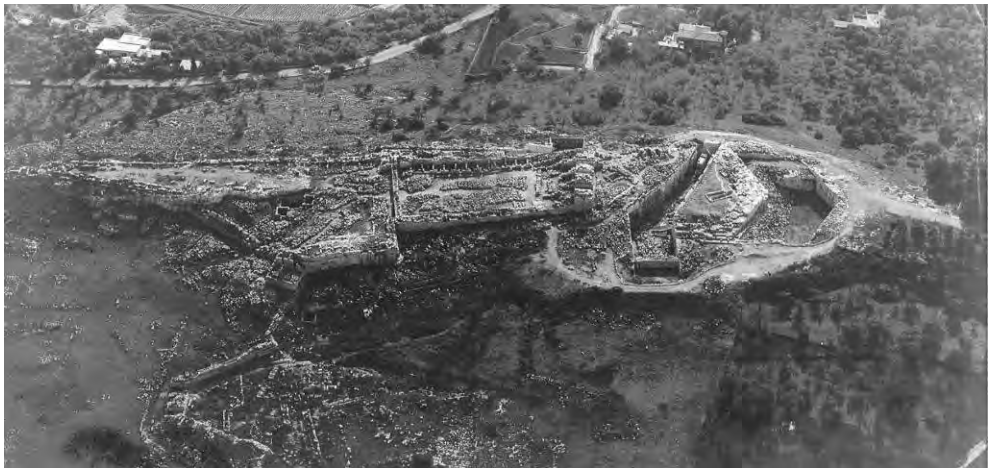


Fig. 3 – L'Eurialo come è oggi.

Tab. 1 – Dimensioni di ingombro della balista in funzione della massa del proietto: A = proietto (in talenti); B = massa proietto (in kg); D = modulo in mm; E = larghezza (13 Moduli); F = lunghezza (19 Moduli)

A [talenti]	*B* [kg]	*D* [mm]	*E* [m]	*F* [m]
0,5	13	294	3,82	5,59
1	26	370	4,81	7,03
1,5	39	424	5,51	8,06
2	52	467	6,06	8,85

Considerazioni sulla formula di Filone per la costruzione della balista e le differenze con i dati di Vitruvio

Partendo dalla massa del proietto, come consigliato da Filone, Bitone, Vitruvio ed Erone si determina il diametro D della matassa di tendini, vero motore della balista, definito come modulo e da questo si ottiene il dimensionamento di tutte le varie parti della balista, le cui dimensioni sono ricavabili dalla Tabella1, dove sono riportati i rapporti forniti sia da Filone, sia da Vitruvio, *ma con il valore del modulo secondo Filone.*

Con la formula riportata da Filone ed Erone nei loro scritti, il diametro D della matassa si calcola in funzione del peso P del proietto con la relazione

$$D = 1{,}1 \sqrt[3]{100\,P} \tag{1}$$

con D espresso in digit (1 digitus = 1,85 cm) e P in mine attiche (10 mine attiche = 4,31 kg). L'espressione grafica della (1) è riportata nella Figura 4, in cui compare anche la curva rappresentativa dei valori dati da Vitruvio. Come si può notare, la curva di Erone e Filone definisce, a parità di massa da lanciare, un diametro del fascio elastico circa il 20-30% maggiore di quello di Vitruvio (Marsden, 1971; Russo, 2011; Cascarino, 2008). Vari sono i commenti su questa differenza, che alcuni pensano dovuta ad un errore nella conversione delle unità di misura (Marsden, 1971). Osservando i valori del modulo, però, si nota che i valori relativi ai proietti da mezzo talento e da un talento, calcolati con la formula di Filone, sono esattamente gli stessi che Vitruvio assegna ad una macchina rispettivamente di un talento e due talenti. Sembra quindi lecito pensare ad un errore del copista del De Architectura e ritenere più affidabili i valori definiti dalla formula di Filone confortati anche dal fatto che non si ha notizia di una così notevole evoluzione dell'efficienza della matassa elastica, magari dovuta a una nuova tecnologia costruttiva, malgrado il grande spazio dato da Vitruvio alla messa in tiro dei singoli elementi della matassa; inoltre, Filone e Bitone, riportati poi da Erone, vissero nel periodo dell'assedio di Siracusa, che è il

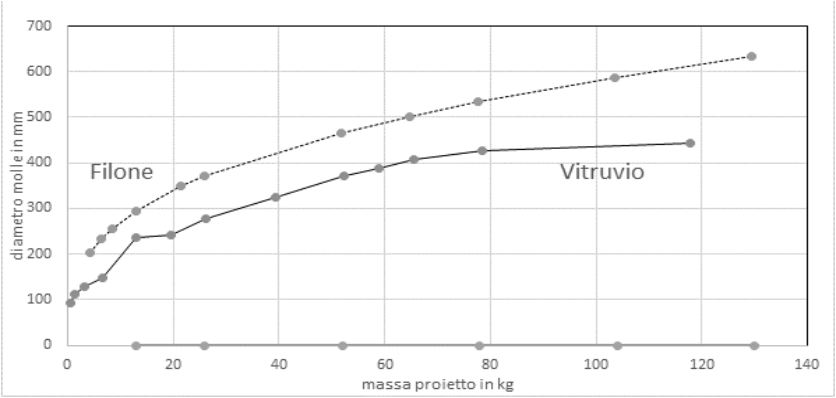


Fig. 4 – Diametro (modulo) dei fasci di torsione, in funzione della massa del proietto da lanciare.

periodo che qui interessa. Per questi motivi, nel seguito si farà riferimento ai valori ricavati con la formula di Filone.

La torre X, Figura 2, del castello di Eurialo, riportata in pianta in Figura 5, ha le dimensioni necessarie per ospitare una potente balista in grado di lanciare palle da un talento con un ingombro di 4,81 m · 7,03 m che, con tiro quasi orizzontale, angolo di lancio massimo di 20°, è capace, come si vedrà, di colpire un bersaglio quale torri mobili e armi nemiche a 200÷250 m.

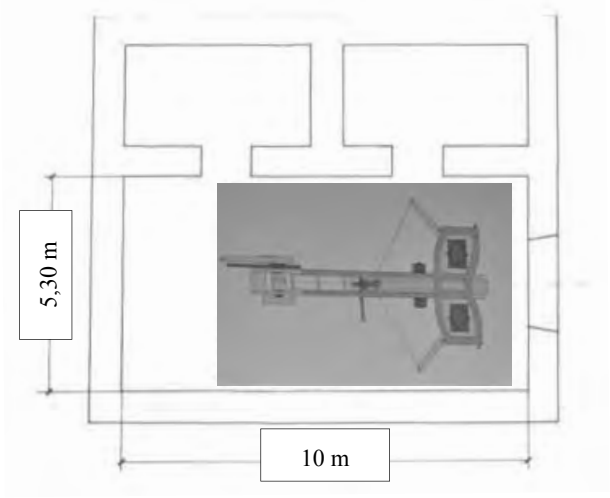


Fig. 5 – Il vano della torre X in Figura 2 adatto a ospitare la balista da un talento per un lancio di circa 200-250 m.

Le baliste ed il loro sistema di caricamento (determinazione delle forze in gioco)
Date le notevoli forze in gioco per armare queste macchine, occorre prendere in considerazione il sistema di caricamento dei fasci elastici che lavorano a torsione. Vitruvio tralascia di trattare in modo specifico questo sistema, forse per l'ampia gamma di macchine considerata, che parte da proietti da 2 fino a 360 libbre (0,65 ÷ 118 kg), scrivendo semplicemente: *Alcune* [baliste] *infatti vengono messe in tensione per mezzo di leve e argani, qualcuna mediante carrucole a più pulegge, altre con l'aiuto di cabestani, altre ancora con sistemi a tamburo.* (Vitruvio, X, 9,2). E' quindi necessario entrare nel merito delle forze in gioco e dei sistemi per ottenerle, in modo da collocare nel tempo queste macchine. Tali forze sono ovviamente legate al diametro del fascio composto con *le funi intrecciate di tendini* nel quale viene immagazzinata l'energia necessaria per il lancio, al modo con il quale il fascio viene messo in tensione, sia in fase di precarico che di caricamento, e, soprattutto, alle caratteristiche elastiche di un materiale oggi difficilmente riproducibile, tanto che in letteratura le valutazioni in merito sono alquanto disparate (Rossi, 2012; Russo, 2011). Si è pensato pertanto di cambiare l'approccio e, invece di considerare le caratteristiche elastiche della matassa motrice, si è deciso di partire da un dato ricavabile con ragionevole certezza: la resistenza al piede dei braccetti tenditori dei quali Vitruvio (Marsden, 1971) fornisce la lunghezza che dice pari a sei volte il modulo, e la sezione circolare, con diametro pari ai 5/8 del modulo, sezione che si rastrema in testa per arrivare a un diametro di 3/8.

Dal disegno in pianta della balista, in Figura 6, sembra di poter cogliere la semplicità del progetto per quanto riguarda l'angolo spazzato dal braccetto: il primo angolo di 30° definisce l'angolo di riposo, alla estremità del quale il braccetto si riscontra sui montanti per precaricare la matassa motrice. Segue un secondo angolo di 30° nel quale avviene il lancio che, al termine, sopravanza appena l'angolo nel quale il braccetto e la fune arciera sono fra loro perpendicolari, e un ultimo angolo di 30° nel quale le forze aumentano e il braccio della forza diminuisce, per terminare con il braccetto allineato con la fune stessa, posizione che sopravanza la verticale di circa 10° e nella quale, ovviamente, la forza non genera momento per cui è una posizione instabile.

Sembra lecito pensare che il terzo angolo di 30°, aumentato dei 10° finali, non venisse mai spazzato dal braccetto se non in condizioni critiche di rilassamento dei nervi attorcigliati nella matassa. Sembra altrettanto lecito pensare che, nel dimensionamento della macchina suggerito da Vitruvio, i braccetti debbano essere dimensionati a flessione proprio dove essi formano un angolo retto con la fune arciera, posizione questa che viene ritenuta coincidente con la massima escursione di lancio in condizioni "normali" cioè in condizioni nelle quali il fascio elastico non sia rilassato e che a riposo sia precaricato con la coppia di progetto (escursione di progetto).

Pensando per il materiale impiegato alla costruzione delle baliste a un tipo di legno particolarmente resistente e adatto anche a subire brusche variazioni di carico,

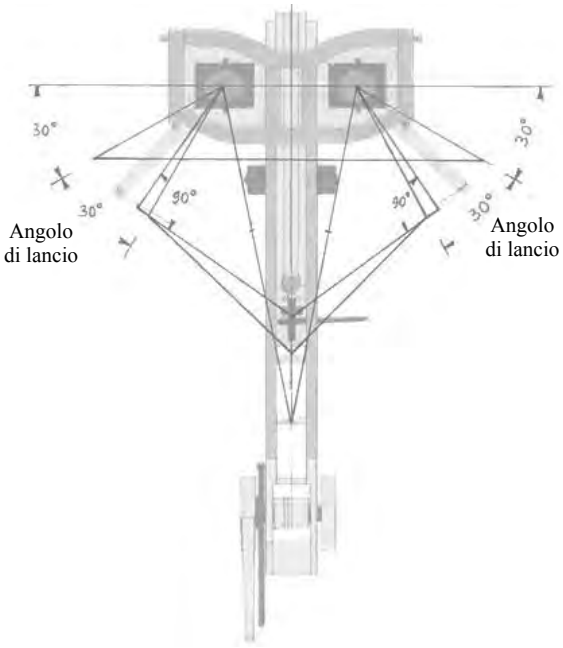


Fig. 6 – Gli angoli di riferimento sulla balista di Vitruvio sul disegno del Marsden (da Marsden, 1971).

come il legno di pero[1], avente una tensione massima di rottura a flessione di 149 N/mm^2, si può calcolare, come mostrato in Appendice, il valore massimo di questa forza e, componendo le forze che in questa posizione formano fra loro un angolo retto, si possono calcolare i valori della forza da fornire in asse alla slitta tendi-fune per il lancio. In Tabella 2 vengono riportati i valori delle forze, per 0,5, 1, 1,5 e 2 talenti, sui braccetti e le forze massime in asse.

Tab. 2 – Valori del modulo e della forza di caricamento per le macchine da mezzo a due talenti

Massa proietto [talenti]	*Massa proietto* [kg]	*Modulo* [mm]	*Forza braccetto* [kN]	*Forza assiale* [kN]
0,5	13	294	51,5	72,8
1	26	370	81,7	115,5
1,5	39	424	107,0	151,4
2	52	467	129,6	183,3

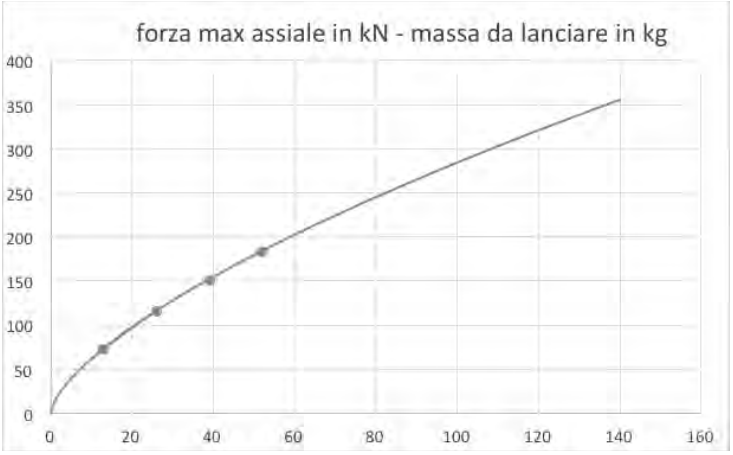


Fig. 7 – Forza assiale massima possibile per caricare la macchina in funzione della massa da lanciare. I punti evidenziati si riferiscono ai valori in talenti della tabella precedente.

In Figura 7 sono riportati i valori della forza assiale massima che può essere fornita, in funzione della massa del proietto da lanciare. In particolare, dalla Figura 7 si può notare che, per i proiettili di un talento, la forza con la quale si mette in carico la macchina non può superare 115,5 kN. Va quindi capito in che modo questa forza avrebbe potuto essere ottenuta con gli unici sistemi allora noti o con nuovi sistemi che solo la mente di Archimede avrebbe potuto pensare.

I meccanismi per tirare fortissimo con funi e non con funi

Per capire tra i meccanismi possibili per fornire le forze calcolate quale possa essere quello che veniva usato, occorre considerare che il ricaricamento della macchina doveva avvenire in tempi ragionevoli, essendo sotto attacco nemico. In questa ottica, sistemi di riduzione della forza con paranco e taglie a più pulegge seguiti da un avvolgimento della fune su di un tamburo, oppure un sistema a vite seguito da una riduzione a ingranaggi sembrano essere i più indicati. Per capirne il motivo, si tenga presente quanto Tito Livio ci tramanda (Vitali, 1954): *E l'impresa iniziata con tanto impeto* [la conquista di Siracusa da parte di Marcello (Carena, 1970)] *avrebbe avuto successo se in quel momento un uomo non si fosse trovato in Siracusa. Era Archimede, meteorologo e astronomo sommo, ma ancor più meraviglioso inventore di macchine belliche e di ordigni, per mezzo dei quali egli con lieve sforzo rendeva nullo tutto ciò che con sforzo immenso tentavano i nemici.* Senza dubbio Archimede ideò macchine che lanciavano grossi massi di pietra a una certa distanza contro i Romani e le loro navi (Frajese, 1974; Carena, 1970; Vitali, 1954; Rihll, 2007). È

forse esagerata la notizia che, con dati congegni, Archimede riuscisse addirittura a sollevare, e poi a far ricadere in mare, le navi romane che si avventuravano nello specchio d'acqua antistante alle mura di Siracusa.

Perduto il testo originale di Archimede, occorre fare riferimento ad altri Autori che lo hanno interpretato o trascritto. Recentemente (Ferriello et al., 2016) sono state confrontate varie fonti che trattano il sollevamento di corpi pesanti (*Baroulkos*) anche fonti arabe, come quella di Quastâ, che è stato dimostrano essere una traduzione di un testo greco di Erone, concludendo che una copia del libro di Archimede sulle armi era realmente a disposizione di qualche duca del 1400 e che i testi del *De re bellica* di Valturio (Delbianco, 2006) o gli *Stratagemmata* di Frontino (Frontino, 1496), [2] o i libri di Pappo tradotti da Commandino (Commandino, 1588), [1] derivassero dai testi di Archimede. Un evidente, anche se piuttosto ingenuo, impiego di un meccanismo a vite per il caricamento di una balista a torsione, in Figura 8, ci viene direttamente proposto da Valturio.

Da quanto detto, non sembra fuori luogo riferirsi anche ai rinascimentali *Trattati* di Francesco di Giorgio (Francesco di Giorgio, 1979), che divide queste macchine fra quelle che impiegano funi e quelle che trasferiscono forze *per via di metallo*[2]: *E perché molti pesi sono che per forza di canapi non si possono tirare perché non è canape che resistesse, però bisogna trovare alcuni ingegni che per vie di metallo si possino tirare.*

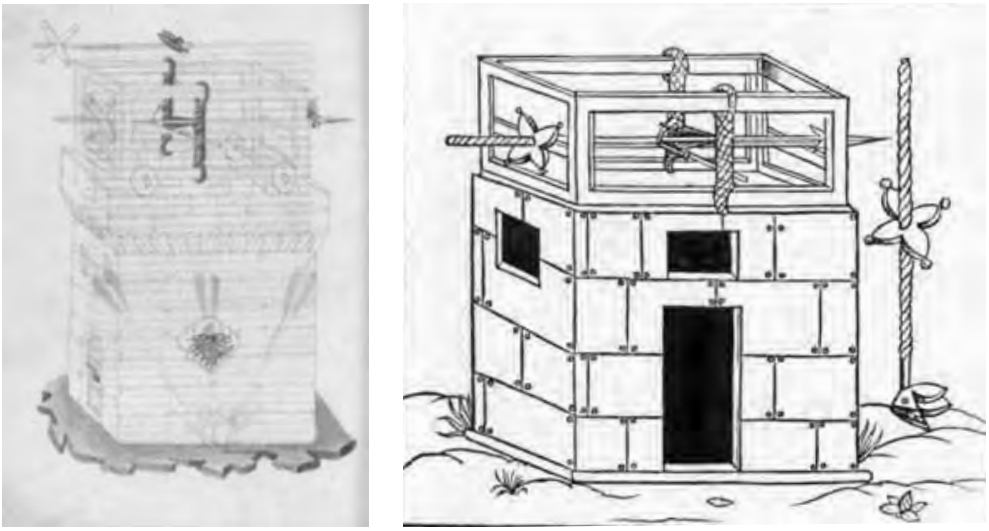


Fig. 8 – Due immagini di una balista per lanciare dardi con caricamento a vite (da Delbianco, 2006).

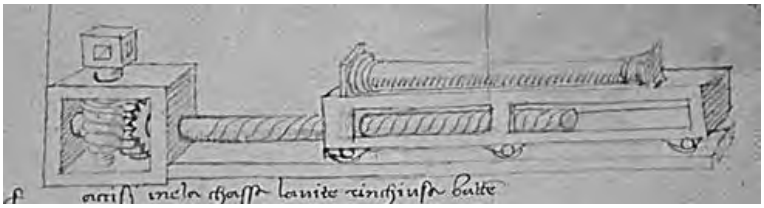


Fig. 9 – Un meccanismo a vite per tirare fortissimo e senza canapi (da Francesco di Giorgio, 1979).

In riferimento alle macchine per *tirare fortissimo*, Francesco di Giorgio disegna due meccanismi nei quali, a una prima riduzione vite-ruota elicoidale, segue una vite impegnata in una madrevite che trasla, come mostrato in Figura 9.

Ci si può riferire anche a quanto Guido Ubaldo Del Monte (Del Monte, 1581), allievo di Commandino, fa scrivere efficacemente a Filippo Pigafetta, nella introduzione al libro *Le Meccaniche:*

Si come fece Archimede, il quale, secondo Plutarco, stando in pace à petizione di Hierone Rè, compose quelle tale Machine per giuoco e ischerzo di Geometria, le quali poi sopravenendo la guerra, le seppe convertire opportunamente contra Romani. Et se egli, come testificano diversi autori, sedendo con certa machina, detta, secondo Oribasio, Trispaston, perché si maneggiava con tre corde, tirò dal mare in terra quella gran nave del Rè suo; e con la forza della mano sinistra mosse mediante l'istrumento un peso di cinque mila staia ò moggia, sì fattamente che disputando a ciascuno staio quarantacinque libre di peso, ascenderebbono alla somma di dugento venticinque mila libre [circa 716 kN]*; e presumevasi di haver potuto muovere la terra, trovando dove fermarsi con la leva, ò con quella sua machina descritta da Pappo nell'ottavo libro delle raccolte matematiche, la quale havea cinque rote co' suoi assi, e una vite perpetua co'l manico: Io mi rendo certo che ella s'ingegnerebbe di formare istrumenti per adoprare altretanto.*

Il rapporto fra 716 kN, che è la forza da ottenere, e 300 N, che è la forza che un singolo uomo può normalmente esprimere con continuità, è pari a 2386, ottenibile con una prima riduzione a vite senza fine-ruota elicoidale 1/50 seguita da 4 riduzioni 1/ 2 e da una finale 1/6, come mostrato in Figura 10. Queste macchine potrebbero essere state impiegate a Siracusa da Archimede nella balista, pur non essendo adatte a permettere un rapido ricaricamento dell'arma a causa dell'alta riduzione, il che fa pensare che sia stato impiegato un altro tipo di meccanismo adatto ad impiegare più persone, per esempio quello di un paranco con due funi traenti che si avvolgono su un tamburo mosso da più braccia. Il paranco può essere pensato doppio a più pulegge, in Figura 11, come quello descritto da Vitruvio (Vitruvius-Roland, Vitru-

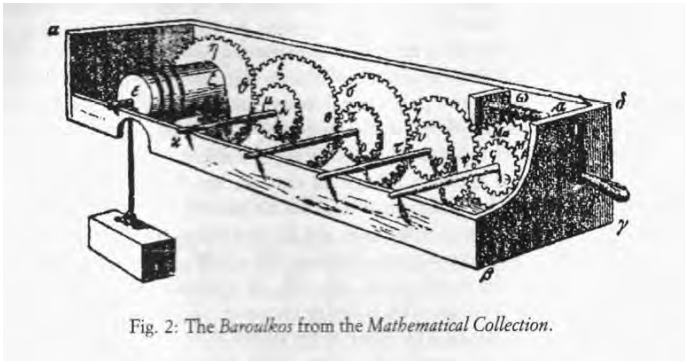


Fig. 10 – Il meccanismo attribuito ad Archimede costituito da una prima riduzione ruota vite-ruota elicoidale, da una serie di riduzioni solari (lanterna) e infine da un tamburo di avvolgimento della fune traente (da Commandino, 1588; Ferriello, 2016).

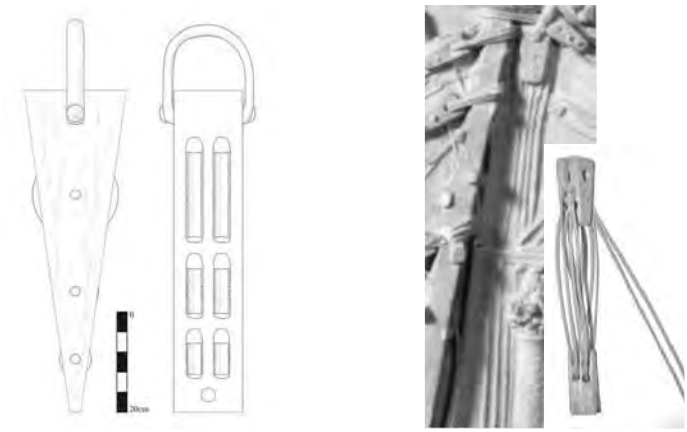


Fig. 11 – Esempi di taglie utilizzabili per la balista: da sinistra: rilievo da calco di un bozzello impiegato in una nave datata nel 42-48 recuperata Port Vendres II (da Whitewright, 2008); gru degli Haterii, risalente al I secolo e conservata nei Musei Vaticani e sua ricostruzione (da Molari, 2018).

vio-Barbaro) e ritrovato anche da archeologi su navi di quel periodo (Whitewright, 2008; Shaw, 1967), o anche come quello illustrato nella tomba degli Haterii (Molari, 2018). Questo sembra essere il meccanismo più idoneo per l'impiego nella balista da mezzo talento o da un talento per la semplicità della costruzione e della sostituzione delle parti in caso di avaria, per la compattezza e soprattutto per la relativa velocità di riarmo della macchina, in Figura 12.

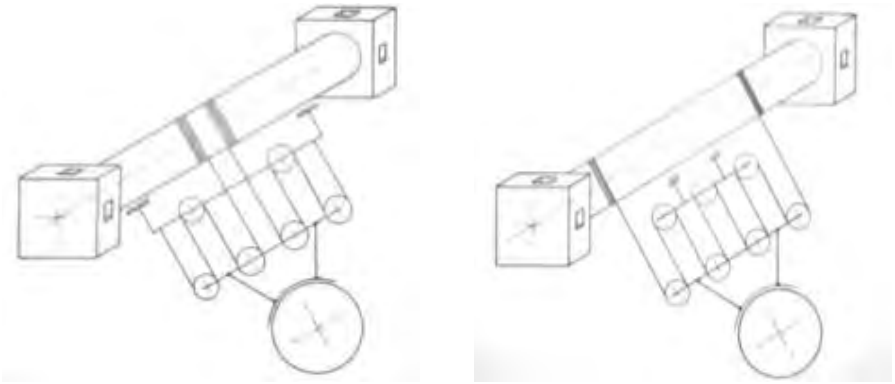


Fig. 12 – Schema dei meccanismi a doppia fune traente ipotizzati per la balista di Siracusa: a) due taglie in parallelo (da Vitruvio, 1567); b) due taglie che si auto-bilanciano.

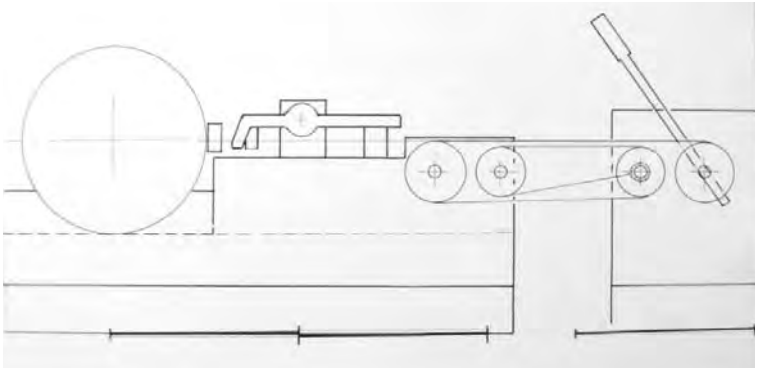


Fig. 13 – Vista laterale schematica della macchina con una delle due taglie in vista (in parallelo).

La soluzione possibile per la balista impiegata a Siracusa

Il meccanismo riportato in modo schematico nella Figura 13 sembra essere quello più adatto alle caratteristiche di questa macchina da lancio di un talento. E' composto da due paranchi che agiscono in parallelo o anche con fune continua, come nella macchina degli Haterii.

Partendo dal tiro richiesto sul portapalla di 115,5 kN, due taglie in parallelo dividono, in ciascun ramo di fune, la forza per 8. Le due funi traenti, caricate ciascuna da 14,4 kN, avvolgendosi su di un tamburo di diametro, per esempio di 100 mm, azionato mediante bracci di un metro, permettono di ottenere un ulteriore rapporto

di 1/20 della forza, arrivando così a 720 N. Con due addetti per parte, che agiscono alla estremità di un braccio di 1 m, si può considerare che la forza richiesta a ciascun addetto sia di 360 N. In sintesi, quindi, la macchina può essere caricata da quattro addetti che operano simultaneamente, esercitando ciascuno sul braccio una forza di 360 N ed è dotata di un arpionismo di arresto della rotazione per la necessaria discontinuità dell'azione di caricamento (Marsden, 1971).

Per il dimensionamento della fune si può fare utile riferimento alla tabella delle funi di canapa (Colombo, 1962), che per la forza richiesta può avere un diametro di 16 mm sulla base del quale si possono determinare i diametri delle pulegge e del tamburo sul quale la fune si avvolge, con la usuale regola di moltiplicare tale diametro almeno per sei.

Verifica della velocità di lancio e della gittata

Lungo la rampa di lancio, considerando un andamento lineare della forza che parte dal valore massimo, ossia dalla posizione nella quale la fune arciera è perpendicolare al braccetto, per arrivare a zero, quando la corda arciera è sulla perpendicolare all'asse della macchina con una corsa di circa 2,6 m, con il dimensionamento di Vitruvio e per una palla da un talento si ottiene l'energia:

$$½ F \cdot L = ½ (11.770 \cdot 9{,}81) \cdot 2{,}6 = 150 \text{ kJ}$$

Considerando una perdita per attrito e per l'inerzia dei braccetti pari al 30% e considerando un coefficiente di sicurezza pari a 1,5, uguagliando questo valore dell'energia cinetica trasferita alla palla di 26 kg, si ottiene:

$$(150.000 \cdot 0{,}7) / 1{,}5 = ½ \cdot 26 \cdot v^2$$

e quindi una velocità di lancio di 70 m/s in buon accordo con quanto ipotizzato (Rossi). In particolare, trascurando gli attriti dell'aria e con una traiettoria parabolica della palla, con un alzo di circa 12° si può ottenere una gittata di 200 metri, come mostrato in Tabella 3, che si può ottenere con una velocità iniziale della palla di 70 m/s.

Tab. 3 – La relazione gittata-alzo per una velocità iniziale di 70 m/s

Alzo [°]	*Gittata* [m]
13	170
20	321
30	432

Conclusioni

Per raggiungere l'obiettivo, i due motori torsionali devono essere in grado di immagazzinare una notevole energia che può essere fornita da un meccanismo a vite o da un paranco a più rinvii con funi che si avvolgono su un tamburo azionato da più bracci. Ciò significa che la torre, nella sua ultima e attuale dimensione geometrica, contrariamente a quanto sostenuto, non può appartenere al periodo Agotocleo (317-289 a.C.), o subito successivo (Mertens e Besta, 2018) ma al periodo Jeroniano (276-222 a.C.) e quindi Archimedeo (287-212 a.C.) altrimenti ben altri spazi sarebbero stati richiesti. Infatti, la ideazione e la costruzione di un meccanismo di carico, come quello qui necessario, presuppongono la contemporaneità di due invenzioni tra le più importanti, se non le più importanti della storia della scienza e della tecnologia, quali: la descrizione attraverso un modello matematico di un fenomeno della natura (*Phisis*) come la legge dei carichi presenti in un paranco e la tecnologia scientifica sperimentale come la relazione cubica che lega la massa del proietto al diametro del fascio elastico di tendini. Come è ben noto, queste invenzioni sono universalmente attribuite ad Archimede. Pertanto se ne può dedurre che una balista da un talento con le caratteristiche precedentemente dette e la torre ospitante non possono che essere state costruite intorno all'anno 250 a.C. e quindi ben lontano dal periodo Agatocleo, come ci viene anche indirettamente confermato da Filone (Marsden, 1969).

Ringraziamenti

Si ringrazia la redazione del Convegno per l'accurata revisione del lavoro che ha permesso di migliorarne il contenuto.

Bibliografia

Beste H.J., Mertens D. 2015. *Die Mauner von Syrakus. Das Kastell Euryalos und die Befestingung der Epipolai*. Weisbaden; Ludwig Reichert.

Carena C. (traduzione di). 1970. Plutarco: Vite parallele - Marcello. Torino: Einaudi.

Cascarino G. 2008. *L'esercito Romano, Armamento e organizzazione, vol II, da Augusto ai Severi*. Rimini: Il Cerchio.

Colombo G. 1962. Manuale dell'ingegnere. 80esima edizione. Milano: Ed. Hoepli.

Commandino F. (a cura di). 1588. *Mathematicae Collectiones*. Pesaro: Concordia.

Del Monte G.U.(traduzione Pigafetta). 1581. *Le mechaniche.* Venezia: Franceschi, Venezia. Anche in anastatica (a cura di P.G. Molari) 2013. Le Mechaniche, Bologna Forni

Debianco P. (a cura di). 2006. Robero Valturio De Re Militari: cod BAV Urb.Lat 281 del 1462; con ed.(Bibl. Verona e Rimini) 1472, trad. Ramusio 1483. Rimini: Guaraldi

Ferriello G., Gatto M., Gatto R. 2016. The baroulkos and the Mechanics of Heron. Firenze: Olschki.

Frajese A. (a cura di). 1974. *Opere di Archimede*. Torino: UTET.

Francesco di Giorgio Martini F. 1979. *Trattato di Architettura*. Ed. facsimile. Firenze: Giunti Barèra.

Frontino, 1496. Sextus Iulius Frontinus, vir consularis de re militari. Bologna: De Benedictis.
Giordano G. 1947. *Caratteristiche meccaniche del legno*. Milano: Hoepli.
Marsden E.W. 1969. *Greek and Roman Artillery Historical Development*. Oxford: Clarendon Press.
Marsden E.W. 1971. *Greek and Roman Artillery, Technical Treatises*. Oxford: Clarendon Press.
Mertens D., Beste H.J. 2018. *Siracusa - La città e le sue mura*. Siracusa: LetteraVentidue Edizioni.
Molari P.G. 2018. Elementi per ricostruire la macchina di sollevamento degli Haterii e le macchine per alberare navi. Proceedings of the 3rd International Conference of History of Engineering (S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano eds.), Naples, April 23rd-24th, II, 115-129. Napoli: Cuzzolin.
Polibio 1988, Historiae VIII 5 e seg., Milano: Mondadori.
Rihll T. 2007. *The Catapult: a History*. Yardley Penn: Westholme Publishing.
Rossi C. 2012. Ancient Throwing Machines: A method to calculate their performance. Mechanism and Machine Theory, 51, 1-13.
Russo F., Russo F. 2011. Piccola, potente e maneggevole. Archeotecnica, 311, 104-109.
Shaw J. W. 1967. A Double-sheaved pulley Block from Kenchreai. Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens vol II, 36, 389-401.
Vitali G. (a cura di). 1954. *Storia di Roma di Tito Livio*. Bologna: Zanichelli.
Vitruvio (traduzione e commenti di Barbaro) 1567. *I dieci libri dell'architettura*. Venezia: Franceschi.
Vitruvio (traduzione di Roland I. D., Noble Howe T.) 1999, repr. 2012, Vitruvius Ten Books on Architecture. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
Whitewright R. J. 2008. Maritime Technological Change in the Ancient Mediterranean. PhD Thesis, II, University of Southampton.

Webgrafia

[1] https://books.google.it/books?id=YTKUNyiY8sEC&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
[2] https://www.e-rara.ch/zut/doi/10.3931/e-rara-8761

Note

1. Caratteristiche meccaniche del legno di pero: resistenza a compressione assiale da 34,5 a 53 MPa, resistenza a flessione da 80 a 149 MPa, elevata resistenza d'urto, durezza medio-elevata (Giordano, 1947).
2. Questa particolare situazione, che si presenta in caso di elevatissime forze da trasmettere per il caricamento delle baliste, viene già accennata da Bitone che consiglia di impiegare una catena in metallo (Marsden, 1971).

Appendice

Il calcolo della forza sui braccetti
Dalla nota relazione fra la tensione all'incastro per una trave a sbalzo avente sezione circolare e caricata all'estremità

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F\,L}{\pi\, d_{br}{}^3 / 32}$$

da cui si ottiene:

$$F_{max} = \frac{\pi\, d_{br}{}^3 / 32}{L}\,\sigma_{max}$$

con

$d_{br} = {}^5\!/_8\, d$ e $L = 6d$

Calcolo della gittata della balista
La gittata G della balista in funzione della velocità di lancio v_0 e dell'angolo α dell'alzo per una traiettoria parabolica

$$G = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

con ovvio significato dei simboli.

Maria Letizia Conforto

Terme di Caracalla, misura e calcolo per la conservazione

Abstract
The remains of the Baths of Caracalla in Rome represent one of the best preserved example of ancient architecture because of their urbane dimension and their scientific conception. Deeply observed and documented both by architects of Renaissance and modern times, the archaeological site is still partially unknown. New studies on the geometrical pattern of the layout of the buildings could allow to understand the original plan always registered in different ways, as well as archaeological excavations could give the right dimension and the correct structural interpretation to missing parts, in order to control the stability of what was left of them.

Introduzione
La conoscenza del manufatto, primo passo per una corretta conservazione, può essere approfondita con strumenti diversi. Il rilievo geometrico ne definisce l'originario programma edilizio e la tecnica costruttiva, la ricerca archeologica ne esplora le molte parti ancora nascoste, l'analisi della documentazione iconografica e fotografica, compresa quella dei restauri, ne registra le trasformazioni.

Nel caso delle Terme di Caracalla, Figura 1, la prosecuzione degli scavi potrebbe consentire di verificare la corrispondenza tra le strutture in fondazione, ancora poco conosciute ma molto ben conservate, e quelle fuori terra, contribuendo a chiarire la strategia di organizzazione dell'antico cantiere e il funzionamento degli impianti.

L'aggiornamento e la verifica di forme geometriche realmente usate, oggi ipotizzabili da rilievi spesso fra loro incongruenti, potrebbe dare forma a architetture finora articolate in linguaggi diversi. Sarà allora possibile anche verificare, mediante calcoli statici, la pericolosità di lacerti murari ancora in opera, dimensionando qualità e consistenza di eventuali interventi che, nel rispetto dell'originaria qualità dell'opera, assicurino la sicurezza dei visitatori del sito archeologico.

Il linguaggio dell'architettura
Ogni forma di linguaggio ha diverse strutture sintattiche che, nella polisemia delle proprie articolazioni, esprimono le relazioni biunivoche che intercorrono tra la sfera del pensiero e quella del sapere pratico. Nella antica cultura tolemaica, la sintesi

Fig. 1 – Roma, Terme di Caracalla: veduta aerea del corpo centrale.

tra l'idea soggettiva che l'artefice, nella ricerca di proporzione e armonia, compie proiettando nella forma dell'ordine architettonico l'esperienza del fare operativo, si basa tanto sulla perfetta simmetria dell'astrazione geometrica quanto sull'accordo di astri e pianeti. La codificazione di tipi edilizi e di stili architettonici non preclude tuttavia la possibilità di interpretazioni diverse. Queste possono spaziare da un disegno metaforico, che leghi le leggi della struttura architettonica con l'ordine cosmico, all'imposizione della misura dello spazio costruito, al disordine labirintico della natura. La rappresentazione unitaria e simbolica del sottinteso mimetico e metaforico della natura e della concezione cosmologica prende così forma nell'astrazione geometrica dell'opera costruita.

Il linguaggio dell'architettura diviene allora possibile sintesi tra metafora, formula matematica, ordine architettonico. L'opera realizzata rappresenta così allo stesso tempo idea forma e qualità. Questo processo creativo valido per il modello del tempio e la sua veduta prospettica dall'esterno, come per lo spazio circoscritto di edifici concepiti come *hortus conclusus*, si ritrova anche nelle facciate e negli spazi interni di architetture scolpite direttamente nella roccia.

Lo spazio architettonico si dilata all'infinito, generando innumerevoli possibilità combinatorie riconducibili sia all'equilibrio cosmico di astri e pianeti, sia a rapporti geometrici e esperienze matematiche codificate dalla cultura alessandrina nell'area mediterranea. La teoria dei numeri di Euclide, il teorema di Pitagora, la duplicazione del quadrato di Platone, il pensiero di Archimede sulle simbologie delle figure geometriche sono tra i presupposti scientifici che costituiscono la base del sapere dell'architetto. La misura della terra ottenuta, secondo le esperienze di Eratostene, triangolando tra raggi solari e astri, la qualità dei materiali valutata dal rapporto tra

densità e volume, il movimento generato da macchine e meccanismi segreti, divengono strumento di conoscenza e trasformazione.

Non è dunque solo la rappresentazione metaforica della natura e della concezione cosmologica a prendere forma nell'astrazione geometrica dell'opera, proiettando il cosmo nel microcosmo della costruzione, ma anche il risultato di complesse organizzazioni dello spazio, di precisi codici compositivi, di selezionati accorgimenti tecnici. Così come il saggio esprime in cifre le leggi della natura, l'architetto compone la propria opera mediante canoni stabiliti dalla prassi costruttiva, segnando sul terreno dimensione e forma. Così come la geometria dell'impianto viene definita da precisi significati simbolici, come cerchio, quadrato, rettangolo aureo e triangolo pitagorico, il volume che ne consegue è connesso con scelta dell'ordine architettonico, selezione dei materiali, spessori murari. Questi ultimi, tracciati in pianta, ne articolano spazi e superfici, Figura 2.

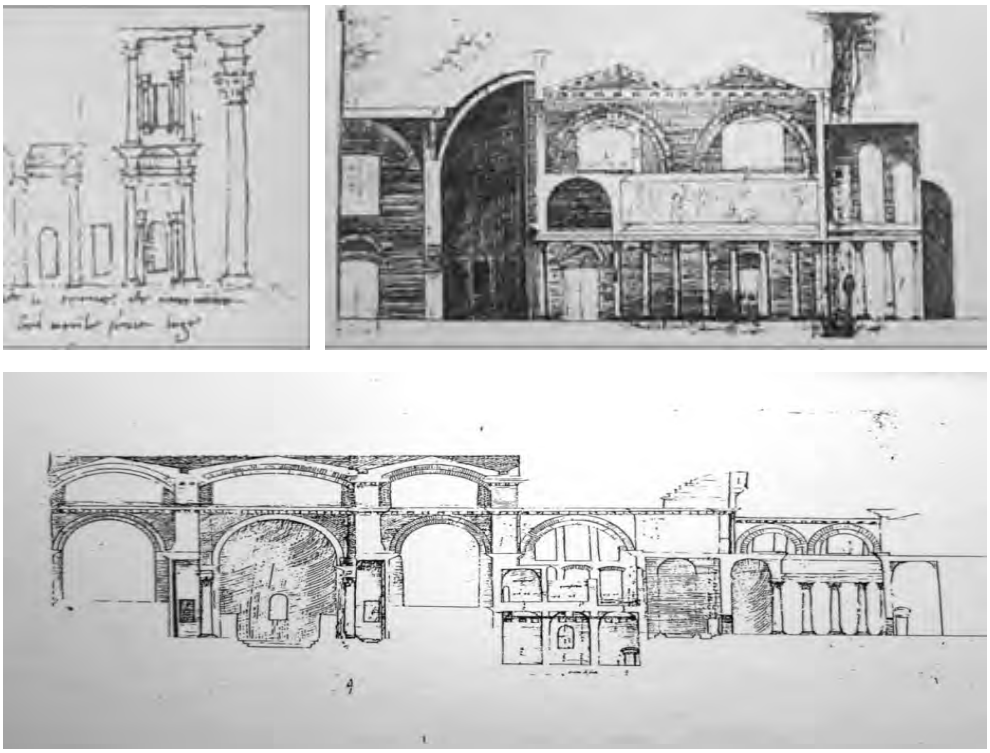


Fig. 2 – In alto a sinistra: Andrea Palladio, Terme di Caracalla: doppio ordine architettonico della Natatio, 1570. Schizzo di studio. In alto a destra e in basso: Anonimo Destailleur, Terme di Caracalla: sezioni tracciate nel corpo centrale delle Terme lungo l'asse del Frigidario e lungo la parallela con le spalle al Calidario, evidenziandone i livelli.

La difficile interpretazione del contesto archeologico

La frammentazione del manufatto archeologico rende spesso difficile decodificare l'originaria concezione dello spazio e il suo rapporto con la natura. Natura, archeologia e artificio si compongono infatti nel tempo in una unità fittizia la cui discontinuità rende il contesto un nuovo codice da decifrare. Nascono così ipotesi ricostruttive, anche arbitrarie, da convalidare mediante percorsi a volte contraddittori, confrontando l'universo delle possibilità con il microcosmo delle realtà, Figura 3. La ricerca dell'omogeneità concettuale fra reperto archeologico e architettura costruita non si può basare sulla reinvenzione di antiche testimonianze ma sulla loro approfondita conoscenza, evitando così che lacerti discontinui, idealmente riconnessi, compromettano la comprensione dell'antica composizione. La misura del manufatto stesso è dunque lo strumento sia per ricercare le geometrie che lo hanno generato, sia per riconoscere le valenze metriche e ritmiche delle dominanti orizzontali e delle toniche verticali, Figura 4.

Come per altri importanti monumenti, anche per le Terme di Caracalla la reale consistenza dell'architettura antica è tuttora un problema aperto, a causa delle diverse e incongrue letture che ne hanno orientato interpretazioni e restauri. Sono infatti ancora dubbi il riconoscimento di molti spazi funzionali e, malgrado le molteplici ricostruzioni grafiche, la stessa organizzazione dell'apparato architettonico e della volumetria di copertura. Il progetto originario, concepito su una vasta area di forma probabilmente quadrata, malgrado le manomissioni è ancora immagine di un processo che, nello spazio e nel tempo, si configura come architettura. Si può ancora oggi riconoscere uno spazio finito i cui limiti determinavano un interno urbano, una stanza a cielo aperto nella quale l'accesso al centro simbolico di tutto l'insieme era preparato attraverso molteplici prospettive. Le grandi coperture del Calidario e del Frigidario formavano infatti un pieno, organizzato secondo sequenze circolari di identica misura, intorno al quale gravitavano i vuoti di Palestre, Natatio, giardini. Lo spazio, chiuso e lontano dal cielo, simulava una estensione illimitata e mutevole al cambiare della luce. Quello aperto integrava invece, con fontane e zampilli, architettura e natura. Da qui la necessità di approfondire la conoscenza dell'intero complesso con misurazioni che, basate sull'antica concezione dello spazio architettonico, agevolino la comprensione delle originarie geometrie d'impianto, Figura 5.

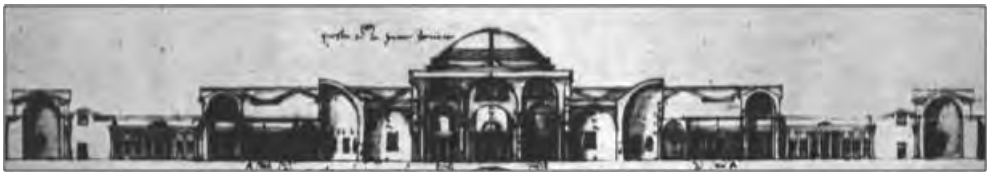


Fig. 3 – Andrea Palladio, 1570, Terme di Caracalla: sezione ricostruttiva dell'intero complesso termale.

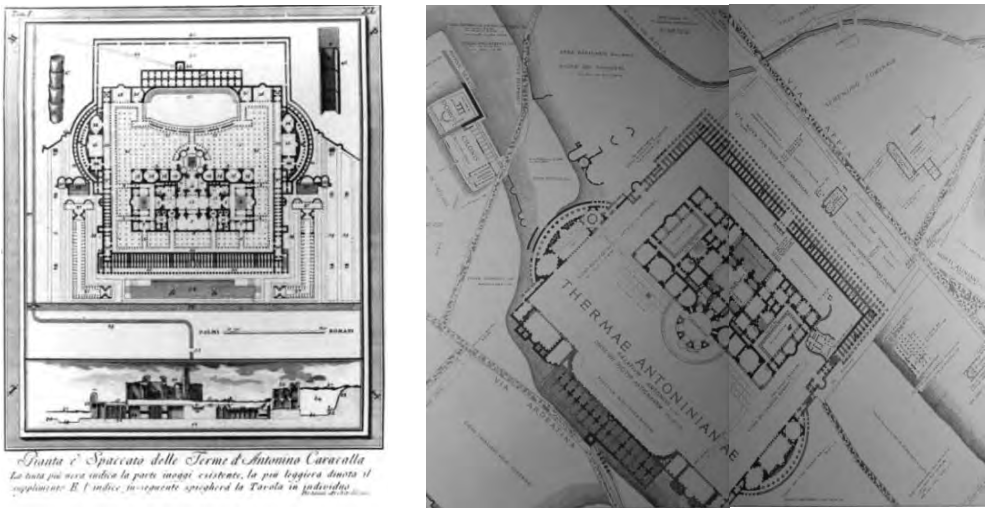


Fig. 4 – A sinistra: G.B.Piranesi: Antichità Romane, 1765, come nei rilievi precedenti e successivi, il disegno è eseguito secondo l'asse di simmetria. A destra: R. Lanciani: Forma Urbis Romae 1901, Tavv. 10, 17, particolare. Nel rilievo Roma è rappresentata secondo il convenzionale orientamento N-S.

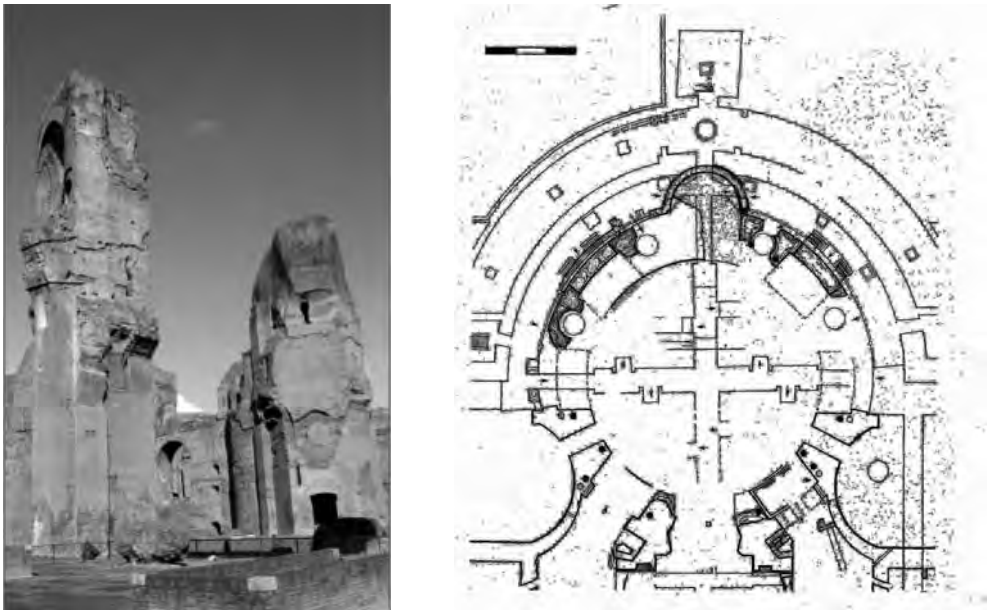


Fig. 5 – Terme di Caracalla: a sinistra: stato attuale del Calidario. A destra: piante sovrapposte del tracciato murario, ampliato in fondazione da muri concentrici e collegati da volte al nucleo centrale, a destra.

La conoscenza del monumento

Disegni e rilievi che nel tempo hanno rappresentato in pianta le terme di Caracalla, hanno privilegiato l'architettura del corpo centrale e i particolari scultorei degli ordini architettonici rispetto all'impianto generale, marcandone la simmetria dell'impianto, la vera o presunta disposizione delle vasche, le tracce delle volte. Dai disegni di Palladio, Abaco e Sangallo, è possibile riconoscere il doppio ordine delle colonne, l'articolazione delle nicchie e la complessa decorazione. La spoliazione dell'apparato architettonico è documentata nel disegno di Dosio, in Figura 6, nel quale le colonne dell'ordine gigante del Frigidario risultano in sito, prima della rimozione che ha lasciato in aggetto la muratura soprastante.

Di grande interesse sono le sezioni parallele tracciate dall'Anonimo Destailleur attraverso il corpo centrale delle Terme. La prima, disegnata lungo l'asse del Frigidario, seziona la nicchia della Palestra e evidenzia l'ordine minore delle colonne del portico. La seconda, disegnata con le spalle al Calidario, evidenzia i livelli principali dell'edificio. Rilevanti sono qui le quote dei cortili di ventilazione dei forni del sotterraneo, della vasca intermedia del Tepidario e quella, di poco superiore, del piano di calpestio della Palestra orientale, dove spiccano il profilo della semicupola e, in sequenza, quello delle tre volte a crociera del Frigidario.

La simmetria dell'intero complesso, completa di integrazioni, particolari e misure, è rappresentata in pianta nel IV capitolo del III Libro di Architettura del Serlio, edito a Venezia nel 1540. In questo libro, dedicato all'architettura antica, si fa particolare riferimento ai monumenti romani. La stessa convenzionale simmetria è alla base del disegno di G.B. Piranesi pubblicato nelle Antichità Romane. La pianta misurata dell'intero settore urbano è corredata da una sezione da monte a valle che dimostra la perfetta comprensione, al tempo non verificabile, del funzionamento e dell'unitarietà dell'impianto. Spento il moto dell'acqua e il rapporto con la natura, trascurato l'orientamento col cosmo e il mutare dell'illuminazione solare nel tempo,

Fig. 6 – Frigidario, oggi, a sinistra, e nel disegno di A. Dosio con ancora in posto le colonne, a destra.

sarà poi vanto della cultura illuminista interpretare le Terme secondo modelli architettonici di ispirazione neoclassica e rappresentarle, utilizzando un'unica unità di misura, in pianta, prospetto, sezione, con ombre convenzionali a 45°.

In nessuna delle numerose rappresentazioni in pianta dell'architettura delle Terme si evidenziano i rapporti geometrici che hanno generato il modello spaziale o si ipotizza un possibile tracciato per l'impianto del cantiere. La stessa gerarchia tra spazi aperti e spazi coperti è a tutt'oggi rappresentata in modi totalmente diversi.

E' tuttavia possibile, attraverso misure puntuali dell'opera muraria e della struttura delle volte, approfondire le regole dell'arte e la tecnica costruttiva. La muratura portante, in laterizio a vista e conglomerato interno, era eseguita per settori di circa un metro di altezza e sistematicamente connessa in orizzontale da un numero intero di grandi laterizi quadrati, i bipedali, di circa 60 centimetri di lato e pari a due piedi romani. Lo stesso spessore delle murature, tracciate a terra secondo questa unità di misura, denuncia la gerarchia degli spazi, sia aperti che chiusi, la cui volumetria doveva essere completata secondo canoni definiti dalla prassi costruttiva e fissata a terra seguendo lo spessore murario di uno o più bipedali. Una volta perso l'apparato architettonico, del quale si può però misurare l'altezza dalle tracce rimaste sulle pareti verticali, si tratta di riconoscere, ambiente per ambiente, le scelte di un progetto a scala urbana, ove il muro rappresenta, per la sua costruzione modulare, il principale elemento di misura dello spazio e della qualità della forma.

L'ampio settore urbano è definito, verso monte, dalle murature continue delle cisterne e, al livello della strada, da corpi di fabbrica prospicienti la città. L'intero impianto è suddiviso, secondo la direzione est ovest in settori paralleli che, a quote diverse e con funzioni diverse, sono stati realizzati con tecniche diverse.

Il settore più a sud, posizionato rispetto al piano principale di fruizione delle Terme nella parte più alta della collina, comprendeva la macchina idraulica della raccolta e distribuzione dell'acqua proveniente dall'acquedotto. Al centro del lungo corpo di fabbrica che conteneva le cisterne, il terminale dall'acquedotto esaltava la potenza del flusso con una imponente mostra d'acqua formata dal troppopieno delle vasche. La pressione esercitata dal peso dell'acqua a pieno regime all'interno del doppio vano delle vasche poteva dunque alimentare tutte le fontane, comprese quelle del corpo centrale, fino quasi alla quota di colmo mediante condotte sotterranee. E' possibile che canalizzazioni non a pressione scorressero sul colmo degli edifici nel settore meridionale del recinto, la cui altezza, fino al limite segnato da due torri spiccate su base quadrata, è confrontabile con quella del corpo centrale. E' possibile, ma non facile da dimostrare, che l'allineamento in pianta del calidario con le due torri del recinto, potesse corrispondere al limite delle conserve in quota. Al di sotto del piano di calpestio del monumentale nucleo centrale, conservato fuori terra fino al piano superiore, è ancora in opera gran parte del complesso sistema di gallerie voltate che, costruite tra la fondazione del corpo centrale e un robusto muro

di contenimento, consentiva l'accesso agli impianti termici e agli edifici del recinto esterno, Figura 7.

Il settore più a nord del monumentale edificio centrale era destinato a fontane di acqua fredda dotate di scenografiche soluzioni architettoniche.

Una sequenza di costruzioni, poco studiate e in pessimo stato di conservazione, delimitava originariamente il lato su strada del settore urbano. Questi edifici, ormai irriconoscibili, contenevano le rampe di accesso al piano principale e potevano avere un doppio affaccio, sia verso il corpo centrale delle terme, sia sul fronte esterno. Una lastricata via interna dava, dalla strada, accesso a forni, ventilati attraverso profondi cortili, e a una serie di gallerie e di percorsi sotterranei. Due condotti sovrapposti servivano la rete di distribuzione e di raccolta delle acque, al di sotto del corpo centrale, mediante profondi pozzi muniti di pedarole. Il tracciato del sottosuolo, come indicato nei rilievi redatti all'inizio del XX secolo, conteneva quindi tutte le funzioni necessarie al funzionamento dell'impianto e le postazioni murarie capaci di sostenere in elevato la possente massa dell'edificio. Questa era articolata al suo interno da scale, per il controllo di fumi, e percorsi di manutenzione per afflusso e deflusso delle acque meteoriche o di servizio. Nelle zone non ancora esplorate, la corrispondenza tra le strutture in fondazione e quelle fuori terra potrebbe fornire utili informazioni sulla strategia di organizzazione dell'antico cantiere, e riscontri sulla geometria dell'impianto, condotti su aggiornati rilievi architettonici, potrebbero contribuire a dare forma a soluzioni spaziali finora solo ipotizzate.

Misura e calcolo

L'apparecchio murario portante e ciò che resta delle coperture evidenziano materiali e spessori dei quali è necessario verificare stato di conservazione e stabilità, al fine di dimensionare, nel rispetto dell'originaria qualità del progetto, eventuali interventi di conservazione. La struttura muraria presenta significativi gradi di fragilità nei lacerti consumati da interri, mancanza di protezione, usi impropri, mentre le grandi masse murarie presentano problemi di fuori piombo, degrado superficiale, lesioni passanti. Sarà pertanto necessario il controllo di alcune criticità particolari e un diffuso lavoro di manutenzione per risarcire le sommità e le cortine pericolanti, gli apparecchi di stipiti e archi passanti, Figura 8. Le vistose lesioni che attraversano pareti di grande spessore, probabilmente generate dalla caduta delle volte, potranno essere monitorate, per segnalare eventuali peggioramenti delle condizioni statiche, e protette da infiltrazioni e crescita di vegetazione. Particolare attenzione dovrà essere invece dedicata a masse murarie aggettanti, perché residue di strutture voltate, perché parte di apparecchi spingenti non più efficaci, perché private delle colonne d'appoggio, Figura 9.

Per quanto ancora rimane del sistema voltato, è possibile identificare le diverse soluzioni architettoniche progettate in laterizio e in conglomerato per ambienti di dimensioni difformi ma con tecniche ancora riconoscibili. Nel sistema di gallerie

Fig. 7 – Gallerie sotterranee gettate in conglomerato su cassaforma in laterizio.

Fig. 8 – Terme di Caracalla: gli assi maggiore e minore del Frigidario alla fine del 1800.

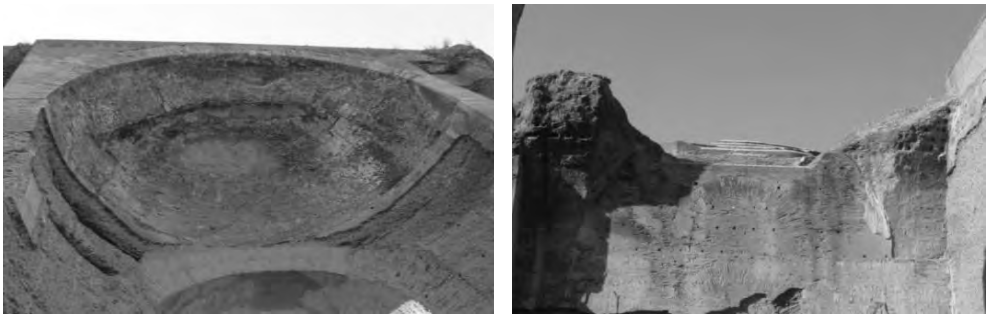


Fig. 9 – Terme di Caracalla: strutture in bipedali a sostegno di semicupole e volte.

sotterranee che collegava gli edifici del recinto con il corpo centrale, sono ancora in posto molte volte a direttrice circolare che, gettate su cassaforma in laterizio rimasto in opera, coprono spazi rettangolari di ampiezza contenuta entro un massimo di 7÷8 metri. Lo spessore in chiave di circa un metro, rilevato nelle bocche di ventilazione, sembra essere comune a tutte le strutture orizzontali. Va però aggiunta a questa misura la collaborazione, per uno spessore di circa 20÷30 centimetri, della pavimentazione a sua volta composta da uno strato di cocciopesto e da una finitura a mosaico. La zona ipogea del recinto occidentale è ancora ben conservata nonostante il crollo di parte dell'elevato. Della torre a base quadrata restano in fondazione il pilastro centrale e la volta anulare, a spicchi su base ottagonale, in modo da lasciare un consistente presidio negli spigoli. Da questo snodo si accede a diversi ambienti sotterranei coperti con volte a crociera spiccate su pilastri. Dal lato opposto resta invece solo la torre a base quadrata sorretta in fondazione da un pilastro centrale sul quale è impostata la volta anulare.

Al piano d'uso delle Terme, sono ancora in posto volte in conglomerato, a botte, con misure equivalenti a quelle del sotterraneo, a crociera, in aule a base quadrata di luce anche doppia, purché con non più di un lato su colonne. Nelle due aule di passaggio tra il Frigidario e la Natatio infatti, la sottrazione delle due colonne e degli architravi ha provocato da un lato la caduta della muratura sovrastante e della copertura, dall'altro la formazione nella muratura di un arco di scarico che ha preservato la volta. Sono invece collassate tutte le strutture voltate, anche di dimensioni minori, impostate tra muri portanti e colonne, così che delle coperture di aule e porticati sono rimasti in opera solo gli spigoli, Figura 10.

Prima di ogni altro materiale, la sottrazione delle colonne dell'ordine architettonico minore, ridistribuite lungo tutta la costa tirrenica da Montecassino a Pisa, e, successivamente di quelle dell'ordine gigante, è stata dunque tra le principali cause di distruzione e di potenziale instabilità.

Le aule di maggiore dimensione avevano coperture di forma mistilinea, con almeno un lato su colonne. Grandi archi in bipedali strutturavano la continuità dello spazio e ne suddividevano la luce, formando bordi a nicchie, botti e crociere, i cui lacerti in conglomerato sono ancora conservati negli spigoli delle murature portanti. Ancora ben leggibile è l'arco in bipedali, di venticinque metri di luce, che definiva le semicupole di accesso all'area centrale. L'estradosso di queste coperture poteva raggiungere lo spessore di un metro e venti anche considerando lo spessore dell'impermeabilizzazione. Nel Frigidario, la sequenza di tre vani a crociera, era suddivisa in comparti da quattro coppie di colonne dell'ordine gigante che, collegate da archi impostati su mensole incatenavano le volte di copertura. Sullo stesso asse visivo era così possibile, dalla nicchia aperta verso il portico, inquadrare tutto lo spazio fino al portico opposto. Nei vani intermedi di forma rettangolare, la crociera centrale era impostata su quattro archi, uno sulla parete di fondo, due su brevi botti laterali,

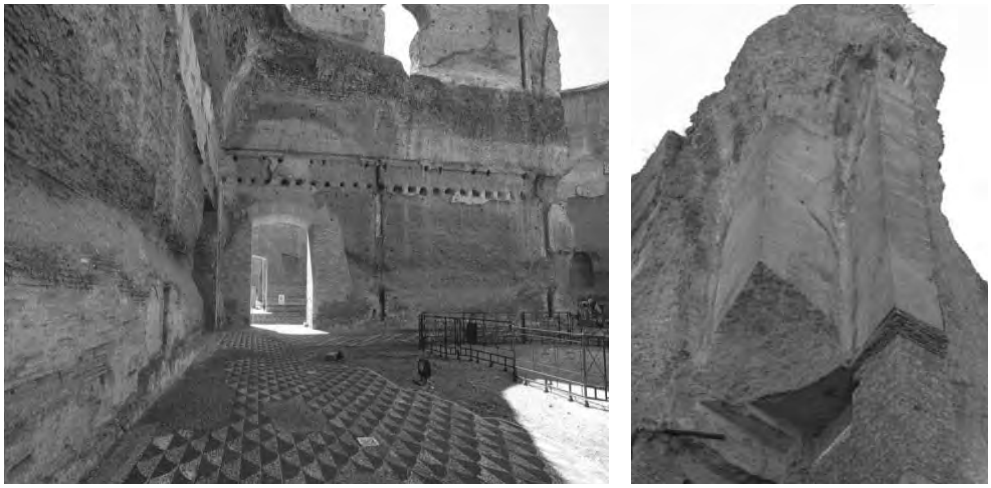


Fig. 10 – A sinistra: palestra occidentale e, in secondo piano, la struttura portante del Frigidario. In entrambe i casi sono evidenti i danni prodotti dalla sottrazione delle colonne nel portico che ha provocato il collasso della volta a botte in conglomerato. A destra: nell'aula retrostante, questa sottrazione ha privato dell'appoggio il setto murario della grande crociera.

mentre il quarto arco, su colonne, si apriva alla continuità dello spazio. Anche i due portici che si affacciavano sulla Natatio avevano una soluzione simile.

Volte interamente costruite in bipedali, ancora in buona parte conservate, si trovano nella fondazione del Calidario e negli ambienti simmetrici che precedono a est e a ovest la vasca della Natatio, Figura 11. E' comprensibile che l'articolato reticolo di corridoi costruito al di sotto del Calidario, per consentire l'accesso ai forni e alle gallerie di manutenzione, ne allargasse il perimetro nel sottosuolo formando un valido presidio per la grande massa soprastante, Figura 12. Meno comprensibile è invece la robusta struttura dei due blocchi che precedono l'ingresso alla Natatio. Si tratta infatti di ambienti suddivisi in cinque vani ciascuno, nei quali due coppie di camere a doppio piano, con volte semicilindriche dell'ampiezza di circa 7÷8 metri , definivano uno spazio centrale di doppia altezza completato da una copertura a crociera. Entrambi i blocchi contengono scale di accesso al piano superiore, ma questo non spiega la ragione di una struttura così importante anche se si possono comunque azzardare alcune ipotesi relative a una particolare destinazione dell'opera compiuta, o alla necessità di una struttura di servizio da usare durante la fase di costruzione. Nel primo caso i vani potevano essere dimensionati per raggiungere una maggiore altezza o forse per contenere delle vasche, nel secondo è invece possibile pensare che le due robuste strutture, in posizione centrale rispetto agli ambienti circostanti e provviste di scale, fossero state dimensionate come piattaforme di appoggio per dare corso a opere di cantiere quali l'accumulo di materiali o il posizionamento delle

Fig. 11 – A sinistra: ambiente adiacente alla Natatio. La sottrazione delle colonne e dell'architrave soprastante ha generato la formazione di un arco che ha conservato in posto la volta. - A destra: ambiente di passaggio con volta a botte ordita in doppio strato di sesquipedali.

Fig. 12 – Sistema voltato al di sotto del Calidario. Galleria anulare di collegamento tra il muro perimetrale esterno e il nucleo centrale, passaggio interno di accesso ai forni.

macchine. Tenendo conto che lo spessore del tracciato murario è nei tratti rettilinei formato da tre bipedali, per una dimensione totale di 180 centimetri, e che tutte le pareti del corpo centrale erano prive di buche pontaie, si potrebbe ipotizzare che l'edificio potesse crescere lavorando direttamente sul colmo del muro, divenuto misura e regola della costruzione.

Giuliana Tocco Sciarelli

Le opere di ingegneria nell'antichità. L'esempio dell'Appia

Abstract
A typical example of Roman engineering and urbanization, the Appia Road included earth levellings, viaducts, terracings and bridges in order to build a fast and efficient path. The road deeply impacted the surrounding territory creating new landscapes, like urban agglomerates and agricultural lottings. New monumental areas and traveller facilities structures rose along the way.

Premessa
L'Appia costituisce un esempio tipico dell'ingegneria e dell'urbanistica romana. Ideata e iniziata nel 312 a.C. dal censore Appio Claudio il Cieco[1] per assicurare un rapido collegamento tra Roma e Capua, e dunque per scopi militari, l'Appia si sviluppò poi gradualmente, per fini politici ed economici, accompagnando l'assoggettamento delle bellicose popolazioni italiche, nei territori meridionali fino a raggiungere Brindisi, dove fu dedotta una colonia tra il 246 e il 243 a, C. Assunse, dunque, sin dall'inizio valore simbolico come segno tangibile del potere di Roma e impresse, perciò, un forte segno sul territorio attraversato.

Se si considera la sequenza delle colonie dedotte lungo il tracciato dell'Appia a partire dalla più antica, Terracina (*Tarracina* 329 a.C.), seguita da *Sinuessa* (296 a.C.), Minturno (*Minturnum* 295 a.C.), Venosa (*Venusia* 291 a.C.), Benevento (*Beneventum* 268 a. C.), fino alla tappa finale, la colonia di Brindisi (*Brundisium*), si ha la rappresentazione plastica di un preciso progetto politico, che guarda già al bacino del Mediterraneo[2].

Caratteristiche strutturali e tecniche
L'Appia, definita dal poeta Silio Italico *Regina Viarum* e *nobilis* (*Sil*. II 2,123; IV 4,2) fu la prima grande strada romana di lunga percorrenza (Figura 1). Raggiunse, infatti, la lunghezza di 365 miglia, pari a 530 km, ed era larga 14 piedi, pari a 4,1 m. Difficile immaginare che fosse anche sin dall'inizio tutta lastricata[3].

Di tutti i tratti portati alla luce fino a oggi, infatti, molti sono lastricati; di alcuni, invece, si conserva solo un piano costituito da ghiaia (*glarea*), Non sappiamo, dunque se l'intero tracciato fosse pavimentato. Abbiamo invece sicure testimonianze di

Fig. 1 – Tracciato dell'Appia e della Traiana.

lavori di pavimentazione eseguiti nel tempo. Tito Livio (X, 23 e 47; XXXVIII, 28, 3) riferisce di lavori di pavimentazione nel primo tratto dell'Appia eseguiti tra la fine del III e gli inizi del II sec. a. C. con pietre squadrate e con basalto. Fonti epigrafiche ci attestano di lavori di pavimentazione a opera di Traiano[4]. Procopio, infine, nel VI sec. d.C., si esprime in termini entusiastici, sostenendo che al suo tempo il basolato era ancora ben levigato e conservato perfettamente (*De Bello Gothico,I, 14*).

Il basolato presenta in genere un profilo ricurvo per favorire il deflusso delle acque ed è contenuto ai lati da una fila di blocchi sopraelevati rispetto al piano stradale, che delimitano i marciapiedi (*crepidines*) in semplice terra battuta, ma in qualche esempio lastricati.

Non si dispone di una fonte antica che tratti specificamente delle modalità di costruzione delle strade pubbliche. Non soccorre nemmeno Vitruvio che si occupa solo della pavimentazione (*ruderatio*) interna (VII, 1,1) o esterna degli edifici (V, 9, 7). In entrambi i casi si prevede un lavoro di spianamento preventivo del suolo (*statumen*), sul quale stendere nel primo caso uno strato con pietrame triturato (*rudus*) e nel secondo uno strato di carbone, in pratica un vespaio, ricoperto da uno strato di ghiaia (*sabulone*). In maniera non dissimile si doveva procedere per i tracciati stradali[5]. Piranesi in una delle sue splendide incisioni (Figura 2) rappresenta proprio un tratto della via Appia e chiosa il suo disegno precisando che il basolato, che indica con la lettera B, ricopre uno strato di calce, pozzolana e scaglie di pietra, indicato con la lettera A, sovrapposto a un piano di terra battuta.

La successione di quattro strati, costituiti da un piano livellato composto da filari di pietra con calce o argilla (*statumen*), da uno strato di tritume di pietre, ciottoli e

mattoni (*rudus*), da uno strato di tritume più fine con calce e sabbia (*nucleus*) e infine dalla copertura finale (*summum dorsum* o *summa crusta*) costituita da ghiaia o pavimentata con basoli, è una ricostruzione teorica comunemente accettata ma non suffragata da precise evidenze archeologiche[6]. D'altra parte i termini usati nelle fonti antiche per indicare la costruzione dell'Appia contengono un chiaro riferimento alla complessità dell'opera[7].

La via era fiancheggiata da pietre miliari a distanza regolare di circa 1 miglio, pari a 1478,50 m, che fornivano le distanze da Roma o dalla città più vicina[8]. Su di esse spesso erano ricordati gli autori, imperatori o magistrati, di opere relative alla strada.

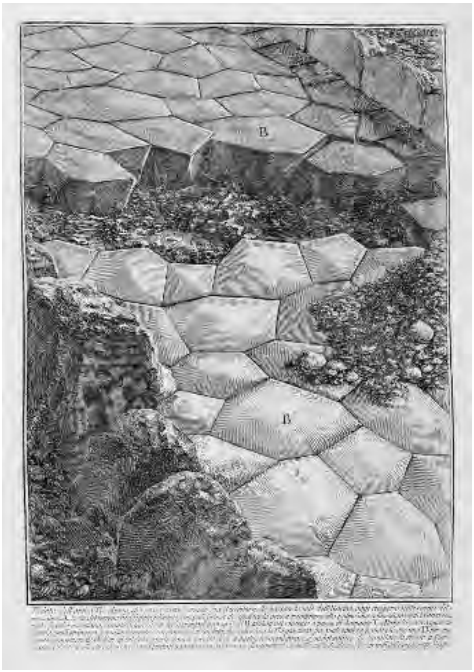


Fig. 2 – Incisione di G.B. Piranesi - XVIII secolo.

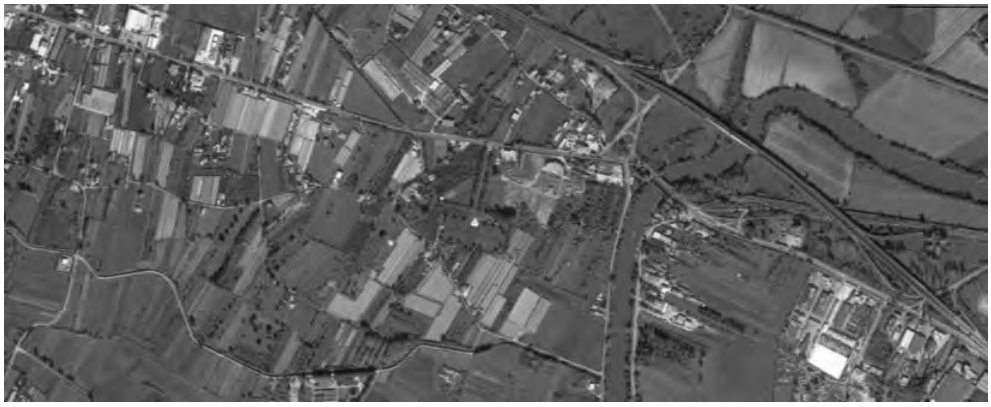
Lungo il tracciato si trovavano punti di sosta: le *mutationes*, per il cambio e la cura dei cavalli e per le riparazioni, e le *mansiones*, dove si poteva sostare, mangiare e pernottare. Una delle più attrezzate e complesse doveva essere quella di *Tres Tabernae* nel territorio di Cisterna al XXXIII miglio, attrezzata anche con terme ed edifici di culto. Forse una *statio* era presso il *Pons Campanus* dove pernottò in una piccola villa il poeta Orazio, nel suo viaggio da Roma a Brindisi[9].

L'Appia elemento generatore di paesaggi

Tutte le strade, ancora oggi, inducono processi di trasformazione del territorio, ma l'Appia, grazie alle sue finalità strategiche e alla sua valenza simbolica, come testimonianza tangibile della conquista dei territori e, dunque, di un preciso programma politico, ha inciso così profondamente sul paesaggio tanto da perdurare fino a oggi addirittura nell'uso di alcuni tratti, coincidenti con il tracciato moderno, nella forma dei paesaggi, nelle persistenze toponomastiche e anche nella memoria collettiva.

Le città

La testimonianza più eloquente è offerta dagli agglomerati urbani, che si formano lungo l'Appia, come Sinuessa, ad esempio, che sorse come *castrum* a difesa della



strada. Molti centri sono preesistenti ma si riorganizzano in relazione con l'asse stradale che li attraversa e che ne diviene in genere spesso quello principale, il *decumanus maximus* come a *Minturnum* (Figura 3).

In altre città moderne, come Terracina (*Tarracina*), Benevento (*Beneventum*), Capua (*Casilinum*), il cui centro storico è cresciuto senza soluzione di continuità sulla città romana, il corso principale coincide con il tracciato antico dell'Appia, che della rete stradale urbana antica costituiva il *decumanus maximus*.

Fig. 3 – L'Appia decumanus maximus a Minturnum; in alto veduta aerea (Hub geo-culturale MiBACT).

Le centuriazioni

Il sistema di controllo delle terre assoggettate da parte di Roma si attuava anche con l'assegnazione delle terre ai veterani. Si assicurava così una presenza sui territori di genti legate a Roma da rapporti di fedeltà e lealtà. La divisione in lotti uguali dell'*ager publicus*, secondo i criteri preordinati della centuriazione ha nell'Appia un riferimento fisico determinante. Anche in questo caso la strada può costituirne l'asse principale, sul quale si impostano ortogonalmente i lotti, come avviene ad esempio nella piana pontina in prossimità di *Tarracina* (Terracina) o nelle campagne tra Mondragone e Capua, *ager Falernus*, dove si produceva il pregiatissimo vino *Falernum*[10].

In entrambi i casi il paesaggio agrario moderno ne conserva in modo stupefacente le tracce palesi nella rete di strade e sentieri che costeggiano i campi (Chouquer et al.,1987).

I complessi monumentali

La strada promuove il sorgere di complessi monumentali importanti: ville residenziali come la villa di Massenzio o la villa dei Quintili, nelle immediate prossimità di Roma, o mausolei di personaggi o di famiglie illustri, come la tomba di Cecilia Metella, imponente monumento funerario cilindrico che ancora oggi si impone con la sua mole all'altezza del III miglio da Roma, o come i due mausolei, le "Carceri vecchie" e la "Conocchia", che fiancheggiano l'Appia, qui coincidente con il tracciato moderno, prima di entrare nella città di S. Maria Capua Vetere (*Capua*). In uscita dal lato opposto l'Appia era coronata da un arco a tre fornici, il cosiddetto arco di Adriano, che ancora oggi si erge sia pure mutilato a testimoniare il passaggio dell'antica strada. Ingressi monumentali segnavano l'attraversamento delle aree urbane e un prospetto architettonico concludeva il percorso dell'Appia sul porto di *Brundisium* (Brindisi); di esso facevano sicuramente parte la colonna con capitello composito che ancora fronteggia il mare unitamente al frammento di un'altra.

Le opere di ingegneria

Per rendere il percorso veloce e, dunque, agevole si predilesse nella realizzazione dell'Appia, ove possibile, un tracciato rettilineo[11]. A tal fine e per superare ogni ostacolo furono eseguite opere di ingegneria di notevole impegno.

I ponti

Nel percorso dell'Appia, numerosi furono i corsi d'acqua da superare lungo tutto il tracciato. I ponti, dunque, ebbero un ruolo di eccellenza nella realizzazione della strada, non solo per il numero elevato, ma anche per l'audacia e la solidità delle forme architettoniche.

Le fonti letterarie anche in questo caso non ci forniscono informazioni dettagliate sulla costruzione dei ponti e ancora una volta soccorre Vitruvio, che non si occupa espressamente dei ponti, ma, quando nel libro V,12 tratta della realizzazione dei porti, specifica anche le modalità per costruire strutture portuali che devono avere fondazioni sommerse nell'acqua. In pratica si debbono realizzare delle casseforme di legno da riempire nella parte sommersa con pozzolana mescolata a calce disposta su un vespaio di travi sistemate sul fondale per costituire le fondazioni delle murature da erigere. Se non si dispone di pozzolana, bisogna creare uno spazio recintato da doppie casse legate con tavole e catene e inzeppate con creta contenuta in ceste di giunchi palustri in modo da renderlo impermeabile e, dopo averlo svuotato e aver raggiunto il fondo roccioso, vi si costruisce la muratura con pietre, calce e sabbia. Nel caso non si riscontri un terreno sufficientemente duro bisogna ricorrere a pali di ontano o di ulivo costipati con carbone per creare la base per le fondazioni.

Dunque è possibile che per costruire i piloni dei ponti si seguissero modalità simili. Indagini eseguite sulle due sponde del Garigliano sui resti del ponte con il

quale l'Appia superava il fiume, dopo aver attraversato *Minturnum* come *decumanus maximus,* hanno messo in evidenza sulla sponda di destra una palificata lignea e su quella di sinistra alcuni pali e due nuclei in opera cementizia rivestite con blocchi di tufo. Questi dati non trovano una corrispondenza nelle indicazioni di Vitruvio[12].

I ponti, che costituiscono la testimonianza più pregnante del tracciato dell'Appia sono naturalmente di dimensioni variabili in dipendenza ovviamente del corso d'acqua da superare. Se poco si può dire delle fondazioni, viceversa per l'elevato restano i possenti piloni e soprattutto le audaci arcate a rappresentare efficacemente la maestria degli architetti romani. Furono eretti ponti a una, a due, a tre, a cinque e sei arcate. Molti di essi furono costruiti o restaurati in età traianea in bella opera quadrata con blocchi di calcare bugnati.

Imponente era il ponte sul Volturno che consentiva l'ingresso a *Casilinum* (Capua) e che, purtroppo, è stato distrutto nella seconda guerra mondiale. Era un ponte con quattro archi maggiori a tutto sesto e due minori in blocchi squadrati di tufo di epoca probabilmente augustea. Ricostruito a metà del secolo scorso, conserva nelle fondazioni alcune delle pile frangiflutti e i resti di una delle testate[13].

Tra i ponti più belli erano i tre ponti eretti a distanza ravvicinata sui tornanti del torrente Corvo nel tratto di strada tra *Caudium* (Montesarchio) e *Beneventum*: il ponte Tufaro, il ponte Apollosa (Figura 4) e il ponte Corvo (Figura 5), tutti distrutti nel secondo conflitto mondiale, ma dei quali si conserva la splendida documentazione fotografica eseguita da Robert Gardner nei primi anni del '900[14]. Tutti in opera quadrata in blocchi di calcare leggermente bugnati, si distinguono per la raffinatezza delle rifiniture e sono stati anche essi probabilmente restaurati in età traianea. Il ponte Tufaro aveva tre arcate a tutto sesto, la centrale di dimensioni leggermente maggiori; il ponte Apollosa aveva anch'esso tre arcate a tutto sesto delle quali però la centrale di dimensioni notevolmente superiori, 9,1 m, e le due laterali molto più piccole, 3,1 m. Le pile erano munite di rostri frangiflutto. Infine il ponte Corvo con solo due arcate a tutto sesto di uguale dimensione, 7,3 m, si distingueva per la possente eleganza architettonica (Ceraudo, 2012).

Ben cinque arcate a tutto sesto aveva il ponte Leproso (Figura 6) che consentiva l'ingresso a *Beneventum* superando il fiume Sabato. Il restauro successivo al terremoto del 1702 ha comportato consistenti interventi di rifacimento. Anche il perdurare dell'uso fino ai giorni nostri ha comportato ripetute opere di manutenzione o di consolidamento che ne hanno modificato l'assetto antico. Oggi infatti il ponte presenta sei arcate a sesto ribassato che non appartengono all'architettura antica, della quale invece restano ancora in piena funzione i piedritti e i rostri semicircolari che rinforzano i piloni sul lato a valle, solo il quarto piedritto da sinistra non ne è munito. La foto di Gardner permette di vedere anche la platea di appoggio dei piloni (Ceraudo, 2012).

Fig. 4 – Il ponte Apollosa. (da Ceraudo, 2012).

Fig. 5 – Ponte Corvo (BSR Photographic archive, Robert Gardner Collection, RG-1540).

Fig. 6 –Ponte Leproso (BSR Photographic archive, Robert Gardner Collection, RG-0007).

Infine si deve ricordare che un grande ponte mobile, secondo Strabone (VI, 278), permetteva alla strada di superare il canale che separava la città di Taranto dalla terraferma (Quilici, 1989).

Canalizzazioni, sostruzioni, terrazzamenti e viadotti

Una idea efficace dell'opera straordinaria degli architetti romani impegnati ad assicurare al tracciato della strada un percorso solido e diretto per superare pendenze accidentate o valloni ampi e profondi ce la offrono le parole di Diodoro Siculo (XX, 36, 2) ancora una volta rivolte all'opera di Appio Claudio: "*scavò le alture, pareggiò le valli e i baratri con mirabili terrazzamenti*".

Qui ci si limita a ricordare due opere imponenti: il viadotto di Ariccia, in Figura 7, e il terrazzamento alle Gole di S. Andrea tra Fondi e Itri, in Figura 8. Il primo, in opera cementizia con facciavista in bel bugnato di blocchi squadrati di peperino fu realizzato, probabilmente in età graccana, per superare il vallone di Ariccia, assicurando alla strada un andamento pianeggiante. Il bellissimo rilievo eseguito dall'archeologo Luigi Canina a metà del XIX secolo permette di apprezzarlo nella sua imponenza (Sterpos, 1971). Si sviluppava per 231,25 m e per un'altezza massima di 13,20 m. Nella muratura si aprono due archi di diversa dimensione, il più grande con una luce di 4,65 m, forse per il passaggio di persone, e altri piccoli archi per il deflusso dell'acqua[15].

Nel tratto dell'Appia che attraversa la strettoia delle gole di Sant'Andrea tra Fondi e Itri la strada corre su una scarpata e, dunque per sostenerla fu realizzato un possente terrazzamento in opera poligonale (Quilici, 1989).

Fig. 7 – Il viadotto di Ariccia (da Adam, 1988).

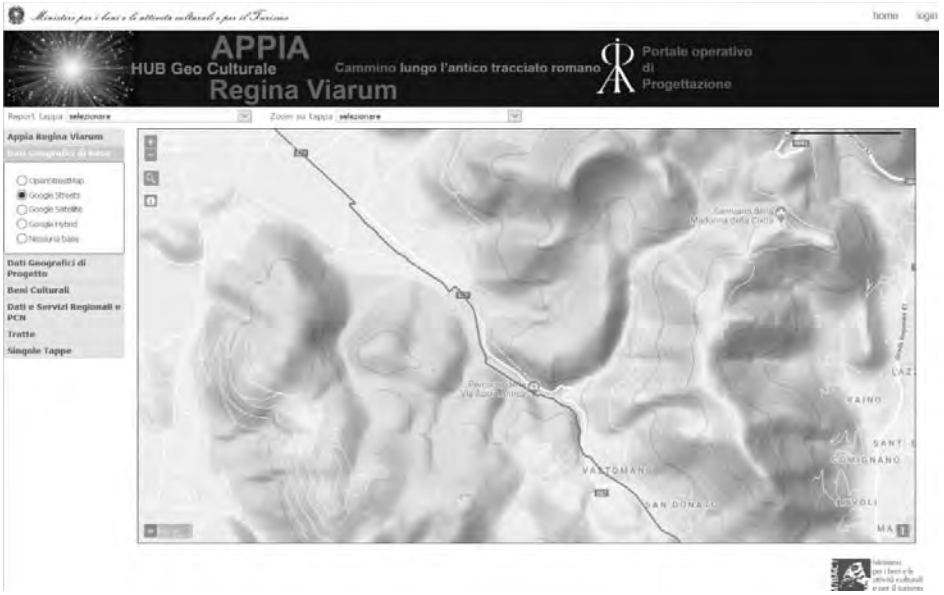


Fig. 8 – Le gole di Sant'Andrea (HUB geoculturale MIBACT).

Un ultimo accenno va fatto al "Ponte Sodo", un cunicolo per convogliare le acque del torrente Fosso di Mele sotto il tracciato dell'Appia nel territorio di Velletri. Si tratta di un piccolo arco in opera quadrata che si raccorda a un cunicolo nel quale deviare le acque del torrente per farle passare sotto la strada. Rientra in una tipologia di canalizzazione sotterranea per modificare l'andamento dei corsi d'acqua e probabilmente fece parte del progetto di realizzazione della strada (Quilici Gigli, 1996).

Il caso di Terracina

Il caso di Terracina è esemplare di quanto finora si è detto in merito all'incidenza dell'Appia sui territori attraversati e sull'audacia delle opere ingegneristiche messe in atto per superare gli ostacoli. *Tarracina*, colonia fondata nel 329 a.C., sul luogo dove sorgeva *Anxur*, abitato dei Volsci, è posta alla fine del rettilineo che attraversa le paludi pontine. Questo tratto dell'Appia fu costruito su terrapieno[16] e venne affiancato da un canale lungo 28 km, il *Decemnovium*, in Figura 9, come percorso alternativo[17].

Fig. 9 – Il Decennovium.

Nell'attraversare la piana pontina l'Appia, come si è detto, fu l'asse portante della centuriazione. Ancora oggi si leggono i segni dell'antica lottizzazione delle campagne.

Proseguendo, la strada costituì il *decumanus maximus* dell'impianto della città e un tratto lastricato è ancora visibile nell'area del Foro coincidente con l'attuale Piazza Municipio. La città sorse sulla stretta striscia di suolo compresa tra la linea costiera

Fig. 10 – Terracina. A sinistra: la centuriazione della piana pontina; a destra; l'Appia attraversa la piazza del foro di Tarracina.

Fig. 11 – Il centro storico di Terracina attraversato dall'Appia (MIBACT).

e i monti Ausoni prospicienti il mare e dunque fu posta su un varco importante di accesso verso le regioni meridionali. Al centro della piazza del foro una iscrizione ricorda la pavimentazione dell'Appia: *A(ulus) Aemilius A(uli) F(ilius) stravit*.

Uscendo dalla città la via nella sua prima realizzazione saliva sul Monte Sant'Angelo, dove sono conservate le rovine del santuario sacro a Giove Anxur, e ne ridiscendeva dalle pendici opposte, piuttosto scoscese, rinforzata e sostenuta da imponenti terrazzamenti in opera poligonale.

L'imperatore Traiano, per rendere il percorso agevole portandone il tracciato in piano lungo la costa, concepì l'audace progetto di tagliare le pendici del promontorio del Pesco Montano prospiciente il mare per 36 m di altezza, in Figura 12. Incisi sul fronte liscio della parete rocciosa sono ancora leggibili i metri raggiunti progressivamente in profondità, procedendo dall'alto nella complessa operazione (Quilici, 1989). Il tratto montano e quello in pianura si ricongiungevano all'altezza di Fondi.

Fig. 12 – Il taglio del pesco Montano (Archivio Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio di Rieti, Frosinone e Latina).

Nel terzo libro dell'architettura, Palladio, nel ricordare gli interventi di Traiano per l'Appia, così si esprime: "*asciugò i fiumi paludosi, abbassò i monti, pareggiò le valli e, facendo, dove bisognava, ponti, ridusse l'andar per essi molto facile e spedito*" (Palladio, 2008). Queste parole del celebre architetto cinquecentesco rappresentano con efficacia non solo la lungimiranza e la illuminata attenzione dell'imperatore alla pubblica utilità, ma anche l'audacia e la perizia degli architetti del mondo romano antico.

Bibliografia

Adam J.P. 1988. *L'arte di costruire di costruire presso i Romani. Materiali e tecniche*. "Biblioteca di archeologia", 10. Milano: Longanesi & C.

Canina L. 1853. *La prima parte della via Appia, da porta Capena a Boville*. Roma: Bertinelli.

Ceraudo G. (a cura di). 2012. Lungo l'Appia e la Traiana. Grottaminarda: Delta 3 Edizioni

Chevallier R. 1972. *Les voies romaines*. Paris: Librairie Armand Colin.

Chouquer G. et al. 1987. *Structures agraires en Itaie centro-méridionale. Cadastres et paysage ruraux*, Collection de l'Ėcole française de Rome 100. Rome: Ėcole française.

Galliazzo V. 1994. *I ponti romani*, II, Treviso: Edizioni Canova

Humm M. 2005. *Appius Claudius Caecus. La Répubblique accomplie*. Rome: Ėcole française.

Palladio A. 2008. *I quattro libri dell'Architettura*, II edizione. Studio Tesi.

Quilici L. 1989. *Via Appia dalla pianura pontina a Brindisi*. Roma: Fratelli Palombi SRL.

Quilici Gigli S. 1996. Sui cosiddetti Ponti Sodi e Ponti Terra. In: *Strade romane ponti e viadotti* (a cura di S. Quilici Gigli, L. Quilici, G.Cera), ATTA, 5, 7-11. Roma: L'Erma di Bretschneider.

Sterpos D. 1971. *La route romaine en Italie*. Quaderni di Autostrade, 17. Roma: Società Autostrade.

Note

1. Ad Appio Claudio si deve anche la realizzazione del primo acquedotto romano, che, come la strada, portò il suo nome, "*Aqua Appia*" e che captava l'acqua dell'Aniene e attraverso un condotto sotterraneo la portava a Roma, dove emergeva su arcate. Queste due opere sono menzionate nell'*Elogium* inciso su una lastra che era probabilmente posta sulla base di una statua eretta in onore del censore e che è stata ritrovata in frammenti nel foro di Augusto a Roma. (Humm, 2005, p. 6). Analogamente si esprime Livio (IX, 29, 5-6) ricordando che Appio Claudio costruì la strada e condusse l'acqua a Roma.
2. La conclusione della prima guerra punica (241 a. C.) aveva certamente evidenziato la necessità di collegamenti rapidi con i porti del bacino del Mediterraneo.
3. Il termine usato nell'*Elogium* citato alla nota 1 "*viam Appiam stravit*" vorrebbe forse suggerire che la strada fosse pavimentata
4. Due cippi cilindrici, che fiancheggiano l'ingresso al casale settecentesco di Mesa nella pianura pontina ricordano la lastricatura *(silice sua pecunia stravit*) realizzata da Traiano (CIL X, 6833 e 6835. (Quilici, 1989, pp. 14-15, fig. 9).
5. Nella descrizione che il poeta Stazio (*Silvae*, IV, 3, v.40-55) fa della costruzione della via Domitiana si fa riferimento alla sovrapposizione di più strati: la profonda trincea corrispondente al tracciato stradale fu riempita con strati successivi di pietre, ciottoli e sabbia di composizione diversa (Chevallier, 1972, pp. 89-90).

6. Tale teoria è stata formulata da Nicolas Bergier agli inizi del XVII secolo in via ipotetica sulla base di un collegamento analogico tra la parola francese *pavé* (lastricato) e il termine vitruviano *pavimentum* (Chevallier, 1972, pp. 93-94). Un sondaggio eseguito dall'ing. Fustier (Sterpos,1971, p.26), sulla via Appia a km 4,5 da Itri ha evidenziato sotto la pavimentazione in basalto uno strato di ciottoli calcarei sovrapposto a uno strato di sabbia.
7. Nell'*Elogium* di Appio Claudio (cfr. nota 1) si usa il termine "*stravit*" in riferimento alla costruzione della strada, mentre Livio (IX, 29, 6), a sua volta, nell'attribuire la realizzazione della strada al censore, usa il verbo "*munire*". Si parla, dunque, di un'opera ben strutturata.
8. La *lex Sempronia viaria* promulgata nel 123 a.C. da C. Gracco ne dispose la installazione, ma probabilmente regolamentò quanto era già in uso.
9. La fonte letteraria più nota per l'Appia, e anche la più colorita e ricca di aneddoti, resta la satira V del I libro di Orazio, nella quale il poeta narra il viaggio che compì nel 37 a. C. per accompagnare Mecenate diretto in missione in Grecia. La prima parte del tragitto, da Roma a Benevento, si svolse lungo l'Appia per poi proseguire lungo la via costiera apula.
10. Il *Falernum* ha il primato nella classifica di Plinio, *N.H*., XIV, 62
11. Questa in realtà fu la caratteristica di tutte le strade a lungo percorso realizzate dopo l'Appia e che composero il grande sistema viario romano. Dell'Appia si ricorda, ad esempio, il rettifilo che arriva a Terracina dopo aver attraversato la pianura pontina, quello da Sinuessa a Capua oppure il lunghissimo rettifilo che dopo Venosa prosegue per Taranto passando per Gravina di Puglia e che si è conservato con il nome di tratturo tarantino.
12. L'attuale ponte sul Garigliano, posizionato poco a monte dei resti del ponte romano, ha anch'esso valore storico perché è stato il primo esempio di ponte sospeso realizzato con una ardita struttura in ferro. Inaugurato da Ferdinando di Borbone nel 1832, fu bombardato durante la seconda guerra mondiale ed è stato ricostruito nel 1998 (Galliazzo, 1972, p. 82).
13. Galliazzo ritiene che nella maestria con cui sono state realizzate le agili pile e i diversi piani di imposta degli archi si debba riconoscere l'abilità degli architetti di età traianea (Galliazzo, 1994, p. 120). Quilici (1989, pp. 38-39), attribuisce il ponte all'età augustea.
14. Robert Gardner, giovane borsista della *British School at Rome*, e Thomas Ashby, anch'egli studente, intrapresero nel 1913 un viaggio lungo l'Appia da Benevento a Brindisi documentando le loro perlustrazioni con una splendida e preziosissima rassegna fotografica ora conservata negli archivi dell'Accademia Britannica e in parte edita nei loro studi.
15. Galiazzo ritiene che il viadotto abbia avuto rifacimenti significativi in età augustea (Galliazzo, 1994, pp. 53-54).
16. Uno scavo effettuato nel 1813 nel tratto pontino dell'Appia ha consentito di ricavare alcune sezioni della strada (Sterpos, 1971, pp. 28-29).
17. Orazio con i suoi compagni di viaggio (V, 3-23) sceglie l'alternativa del canale, percorrendolo in barca e ne fa un racconto vivacissimo.

Pier Gabriele Molari, Rosanna Di Battista

Le scale impiegate nell'arte bellica per superare le mura nemiche: dai Romani al Rinascimento

Abstract
In antiquity, as documented in the Chronicles, the stairs played a fundamental role in the assault of the enemy walls. They were built on site with material found there, resistant and easy to work. Even the Roman army, while possessing other weapons, such as: rams, Greek fire, towers and mobile platforms, used the stairs in the assault of enemy walls such as those documented by Apollodorus. The use of stairs remained unaffected for a long period of time until the advent of mines and mines launched made this weapon suddenly obsolete. After reviewing the various types of stairs, based on the classification of Valturio, the evolution from simple weapon to self-assembling machine was discussed. The indications of Vegetius and Apollodorus on how to size the stairs were taken up and compared, widening them to take into account the structure's own resistance capacity. A design graph shows the number of armies that can rise one after the other according to the diameter of the shaft from which to take the leg loops and the length of the ladder.

Il fondamentale impiego delle scale nella strategia bellica antica

La scalata delle mura nemiche era un passaggio obbligato per espugnare le città fortificate. Un ruolo importante è stato quello delle scale per la semplicità di costruzione, la facilità di trasporto ed il rapido posizionamento.

Dalle Cronache è possibile desumere l'importanza ed il funzionamento di questo strumento. La scala come mezzo per l'ascesa al cielo la si trova già nella Bibbia (Gen 28, 10-12), nella descrizione del sogno di Giacobbe rappresentato da Raffaello nella stanza di Eliodoro nei Musei Vaticani.

Tralasciando, come dice Valturio, che cita Sallustio, se scala sia un vocabolo plurale o singolare, è sufficiente leggere qualche pagina, e ce ne sono tante, degli Stratagemmi di Polyaenus Macedo (Polieno, 1821), del secondo secolo, per rendersi conto del ruolo fondamentale che avevano le scale per assalire e sottomettere le città nemiche, nella strategia bellica dell'antichità. Le scale venivano impiegate anche per fuggire dalle torri e dalle città assediate o, ritirandole, per costringere i soldati a combattere sulle mura e non ritirarsi. L'impiego delle scale è decisivo per la presa delle città, come nel caso della conquista di Siracusa da parte di Marcello.

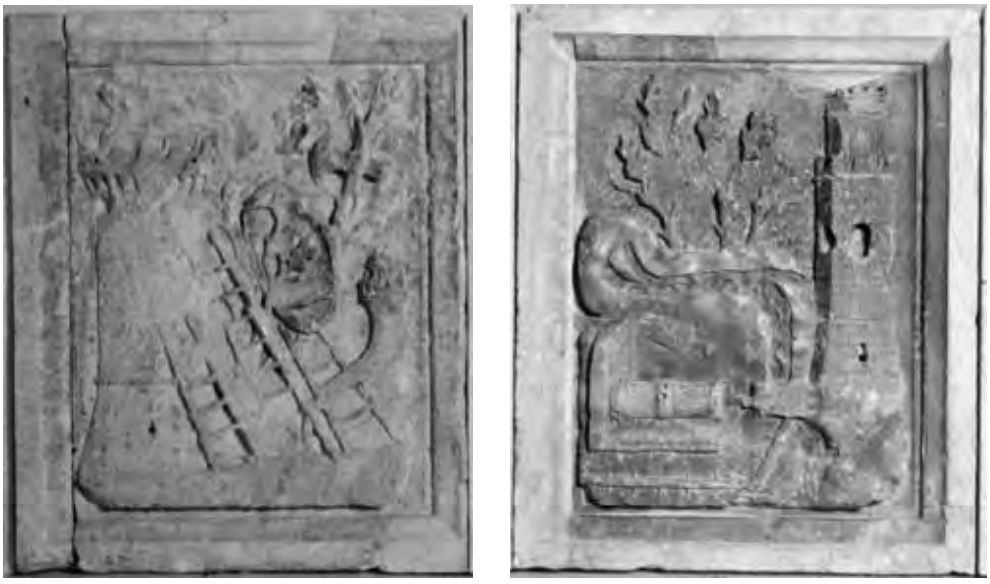


Fig. 1 – Le formelle, già sulla facciata del palazzo ducale di Urbino, celebrano la battaglia ingaggiata sulla torre dell'oro e la presa a Napoli di Castel Nuovo nel 1495, che rese obsolete le scale, raffigurate spezzate in basso (da Di Battista 2011).

Le scale vennero impiegate fino poco prima che la mina lanciata cambiasse totalmente la strategia bellica. Una bellissima cronaca napoletana del 1495, attribuita al Ferraiolo (Filangieri), narra che mentre si caricavano le bombarde e mentre i Francesi impiegavano addirittura le palle di ferro, gli Aragonesi impiegarono 12 scale in una impresa disperata per assalire Castel Nuovo, senza tuttavia riuscire nell'intento. La conquista del Castello fu possibile solo con il genio di Francesco di Giorgio, al soldo del Duca di Urbino, che riuscì ad abbattere una parte del castello lanciando un grosso quantitativo di polvere da sparo con una bombarda (Di Battista et al. 2011). Questo episodio è descritto in modo epico in un bassorilievo su una formella che si trovava sulla facciata del Palazzo ducale di Urbino e che qui è riportata in Figura 1 (Molari e Molari, 2006).

Descrizione delle scale semplici e delle pertiche e loro classificazione

Per prendere in esame le diverse soluzioni per le scale messe a punto nel corso dei secoli, è possibile fare riferimento ai disegni presenti nel trattato di arte militare pubblicato da Roberto Valturio nel 1472, tradotto poi dal Ramusio (Valturio-Ramusio 1483), nei quali compaiono ben diciotto tipi diversi di scale. In quell'epoca, infatti, l'uso di queste macchine semplici era ancora efficace e di fatto non aveva subito grosse trasformazioni rispetto all'antichità.

In Figura 2 sono riportate le immagini che Valturio fornisce nel decimo capitolo. L'assemblaggio della scala A, raffigurata sulla parte sinistra dell'incisione, è ottenuto sovrapponendo moduli, costituiti da un albero centrale, a pioli passanti, giuntabili fra loro mediante una filettatura conica, secondo una soluzione moderna oggi utilizzata nei tubi delle trivellazioni che raggiungono anche grande profondità.

La scala B a cosciali o spalanche che si aprono con possibilità di rotazione attorno al cosciale di destra, ha la peculiarità di essere composta da due parti, come evidenziano gli scalini apribili quando i montanti vengono fra loro divaricati ed è rastremata verso l'alto per dare maggiore stabilità alla parte a contatto con il terreno; uno dei due montati, più alto dell'altro, termina con parti appuntite attorno alle quali la scala può ruotare, mentre l'altro, più basso, ha una sezione alla base da sacrificare al termine della scalata o, in caso di necessità, per proteggersi al di sotto del montante principale. L'immagine mostra come salire superando le mura e passando attraverso la merlatura.

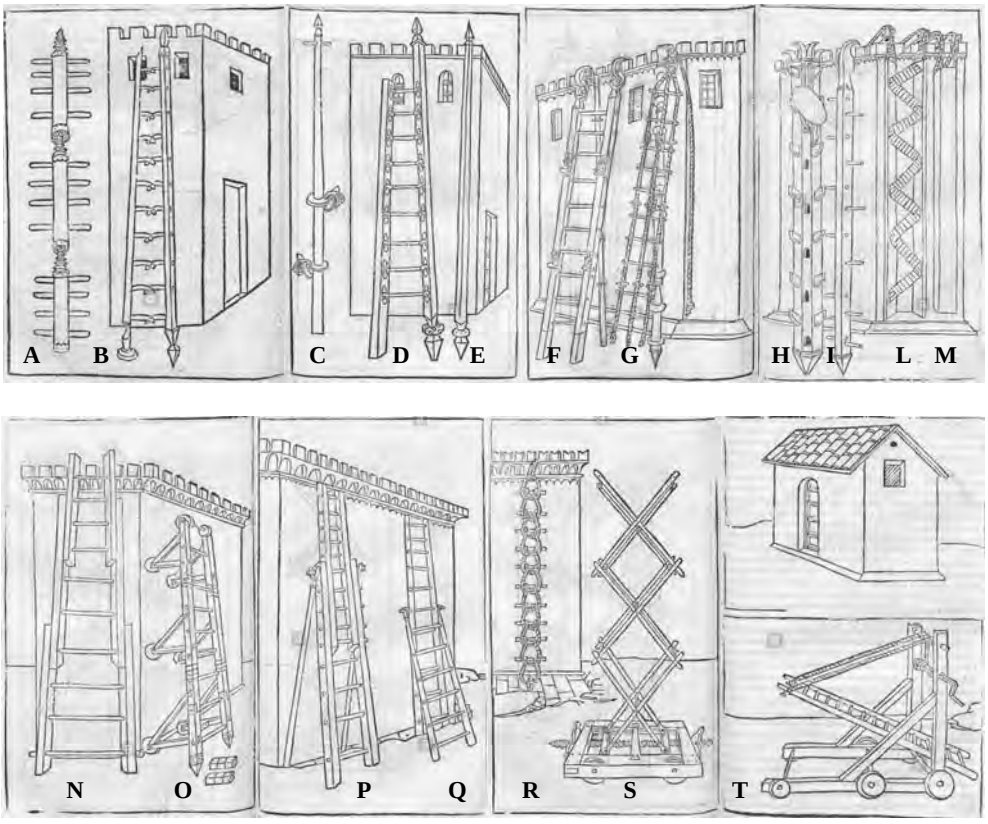


Fig. 2 – I vari tipi di scale elencate da Valturio (1483). Le lettere indicano il riferimento al testo.

La C è una pertica con palo a sezione circolare, è dotata di arpioni ad attrito e la rotazione è impedita alla sommità con un traverso.

La D è analoga alla B, ma con gradini incernierati sui montati.

La E è una pertica con estremità a punta e a sezione quadra. Le altre immagini sono riferite a scale che vengono ancorate con ramponi dalla sommità delle mura.

La F, a segmenti innestabili l'uno sull'altro con ramponi terminali è composta da elementi rigidi bloccati con catenacci fra loro, va issata e fissata alle mura con ramponi fissati a un traverso attraverso una lunga asta di corredo.

La G, sospesa a segmenti di fune giuntabili, con fune per il lancio dell'arpione, è una pertica a più sezioni sovrapposte che si aggancia alla sommità delle mura e che permette di issare una scala di corda pure a segmenti componibili e giuntabili con l'interposizione di un cavicchio.

La scala H, per salite in parallelo, dotata di scalini a pioli sporgenti e con recessi con ancoraggio dall'alto o piantaggio in basso, è adatta a più attaccanti che possono salire contemporaneamente con una tecnica che si potrebbe definire da arrampicata, impiegando sporgenze e recessi per l'appoggio dei piedi, anche la scala I a scalini a pioli sporgenti con ancoraggio in alto con possibilità di piantaggio in basso, è dotata di una unica asta centrale ancorata in alto e con pioli sfalsati sporgenti. Ancora sono rappresentate due differenti scale per scendere, protette, e ancorate a mensole sporgenti dall'alto, la L con nastro a elica, la M con vano interno completamente chiuso: una specie di tubo a sezione quadra.

La rapidità di montaggio e la possibilità di fare salire più soldati uno di seguito all'altro imposero macchine sempre più raffinate, quale la scala N a più segmenti innestabili, rastremati, che si incastrano scorrendo internamente l'uno sul precedente; il soldato sale e, alla fine di ogni segmento, inserisce dall'alto il segmento successivo aiutandosi con gli arti inferiori a scostare la scala dal muro o facendo scorrere la parte interna. Anche la scala O è a segmenti giuntabili, ognuno dei quali dotato di ruote per farlo scorrere più rapidamente sulla parete; questa scala può sopportare grandi carichi perché costruita con numerosi *rompitratte che ne limitano la luce libera*. La P e la Q sono esempi di scale a libretto che ancora oggi vediamo nelle nostre case, la prima con un cavalletto rigido posteriore e scala sfilabile, la seconda con una prima parte, dotata di pioli, che funge da cavalletto anteriore sulla quale si fissa la scala che può venire alzata di un gradino alla volta e che sporgendo si appoggia agli ultimi gradini del cavalletto. La R è una scala a fune sospesa ad anelli di corda interallacciati attraverso un cavicchio che funge da piolo. Le ultime due scale S e T possono essere definite auto-montanti su telaio dotato di ruote e richiedono, una volta portata la macchina in posizione, l'uso di meccanismi per distenderle; nella prima un telaio a forbice, dove le cerniere fungono da gradini, viene aperto tramite un meccanismo a vite posto alla base, la seconda può essere portata in posizione anche all'interno di un riparo con un argano di sollevamento.

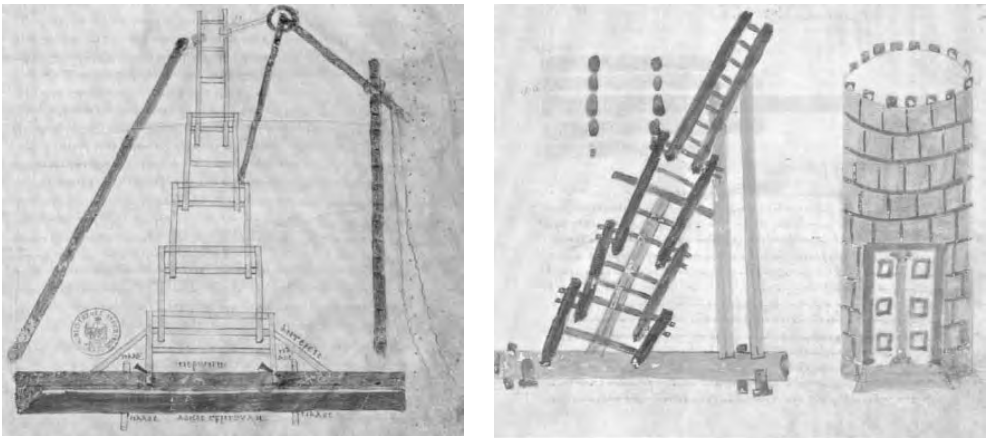


Fig. 3 – La scala di Apollodoro e le modalità di montaggio (da La Regina, 1999).

Valturio non cita la scala descritta (cfr. Appendice) da Apollodoro, in Figura 3, (La Regina, 1999), scala che diventa essenziale non solo per scalare le mura ma anche per innalzare piattaforme e calare passerelle per invadere le mura dall'alto, per costruire punti su fiumi, per sostenere arieti e per costruire piattaforme aeree, in modo da osservare dall'alto il campo di battaglia.

Questa scala appare di grande modernità, in quanto del tutto simile alla scala detta *alla romana* o *alla festaiola*, in dotazione fino a poco tempo fa ai vigili del fuoco. È costituita da più elementi, tutti della lunghezza di 12 piedi (3,5 m), che si uniscono sovrapponendo in qualche modo l'estremità della parte bassa con l'inizio della parte sovrastante. Il posizionamento viene fatto ruotando la parte da aggiungere alla parte sottostante. La scala di Apollodoro ha le estremità, come anche alcuni scalini, rivestite in lamiera di ferro, come nelle scale moderne, ma ha anche un irrigidimento, sempre in lamiera di ferro, lungo i montanti che ne aumenta ovviamente la stabilità. La scala può ruotare sulla base ed essere addossata alle mura solo dopo essere stata montata; questa manovra necessita di una particolare attrezzatura che viene impiegata anche per il montaggio: è costituita da tre o quattro lunghe aste dotate di funi e rinvii, una davanti ed una dietro la scala e anche di una terza asta che fa perno in un punto del cosciale, che serve da puntone per il sollevamento dei segmenti da montare. Una volta montata la scala, queste aste vengono impiegate per farla ruotare sulla base e anche per controventarla lateralmente e fungere da sostegno rompitratta per il carico di punta.

Dello stesso periodo di Valturio sono le scale di Francesco di Giorgio, tutte carrellate e automontate. Di Giorgio (1967) non tratta il loro dimensionamento ma solo il tipo, soffermandosi invece in modo dettagliato su quale debba essere il profilo dei torrioni

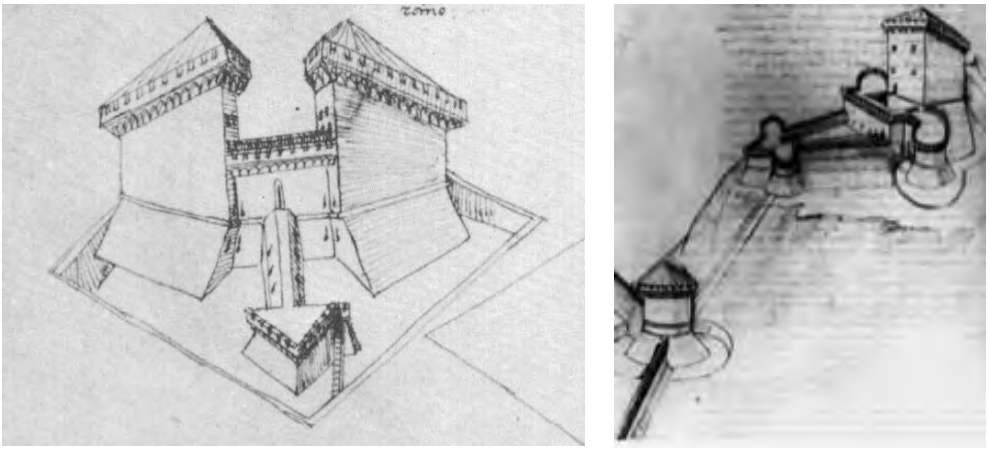


Fig. 4 – Tipica forma del profilo delle mura secondo Francesco di Giorgio con scarpa alla base, cordolo e aggetti superiori con caditoie e merli (da Francesco di Giorgio, 1967).

e delle mura perché non possano essere conquistati con scale, in Figura 4 (Francesco di Giorgio, 1967):

> *"tutte le scale per ogni piccolo peso bisogna che si fiacchino per la distanzia che è dalla scala al muro; facciansi adunque oltra di questo li torroni con quelle condizioni di scarpe, beccatelli, parapetto e merli …. Et oltre a questo si può fare altri recinti di gole e mezzi tondi con altri bastoni proporzionati alla grandezza del torrone. Dopo questo alcuni tondi colmi overo convessi. E per contrario riverse curve o concave gole utili assai al medesimo fine. Similmente per resistere alli scalamenti si può fare la scarpa del torrone volta a semicirculo, per la qual figura le scale non potendosi accostare al[la sommità del] torrone [o mura] senza molto discortarsi da quelle, bisogna che le scale [infine] per ogni piccolo peso si fiacchi<no>".*

Emerge chiaramente lo stile tipico di Francesco di Giorgio che è quello di trattare soprattutto della difesa passiva rispetto all'assalitore e di, oggi diremmo, modernizzare il più possibile l'esercito con macchine come quelle mostrate in Figura 5, adatte a un esercito di professionisti e non di soldati mandati allo sbaraglio.

Alcune di queste macchine vengono poi celebrate per il loro alto contenuto di pensiero anche nelle formelle che ornavano il palazzo ducale di Urbino, come mostrato in Figura 6.

In epoca più moderna si è cercato un dimensionamento razionale delle scale impiegate soprattutto per emergenze dai pompieri, come testimoniato da un libretto per

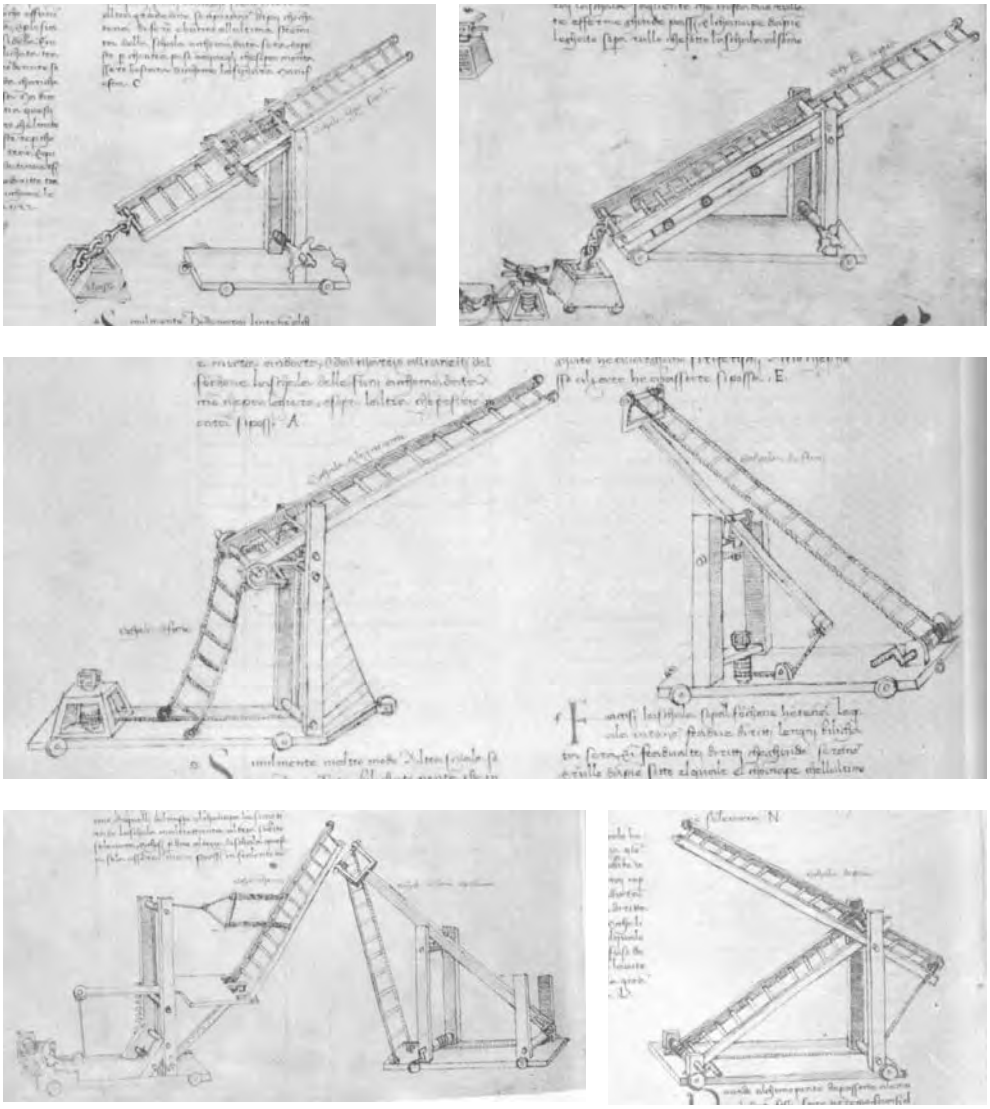


Fig. 5 – Le scale, tutte carrellate, di Francesco di Giorgio (da Francesco di Giorgio, 1967).

il loro dimensionamento (De Magistris, 1895). Sono descritte scale a più segmenti del tipo N descritto da Apollodoro e da Valturio, ma razionalizzato da un segmento di piede particolare con larghezza interna fra i cosciali al piede di 48 cm, che si rastrema in alto con luce di 28 cm e con segmenti di diverse lunghezze, ma sempre con luce di 38 cm alla base e di 28 cm in alto. La luce fra i gradini era fissata in 30 cm, i

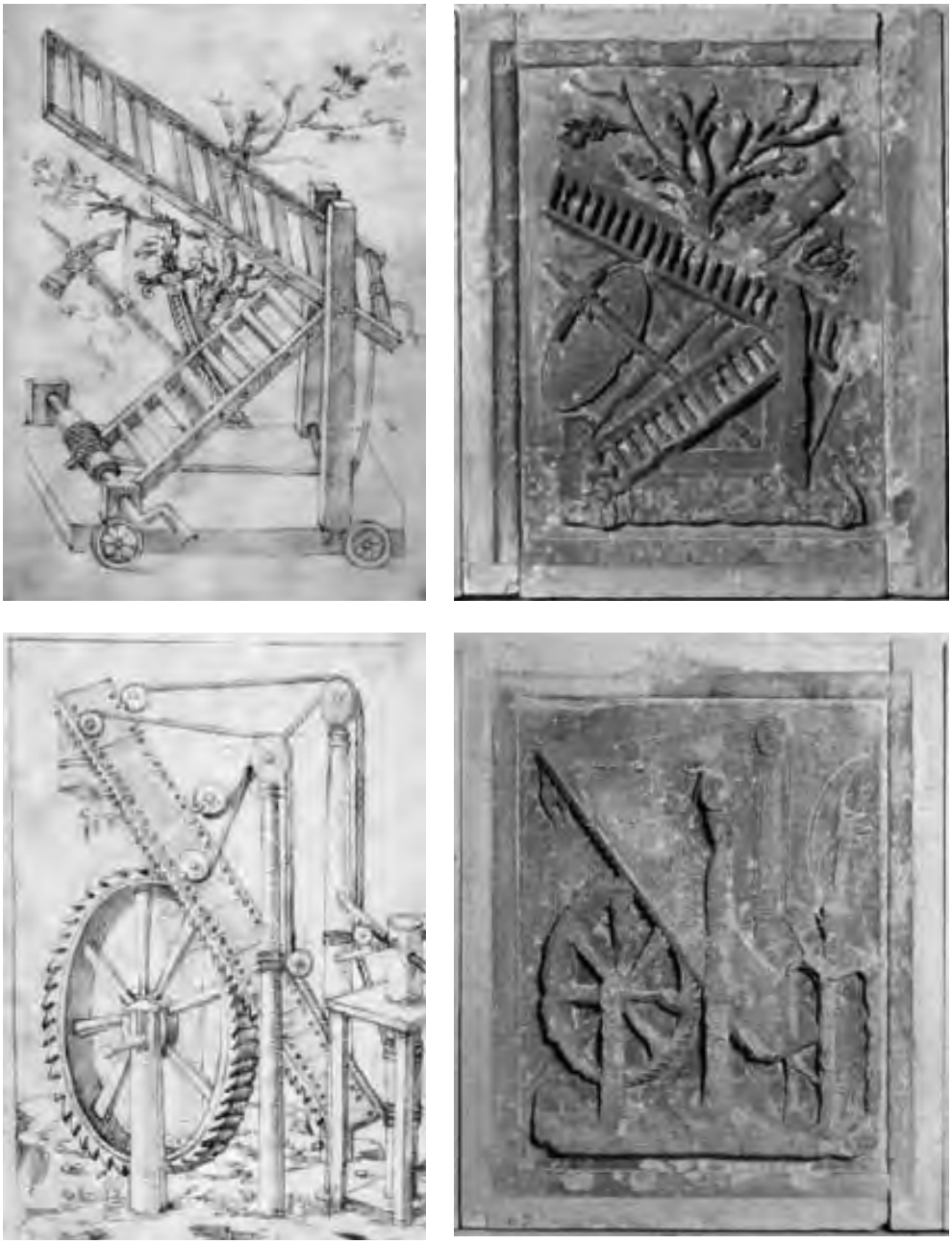


Fig. 6 – Scale automontati secondo Francesco di Giorgio, celebrate nelle formelle del palazzo ducale di Urbino. In alto: tipo T a più segmenti; in basso: tipo S con scala sospesa da telaio fisso con ruota dentata per farla scorrere (da Francesco di Giorgio, 1967).

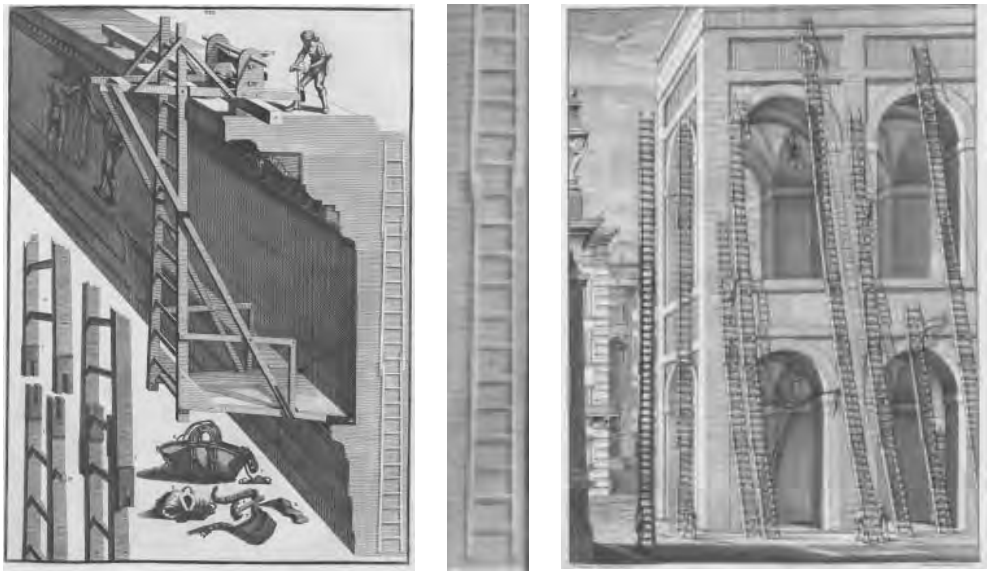


Fig. 7 – La scala alla romana o alla festaiola.

cosciali avevano sezione 6 · 8,5 cm e gli scalini avevano sezione 2 · 4 cm, l'innesto era fatto come in Figura 7, innestando le estremità che venivano ricoperte da lamiera in orecchie sporgenti di 8 cm. I cosciali erano realizzati in pioppo e i gradini in olmo. Queste scale raggiungevano altezze elevatissime: dai 23 m senza rompitratte fino anche a 30 m con controventi (chiamati *ventole e briglie*); spesso veniva impiegata una fune tesa a cavallo dei singoli scalini che aveva il ruolo di compattare la scala e di irrigidirla nel piano perpendicolare al suo piano, come si può vedere nell'opuscolo dei pompieri di Spoleto [1].

Il dimensionamento delle scale

Per l'altezza sempre più imponente delle mura, è importante un corretto dimensionamento delle scale. Polibio riporta che molte scale si rompevano data l'altezza delle mura e il carico che dovevano sostenere. In particolare nel *Le storie* scrive di quando Scipione attacca le mura Cartaginesi (anno di Roma 545):

> *"Fattisi adunque i primi arditamente a salir le scale, non tanto la moltitudine de' difensori rendea pericoloso l'assalto, quanto l'altezza delle mura: quindi i difensori, veggendo la difficoltà del caso, vieppiù inanimivansi. Imperciocchè alcune scale rompevansi, su cui, per essere grandi, molti insieme salivano; sovra le altre per cagione dell'altezza erano colti da vertigine i primi che vi*

ascendevano, i quali, per poco che resistevano quelli delle mura, gittavano giù sé stessi. Quando poi lanciavano dai merli travi o altre cose simili, tutti insieme eran giù tratti e stramazzavan al suolo. Tuttavia a malgrado di queste contrarietà nulla poté rattener la furia e l'impeto de' Romani; ma appena caduti i primi, occupavan i vicini il posto vacante. Essendo pertanto il giorno già innoltrato, ed i soldati stracchi dai patimenti, il capitano fece suonar a raccolta. (Polibio, 1827)

Così Vegezio si pone il problema di insegnare come dimensionare le scale:

"Per ciò che concerne la proporzione delle scale, dovrà la faccenda in questo modo considerarsi. Se alcuno di quelli che operano teco d'accordo, ti dà l'altezza del muro, manifesta si rende l'altezza delle scale. Essendo, per figura, l'altezza del muro come dieci, converrà che quello delle scale sia come dodici abbondanti. E la distanza della scala dal muro ragguagliata col numero di quelli che vi salgono, dovrà essere la metà della sua lunghezza, affinchè, ove sia troppo discosta, non rompasi facilmente per la moltitudine della gente che monta, né appoggiata soverchiamente ritta ponga chi ascende in pericolo di precipitare. Che se possibil non è di misurare il muro e di avvicinarsi, prendasi in distanza l'altezza di qualsivoglia oggetto, che sta a perpendicolo sul piano che hassi davanti. Il qual modo di misurare possibil riesce e facile a chi vuol applicarsi alle matematiche".

Quindi da quanto scritto da Vegezio la lunghezza delle scale, L, deve superare del 20% l'altezza delle mura, H, e le scale devono essere posizionate ad una distanza dal muro pari alla metà della lunghezza della scala, vale a dire con un angolo alla base pari a:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{H}{L/2}\right) = \arctan\left(\frac{H}{1{,}2\ H/2}\right) = 59° \tag{1}$$

la scala sopravanza in verticale le mura di :

$$h = L \sin(59°) - H = [1{,}2 \sin(59°) - 1]\ H = 0{,}029\ H \tag{2}$$

cioè del 2,9 %.

Mentre, appoggiandosi ai dettami di Apollodoro, per il quale la lunghezza della scala dovesse oltrepassare di almeno 3 piedi il bordo del muro, e seguendo la posizione data da Vegezio, con le lunghezze in piedi romani si ottiene:

$$L = \frac{H}{\sin(59°)} + 3 \tag{3}$$

che Cascarino (2008) approssima a:

$$L = 1{,}15\ H + 3$$

mentre la scala sopravanza in verticale le mura di un valore fisso:

$$h = 3 \sin(59°) = 2{,}57 \text{ piedi} = 0{,}76 \text{ metri}$$

Non ci sono dati sul dimensionamento delle aste e dei pioli. Per quanto riguarda i materiali, Apollodoro prescriveva che le scale dovessero essere realizzate in frassino, faggio, olmo o altro tipo di legno leggero e componibili, con segmenti non più lunghi di 12 piedi (3,6 m); prescriveva anche che l'estremità inferiore andava assicurata a una trave a sezione circolare, lunga 15 piedi (4,4 m), per evitare uno scivolamento laterale della scala (Cascarino, 2008).

Considerando che le mura di Roma fossero fino al IV secolo alte 6÷8 metri per essere poi raddoppiate in altezza da Onorio (Coarelli, 2008) e che le dimensioni del muro di cinta di Bisanzio sono indicate da Procopio in 9,4 metri di altezza (con 2,3 m di spessore murario), si possono ottenere con i due metodi consigliati da Vegezio e da Apollodoro i dati per queste mura. I valori, con l'ipotesi di tenere lo stesso angolo di inclinazione, sono molto simili (Tabelle 1 e 2), si discostano per il valore della sporgenza in verticale che sembra molto basso in Vegezio soprattutto se si pensa alle difficoltà di appoggio che può trovare l'attaccante nel lasciare la scala.

Tab. 1 – Valori della lunghezza della scala, L, e del sopravanzo in verticale del muro, h, in funzione dell'altezza del muro, H, (in metri e in piedi) secondo Vegezio

H		L		h	
[m]	[p]	[m]	[p]	[m]	[p]
8	27	9,6	32,4	0,23	0,77
16	54	19,2	64,8	0,46	1,54
9,4	32	11,3	38,4	0,26	0,92

Tab. 2 – Valori della lunghezza della scala, L, e del sopravanzo in verticale del muro, h, in funzione dell'altezza del muro, H, (in metri e in piedi) secondo Apollodoro

H		L		h	
[m]	[p]	[m]	[p]	[m]	[p]
8	27	10,2	34,5	0,76	2,6
16	54	19,6	66	0,76	2,6
9,4	32	11,9	40,3	0,76	2,6

Tab. 3 – Valori della altezza H della mura che possono essere superate in funzione della lunghezza L della scala costruita con 3 o 4 segmenti di 12 piedi ciscuno (per uniformità si mantiene lo stesso ordine delle tabelle precedenti)

H		L		h	
[m]	[p]	[m]	[p]	[m]	[p]
8,4	28,3	10,7	36	0,76	2,6
11,4	38,6	14,2	48	0,76	2,6

Apollodoro fornisce le dimensioni della trave che funge da cerniera di base che deve essere spessa da mezzo piede (0,148 m) a 12 pollici (0,222 m) e lunga 15 piedi (3,5 m) e che va intrappolata con caviglie al terreno, appunto per permettere la rotazione di tutta la scala. Apollodoro scrive di tre, quattro o più segmenti, quindi c'era la possibilità di raggiungere lunghezze della scala da 12 · 3 piedi a 12 · 4 piedi (da 10,7 m a 14,2 m), che con la pendenza della scala pari a 59° alla base, che è quella dell'esempio precedente, permette di scalare mura la cui altezza e il cui sopravanzo, in piedi, sono dati rispettivamente, dalla (3) e dalla (2):

$$H = (L - 3)\sin(59°); \qquad h = \sin(59°)$$

Si può quindi cercare di calcolare scale che dovevano sostenere più soldati equipaggiati che salivano contemporaneamente. Mantenendo l'angolo alla base di 59°, che, si ricorda, è quello consigliato da Vegezio per non essere disarcionati e per superare cordoli e sporgenze delle mura e non quello con il quale si impiega la scala moderna, valutato intorno a 83° (De Magistris), si verifica che con l'angolo consigliato da Vegezio la scala detta Romana non può resistere. Immedesimandosi quindi nella necessità di realizzare una scala segando a metà per la lunghezza un tronco di diametro (costante) in modo da ottenere i due cosciali, che n persone salgano sulla scala, pesando ciascuna 70 kg caricata con un equipaggiamento di 30 kg, si può costruire un grafico supponendo che per problemi di stabilità la freccia totale della struttura non possa superare 1/300 della lunghezza della scala (De Magistris, 1895).

Considerando, in prima approssimazione, di trascurare il sopravanzo, di tenere conto di un carico uniformemente distribuito con scala inclinata sulla orizzontale di 59° avente pioli distanti fra loro almeno 35 cm e supponendo che il legno abbia un modulo elastico a flessione di 10 KN/mm^2, usando le note espressioni delle travi appoggiate:

$$f = \frac{5}{384}\frac{q\,L^4}{E\,J\cos(\alpha)}\ ;\quad f \le \frac{L}{300}\ ;\ J = \frac{\pi}{64}d^4\ ;\ q = 100\ 9{,}81\ n;\ L > 350\ n \qquad (4)$$

si ottiene, il grafico riportato in Figura 8, dal quale si può vedere che usando un tronco del diametro di 150 mm per una scala di 8 metri senza rompitratte si possono

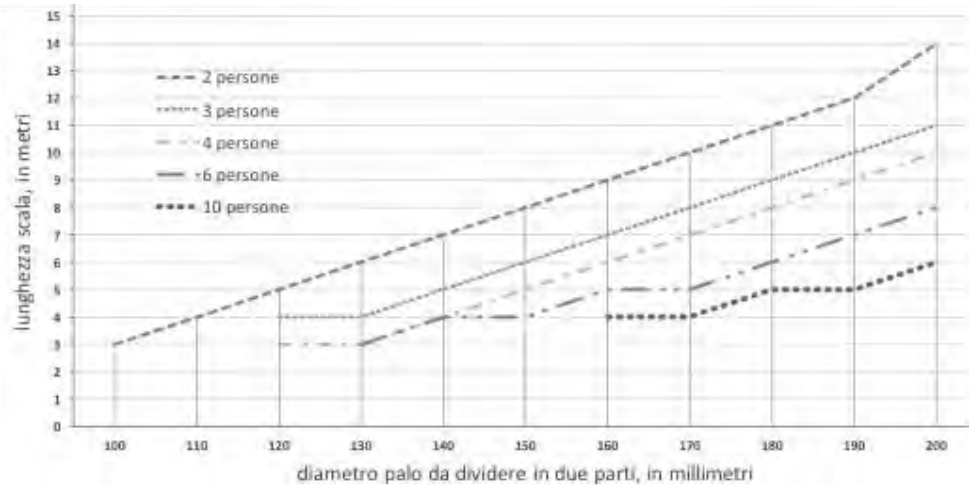


Fig. 8 – Numero massimo di persone sulla scala in funzione del diametro del palo e della lunghezza della scala.

fare salire contemporaneamente solo 2 soldati, mentre con un diametro di 170 mm è possibile far salire 3 persone.

Conclusioni

Affermato il ruolo fondamentale che le scale hanno giocato nell'assalto delle mura nemiche, viene considerato il passaggio da semplici armi (costruite con materiale reperito in loco, resistente e facile da lavorare) a soluzioni più tecnologiche, con accorgimenti non banali, come i modelli messi a punto da Apollodoro di Damasco, nonostante all'epoca l'esercito romano disponesse di altri mezzi per assaltare le mura come arieti, fuoco greco, torri e piattaforme mobili. La tipologia, rimasta invariata fino a XV sec., diventò obsoleta a causa delle mine esplose in galleria e delle mine lanciate, capaci di sgretolare le mura. Le diverse tipologie di scale, esaminate attraverso una sorta di "tassonomia" fornita da Valturio, mostrano la necessità di prendere in considerazione una serie di variabili. Dati interessanti sono emersi mettendo a confronto la progettazione estemporanea delle scale d'assalto-considerando anche la costruzione eseguita con moduli giuntabili- partendo dall'altezza delle mura da superare, sia all'epoca di Apollodoro, sia all'epoca di Vegezio. Infine, attraverso un grafico semplificativo, è stato possibile ottenere un aiuto concreto per valutare quanti uomini armati far salire, l'uno dopo l'altro, tenendo conto della deformabilità della scala secondo le indicazioni impiegate nel dimensionamento delle scale moderne.

Ringraziamenti

Si ringrazia la redazione del Convegno per l'accurata revisione del lavoro.

Bibliografia

Cascarino G. 2008. *L'esercito Romano*. Rimini: Il Cerchio.
Coarelli F. 2008. *Roma*. Roma: Laterza.
De Magistris E. 1895. *Scala Romana*. Roma: Tipografia dell'Unione Cooperativa.
Di Battista R., Molari L., Molari P.G. 2011.The first launching of a mine: Francesco di Giorgio and the capture of Castel Nuovo. In: *Reconstructing Francesco di Giorgio Architect* (B. Hub, A. Pollali eds.). Frankfurt: Peter Lang.
Francesco di Giorgio. 1967. *Trattati di architettura ingegneria e arte militare* (a cura di C. Maltese). Milano: Polifilo.
Filangieri R. 1956. *Una cronaca napoletana figurata del quattrocento*. Napoli: L'arte Tipografica.
La Regina A. (a cura di). 1999. *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco*. –Milano: Electa.
Molari L., Molari P.G. 2006. *Il trionfo dell'ingegneria nel fregio del palazzo ducale d'Urbino*. Pisa: ETS.
Polibio. 1827. *Le Storie di Polibio da Megalopoli volgarizzate sul testo greco dello Schweighauser e corredate di note dal dottor I. Kohen da Trieste*. IV. Milano: Coi tipi de' Fratelli Sonzogno e P. Andrea Molina
Polieno. 1821. *Gli stratagemmi* (traduzione di L. Carani). Milano: dalla tipografia di Gio. Battista Sonzogno.
Valturio (a cura di Paolo Ramusio). 1483, *De Re Militari*, Verona: Bonino Bonini
Vegezio Flavio (a cura di Di Bono Giamboni). 1815, *Dell'arte della guerra libri I*V. Firenze: Morenige.

Webgrafia

[1] http://www.anvvfperugia.it/il-museo/la-scala-romana/

Appendice: Le scale secondo Apollodoro (La Regina, 1999)

Considerazione generale - Rispetto alle macchine descritte prima, le scale sono più maneggevoli, fatte con materiale facile da reperire e da lavorare, facili da usare e riparare; però sono più pericolose e completamente in potere dei difensori delle mura, i quali non solo possono facilmente prendere queste, ma anche coloro che le usano; infatti, quando sono appoggiate alle mura, possono essere tirate su o spinte o frantumate o, infine, non è per niente concesso lo stesso loro appoggio. I soldati che vi salgono sono in pericolo, esposti come sono ai tiri dall'inizio fino alla fine; essi sono lasciati salire per tutta quanta, o quasi, la scala, per poi essere spinti e cadere giù con questa da una notevole altezza; inoltre sono lanciati dei massi a quelli che si appressano alle mura, così da essere precipitati giù e neanche un solo mezzo di difesa é a disposizione di chi sta sempre più in basso rispetto ai nemici; per di più, mentre i nemici occupano in alto un posto stabile, i soldati, sotto, stanno su un›esile striscia di legno, il piolo della scala; e le loro stesse mani sono occupate a trattenersi alle scale. Per ciò siano progettate, in primo luogo, di un materiale facilmente reperibile e facile da lavorare e da trasportare e siano composte da piccole assi di legno, cosi da raggiungere e oltrepassare di non meno di 3 piedi le mura.

Federico Capriuoli, Francesco Colussi, Carlo Leggieri

Il paesaggio a nord di Neapolis: la necropoli ellenistica e l'acquedotto del Serino. Il racconto con le moderne tecnologie

Abstract
In the heart of Sanità, the extraordinary Hellenistic necropolis of Neapolis extends at the north of the mighty Greek walls. Carved in the tuff hills that crowned the ancient city, over time buried by powerful alluvial levels, it is an eloquent trace of identity and peculiar sign of belonging to Naples, the Graeca urbs. The research carried out so far has allowed us to collect a series of data that define the morphology of a particularly articulated ancient landscape, characterized by carved slopes overlooking the plateau extended to the imposing wall. A gate marked the beginning of the path that passed near the tombs and went up towards to the top of Capodimonte. The growing demand for use of the national cultural heritage requires the adoption of technologically advanced solutions, capable of optimizing enhancement policies, both quantitatively and qualitatively. Users, in fact, show an increasingly growing interest in information systems capable to involve tourists in experiential and cognitive paths focused on multisensory perceptive mechanisms, based on interactivity and active involvement. On the other hand, asset managers must be able to use IT tools to support decisions in order to implement increasingly efficient conservation strategies related to the value of the asset, as well as to seek the networking of cultural heritage of strategic importance to promote significant development processes on a national scale.

Introduzione
Nel cuore della Sanità, a nord delle mura greche, intagliata nelle colline tufacee che coronavano la città antica, nel tempo sepolta da potenti livelli alluvionali, si estende la necropoli ellenistica di Neapolis, la cui planimetria è riportata in Figura 1, eloquente traccia identitaria e peculiare segno di appartenenza di Napoli, la Graeca urbs. Le ricerche svolte sinora hanno permesso di raccogliere una messe di dati che restituiscono la morfologia di un paesaggio antico particolarmente articolato, caratterizzato dalla monumentalizzazione dei pendii prospicienti il pianoro esteso fino alla murazione nella quale una porta segnava l'inizio del percorso che, lambendo i sepolcri, risaliva verso la sommità di Capodimonte. Quindi la definizione "valle dei morti", spesso utilizzata per indicare i luoghi, risulta inadeguata laddove la necropoli era disposta lungo una quinta scenografica, in Figura 2, articolata altimetrica-

Fig. 1 – Planimetria dell'area interessata: necropoli ellenistica e ponti-canale dell'acquedotto del Serino.

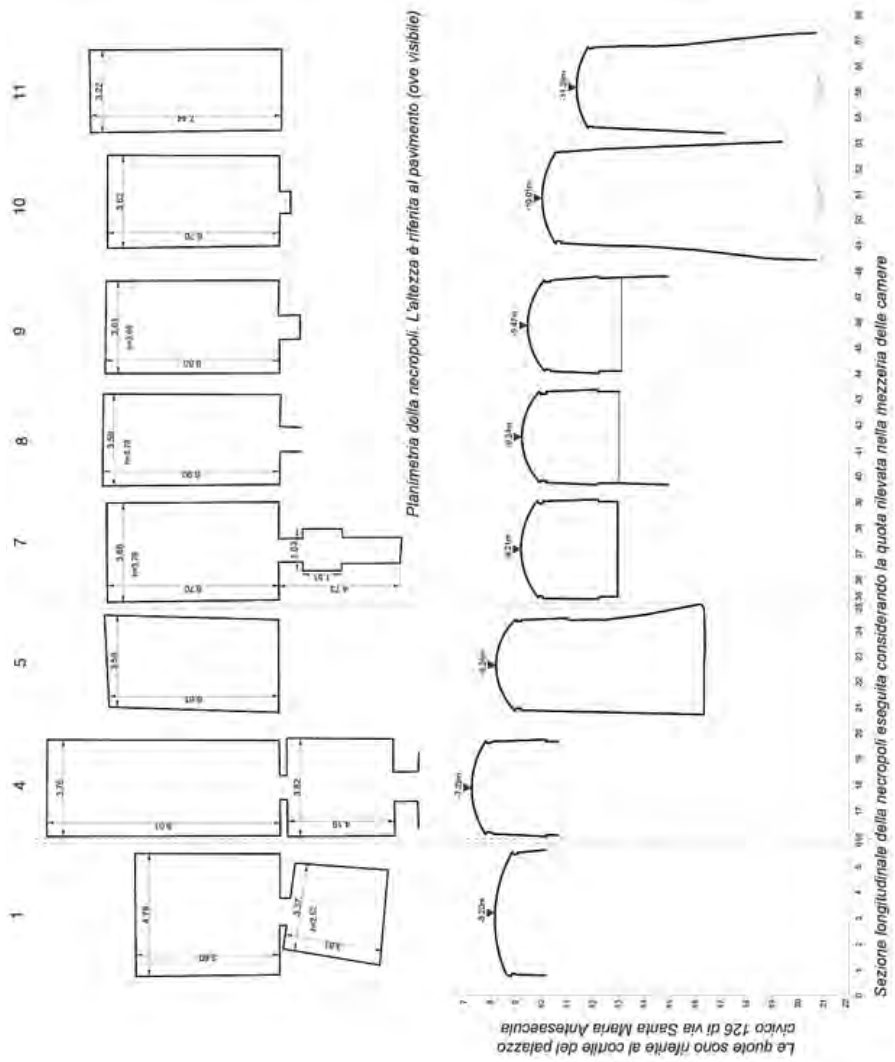


Fig. 2 – Planimetria delle camere indagate e sezione longitudinale del contesto. Si noti l'incremento della quota di volta verosimilmente da ricondurre all'acclività della strada in senso E-W.

mente a fasciare le colline. I monumenti, interamente intagliati nel banco tufaceo, mostrano prospetti di grande raffinatezza che richiamano architetture macedoni e che sono generalmente composti da due camere sovrapposte e sfalsate. Il vestibolo, camera superiore direttamente aperta sulla strada, assolveva a una funzione di riconoscibilità e ostentazione del censo del proprietario e della sua famiglia. Una scala aperta nel pavimento consentiva l'accesso alla camera funeraria inferiore, che ospitava i sarcofagi allineati lungo il perimetro. Quest'ultima, autentica camera ipogea, era sigillata verso l'esterno da porte in roccia che venivano aperte solo in concomitanza di nuove inumazioni. Le spettacolari strutture testimoniano il prestigio delle famiglie aristocratiche di IV sec. a.C., costituendo una sottolineatura autorevole dell'identità greca nella quale si riconosce Napoli. La piana antistante il fronte monumentale della necropoli fu attraversato in età augustea da un ponte canale dell'acquedotto che dalle sorgenti di Serino, in provincia di Avellino, trasportava l'acqua lungo circa cento chilometri, servendo una serie di città tra cui Napoli, per poi alimentare la Piscina Mirabile a Bacoli, riserva idrica per le necessità della Classe Praetoria Misenensis (Colussi e Leggieri, 2016; 2018).

Evoluzione storica del contesto

Dal II sec. d.C. il comprensorio fu interessato da un progressivo interramento, risultato di massicce alluvioni, che determinò la scomparsa della necropoli dalla memoria. Nella seconda metà del XVI secolo prese avvio una urbanizzazione tanto spontanea quanto compulsiva, che portò alla nascita del primo nucleo del borgo dei Vergini, in un contesto che mostrava ancora tutte le caratteristiche di un'area rurale. La necessità di costruire nuovi fabbricati diede avvio all'apertura di pozzi per l'estrazione della pietra di tufo. Spesso l'escavazione intersecava gli ipogei, ma l'opera dei cavatori, per nulla rallentata dai ritrovamenti, procedeva indisturbata. L'archeologia sarebbe nata solo un paio di secoli più tardi in Germania, ma l'interesse antiquariale già induceva a sottrarre dalle tombe quanto possibile, per poi procedere a sgomberare rapidamente gli ambienti dai materiali alluvionali presenti. Da quel momento il fronte di avanzamento della cava diveniva l'intera superficie pavimentale dell'ambiente violato. Lo scavo, pur rispettando il perimetro dell'antica camera, si spingeva verso il basso di diversi metri, stravolgendo completamente i rapporti dimensionali originari e terminando solo quando erano soddisfatte le necessità costruttive del palazzo soprastante. La cava così realizzata era un importante valore aggiunto per il fabbricato in quanto, una volta impermeabilizzatene le pareti con malta idraulica, diventava una capace cisterna a uso condominiale, serbatoio per le acque meteoriche raccolte dalle terrazze di copertura, che costituiva una preziosa riserva idrica cui attingere per soddisfare le quotidiane necessità domestiche, attraverso la canna di pozzo predisposta a servizio delle cucine disposte sulla verticale. La speciale destinazione d'uso preservò, conservandole anche se mutile, le importanti vestigia

antiche fino a quando l'epidemia di colera del 1884, imputata alla presenza di apporti fecali dell'acqua potabile, ne decretò l'inevitabile quanto rovinoso abbandono dovuto alla realizzazione dell'acquedotto in pressione. L'ultima fase di queste preesistenze è stata caratterizzata dalla scellerata pratica di scaricare in queste immense cavità migliaia di metri cubi di materiali di risulta prodotti dalle ristrutturazioni edili, destinandole così, di fatto, a discariche.

Via Santa Maria Antesaecula

Questo "frammento" della necropoli fu riscoperto a seguito delle verifiche strutturali disposte dal Comune di Napoli conseguenti il terremoto del 1980. Sotto le fondamenta del fabbricato sito in Via Santa Maria Antesaecula 126, furono individuati due monumenti denominati dei Togati e dei Melograni, numeri 1 e 4 in Figura 1.

Ipogeo dei Togati

L'ipogeo dei Togati è tagliato e coperto dal pavimento di un cantinato sottoposto alla strada di circa sei metri, accessibile da un terraneo attraverso una massiccia scala in pietra. Il vestibolo tagliato nella volta dall'azione dei cavamonte, notevolmente rimaneggiato, presenta sulla parete di fondo, intagliato nel banco tufaceo, un altorilievo con una scena di *fides* (commiato funebre) caratterizzato da due figure panneggiate affiancate, mostrate in Figura 3. Alla loro sinistra, asportata in epoca imprecisata, è leggibile la traccia di una pantera accovacciata che rimanda al culto di Dioniso. Si riconoscono, impostati su una trabeazione con superficie definita a finta roccia, una figura femminile con chitone e *himation* e una maschile che indossa la toga e calza i calcei. Purtroppo la parte superiore dell'altorilievo è coperta da un arco avente funzione di sottofondazione per l'edificio. La parete est, in parte distrutta, conserva un lacerto di decorazione in stucco con tracce di colore. Nella parete sud, parzialmente distrutta, si riconosce lo spigolo destro dell'ingresso. Due nicchiette, di dimensione diversa, realizzate successivamente, sono collocate nella parete ovest. Traccia dell'originario piano pavimentale in cocciopesto, è riconoscibile nell'angolo N-W all'intersezione con l'altorilievo.

Fig. 3 – Via Santa Maria Antesaecula. Ipogeo dei Togati, vestibolo: altorilievo con scena di fides.

La camera funeraria a pianta rettangolare è coperta da una volta a sesto ribassato che si stacca da una cornice a rilievo che corre perimetralmente. Suggestiva la concrezione calcarea formatasi sull'intradosso della volta, risultato dello stillicidio delle acque meteoriche che penetrano dalle commessure del basolato della strada sopra-

stante. Interrata per circa la metà dell'altezza, presenta tutti gli angoli, tranne quello S-E, sfondati dall'azione di tombaroli in cerca di suppellettili in tombe contigue.

Ipogeo dei Melograni

Sul lato sinistro del cortile del fabbricato, attraverso una scala articolata in tre rampanti, si raggiunge il vestibolo da uno sfondamento nell'angolo N-W. Sull'intero perimetro corrono due cornici, una a circa metà altezza, l'altra all'imposta della volta a sesto ribassato. La parete nord mostra nella parte alta alcuni incassi, alloggiamento di rilievi in terracotta e, in prossimità del pavimento, tracce di una copertura a doppio spiovente. A sud, l'ingresso apre su una cisterna che ha sfondato l'originale sede stradale; due nicchiette quadrangolari sono intagliate nella parete ovest dove è presente, similmente alla parete est, un bancone in muratura realizzato in epoca moderna e funzionale all'utilizzo dell'ambiente come cantina. Un arco moderno è costruito trasversalmente all'ambiente per contrastare le profonde fratture che lo attraversano. La scala di collegamento alla camera funeraria è stata distrutta, probabilmente durante il secondo conflitto mondiale, quando il sito fu inserito dalla Direzione Generale della Protezione Civile e dei Servizi Antincendio del Ministero degli Interni nell'elenco delle opere permanenti di difesa antiaerea, i cosiddetti ricoveri. La una nuova scala, magnifica nel suo apparato tecnico-estetico, dopo sei rampe raggiunge un locale destinato a chianca, un ambiente naturalmente refrigerato destinato alla conservazione degli alimenti, specialmente carni e insaccati, verosimilmente in fase con il palazzo e il cui accesso originario era assicurato da un camminamento adiacente, ora interrato. La prima rampa di questa scala raggiunge l'accesso alla camera funeraria, in Figura 4. L'ambiente è caratterizzato dall'affresco su decorazione a stucco della cornice perimetrale, dove si imposta la volta a sesto ribassato, che rappresenta, ripetuta, una teoria di frutta, mela cotogna, pigna e melagrana, intercalata da un uovo. Sulla parete nord è in bella mostra un elegante tripode in bronzo che sorregge una lucerna bilicne. All'estremità nord della parete est si diparte una scala ad andamento curvilineo con lieve pendenza e scivoli laterali che conduce a un terraneo a livello strada. Attraverso una ulteriore apertura, interessata da un distacco di roccia, è visibile un'altra camera funeraria, approfondita per l'intera superficie da una pronunciata escavazione cui ha fatto seguito l'impermeabilizzazione funzionale all'uso del volume quale cisterna e della quale sono leggibili la volta, la cornice perimetrale e la traccia dei sarcofagi lungo le pareti.

Fig. 4 – Via Santa Maria Antesaecula. Ipogeo dei Melograni: camera funeraria.

Ritornando alla camera funeraria, un particolare di grande interesse è riportato sulla parete sud, dove lo spigolo vivo dell'accesso conserva probabili segni del tracciamento dell'arco. Di particolare interesse appaiono tre filari di blocchi aventi altezza diversa, sovrapposti, posati a secco sul piano di posa inclinato e incassati nella parete ovest. Il piano pavimentale della camera, ricoperto da circa venti centimetri di materiale detritico, lascia intravedere tracce di dieci sarcofagi, che si presentano in gran parte distrutti ma dei quali è possibile ricostruire la disposizione lungo le pareti, in numero totale di dieci: quattro adiacenti ciascun lato e due posti sulla parete opposta all'ingresso. Nell'angolo N-W una canna di pozzo, in parte collassata, intasata da materiale di risulta, attraversa l'ambiente per attingere acqua in una cisterna sottostante. Ulteriori due pilastri collaborano alla staticità della volta fessurata.

Vico Traetta

In vico Traetta n. 2 sotto il cortile di palazzo de' Mari è ubicato l'accesso a una serie di monumenti già menzionati da Carlo Celano (Celano, 1692) e pubblicati in parte da Michele Ruggiero (Ruggiero, 1888) che acquistò il palazzo a fine ottocento. Riscoperti dopo il sisma dell'80, sono diventati nuovamente accessibili dopo lo sgombero dei materiali di risulta sversati lungo la scala, rimossi a cura dell'associazione Celanapoli. Nella parete nord del cortile una scala a tre rampanti permette di raggiungere il fronte monumentale a semicolonne del monumento 8, in Figura 5. La scala, moderna, realizzata presumibilmente nella metà del sedicesimo secolo sfondando il prospetto, era funzionale all'accesso alla cava di tufo ubicata nei piani pavimentali dei monumenti 8 e 9 posti in comunicazione tra loro attraverso il taglio parziale del setto che li divideva. Un ulteriore sfondamento nella parete ovest del monumento 8 consente di raggiungere il monumento 7, che conserva integro il piano pavimentale. I tre monumenti 7, 8 e 9 hanno caratteristiche architettoniche notevolmente diverse rispetto a quelli di via Santa Maria Antesaecula; infatti, allo stato dei rilievi e delle verifiche effettuate, sembra che non siano costituiti da due camere sovrapposte e sfalsate, ma che le camere funerarie siano collegate alla strada antica attraverso un dromos con scala, obliterato da grossi blocchi. In particolare, il dromos della 7 è interessato da due profonde fratture ortogonali fra loro e nel piccolo ambiente tra dromos e camera, all'esterno di questa, si legge con straordinaria evidenza il segno di tracciamento dell'arco inciso dai maestri cavatori. La camera mostra una serie di sarcofagi lungo il perimetro, in

Fig. 5 – Vico Traetta. Monumento 8: fronte sulla strada antica.

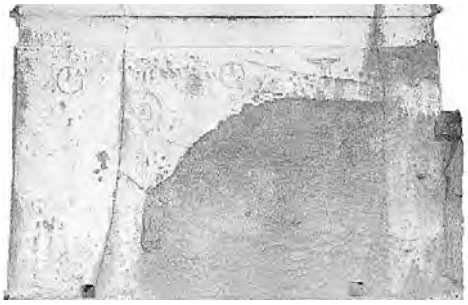


Fig. 6 – Vico Traetta. Monumento 8: camera funeraria, parete nord, resti di affresco.

gran parte distrutti, al fondo di ciascuno dei quali è ricavata una fossetta d'incerta funzione. Le pareti hanno quasi completamente perso il sottile strato di tonachino di preparazione per gli affreschi. Nella parete nord è quasi completamente scomparsa l'epigrafe documentata dal Ruggiero. La tomba 8, caratterizzata dal prospetto a semicolonne già menzionato, ha il dromos tagliato dalla scala seicentesca e presenta nella parete nord resti di un affresco, in Figura 6, già ben documentato da Ruggiero. Due lucerne bilicni in oro sono intercalate da corone di nastri intrecciati appese a chiodi; quella di sinistra è sostenuta da un candelabro al quale è appesa una patera e il chiodo della corona centrale mostra, mirabilmente, sulla destra l'ombra riflessa sulla parete.

La tomba 9, anch'essa sfondata, presenta sulla parete nord una lucerna poggiata su un candelabro dal quale pendono racemi d'edera; la fiamma lambisce il bordo inferiore della cornice all'imposta della volta. In basso, sono stati recentemente individuati resti di iscrizioni in corso di studio. Nell'angolo N-W si conserva parte del piano pavimentale nel quale si legge l'intersezione con una cisterna presumibilmente di epoca romana, caratterizzata da una pianta a "S", la cui copertura è sostenuta in parte da un poderoso pilastro cavo (Colussi e Leggieri, 2018).

Le camere 10 e 11 sono state notevolmente approfondite nella fase di riutilizzo a cava; successivamente intonacate con malta idraulica sono parte integrante della cisterna descritta.

La digitalizzazione dei beni culturali

La documentazione scientifica, analitica e rigorosa, di un bene culturale è fondamentale per il suo studio e la sua conservazione, nonché per la sua valorizzazione e divulgazione anche attraverso l'utilizzo di tecniche innovative di realtà virtuale e aumentata. Realizzare un rilievo 3D integrato, con metodo scientifico-topografico, consente di:

- visualizzare in maniera immediata e in 3D l'oggetto rilevato;
- misurare con precisione millimetrica l'oggetto;
- produrre elaborati per l'analisi dello stato di conservazione dell'oggetto;
- estrarre elaborati 2D per lo studio dell'oggetto e la progettazione di interventi di manutenzione/restauro ;
- estrarre elaborati 3D per la visualizzazione e il rendering;
- archiviare digitalmente il bene oggetto del rilievo;

– acquisire dettagliate informazioni colorimetriche sull'oggetto;
– definire informazioni sui materiali che costituiscono l'oggetto;
– aprire la possibilità di studiare l'oggetto digitalmente e da remoto su un sito;
– produrre applicazioni per la fruizione digitale innovativa dell'oggetto.

Sulla base di quanto illustrato, il rilievo integrato del bene culturale può dunque creare le condizioni tecnologiche per soddisfare il fabbisogno di una valorizzazione realmente coerente con quanto enunciato all'art. 6 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio: "*promuovere la conoscenza del patrimonio culturale ed assicurare le migliori condizioni di utilizzazione e fruizione pubblica del patrimonio stesso.* [promuovere e sostenere] *gli interventi di conservazione del patrimonio culturale*". Le possibilità offerte dalla tecnologia assumono una grande importanza per la conservazione e la fruizione dei siti nei quali l'accesso turistico è inevitabilmente limitato; la fruizione digitale può dunque consentire una migliore gestione delle presenze turistiche, ma soprattutto la conoscenza del bene senza comprometterne il livello di conservazione.

Il rilievo laser scanner terrestre degli Ipogei

Attraverso il rilievo laser scanner terrestre si acquisiscono sostanzialmente informazioni sulla geometria e sulla colorimetria di un bene culturale in maniera rapida, precisa e non invasiva, come evidente dall'esempio in Figura 7.

Oltre alla misura delle coordinate spaziali del punto rilevato, con precisione millimetrica, è possibile acquisire anche informazioni sul colore e sulla riflettanza della

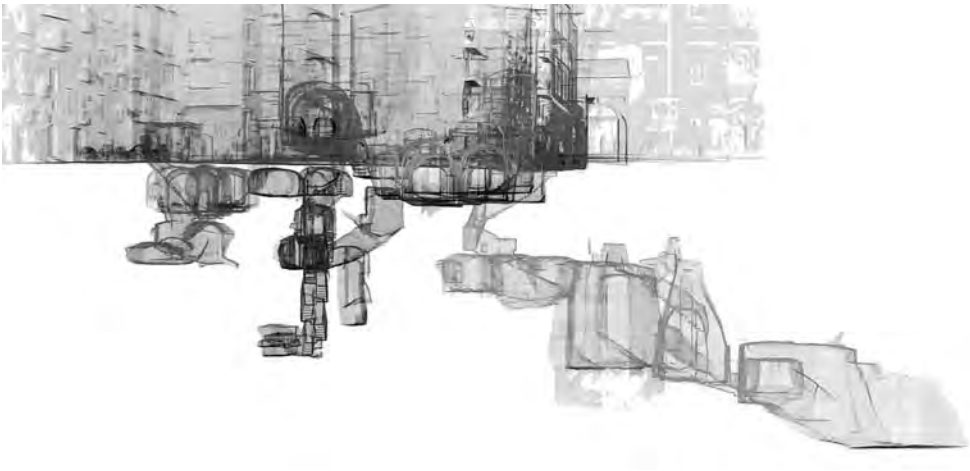


Fig. 7 – Vista d'insieme del rilievo laser scanner terrestre.

superficie dell'oggetto, che rappresenta la risposta del materiale al fascio laser e che consente di utilizzare lo strumento anche in condizioni di assenza totale di illuminazione e, in sinergia con i risultati di altre misurazioni, di ricavare informazioni sullo stato fisico del materiale.

I rilievi effettuati

La campagna di rilievo laser scanner, realizzata tra il 2017 e l'inizio del 2018, è stata eseguita con uno strumento di ultimissima generazione, il Faro Focus X330 "a differenza di fase". Il rilievo è stato poi integrato nel 2019 con un Faro Focus 150. L'obiettivo dei rilievi era la creazione di un modello digitale che consenta la lettura delle strutture sotterranee e fuori terra per avere un modello continuo "sotto-sopra", utilissimo per lo studio delle pendenze e degli allineamenti delle strutture antiche poste in stretta relazione con le costruzioni più moderne. Per massimizzare la produttività in situ le scansioni sotterranee sono state eseguite quasi sempre in assenza d'illuminazione. Per la corretta registrazione delle scansioni sono stati utilizzati target sferici a scacchiera e via software e algoritmi cloud to cloud.

L'acquisizione integrata realizzata per la necropoli ellenistica di Neapolis e di un tratto dell'acquedotto augusteo del Serino è composta da un rilievo topografico di base e da un rilievo laser scanner Terrestre, in Figura 7, unito a un'acquisizione fotogrammetrica ad altissima risoluzione. Nello specifico, sono state realizzate 560 scansioni laser scanner che hanno permesso di digitalizzare:

- gli ipogei dei Togati, dei Melograni e di vico Traetta;
- i ponti canali dell'acquedotto augusteo del Serino nel piano interrato del palazzo Peschici-Maresca;
- tutte le strutture fuori terra e gli edifici in elevato.

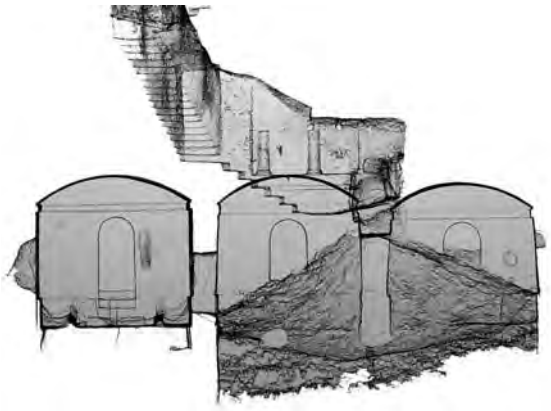


Fig. 8 – Vista in trasparenza della nuvola di punti laser scanner - camere 7-8-9.

Il rilievo fotogrammetrico

Lo strumento laser, pur essendo dotato di una camera integrata, non consente di ottenere un dato colorimetrico di alta qualità. Pertanto, nelle zone di maggior interesse nelle singole camere funerarie, di cui alcune con tracce di affresco, e negli ambienti significativi, si è provveduto a completare e integrare il rilievo laser scanner con un rilievo fotogrammetrico eseguito con camere fotografiche reflex full-frame ad altissima risoluzione (fotogramma > 45mpx), ciascuna equipaggiata con ottiche dedicate a fuoco fisso e tutte rigorosamente calibrate. Per assicurare qualità elevata ai prodotti, è stato appositamente allestito un set illuminotecnico non invasivo, con fari a led a temperatura nota e controllata. L'allestimento di un set illuminotecnico, come quello in Figura 9, ha consentito, in fase di acquisizione, di poter sempre controllare in maniera rigorosa la corretta colorimetria degli ambienti anche con l'utilizzo di checker calibrati e sonde colorimetriche; in post produzione i singoli fotogrammi vengono trattati in ambienti software per la corretta calibrazione del colore misurata in situ tramite color checker.

Fig. 9 – Stazione fotogrammetrica.

I monitor sui quali viene effettuata questa operazione sono anch'essi calibrati tramite sonde colorimetriche. Nello specifico, con la tecnica fotogrammetrica sono stati digitalizzati i seguenti ambienti:

- ipogeo dei Togati;
- ipogeo dei Melograni;
- ipogei di vico Traetta (7-8-9);
- ponti canale dell'acquedotto augusteo nel piano interrato del palazzo Peschici-Maresca.

per un totale di 12.300 fotogrammi.

Post elaborazione e computer grafica

Dopo aver acquisito i fotogrammi e le scansioni laser, i dati sono stati processati per ottenere i modelli 3D ad altissima risoluzione e in scala. Ottenuti i modelli geometrici, in forma di mesh poligonale, sono state utilizzate tecniche proprie della computer grafica e del gaming, che portano ad avere un modello leggero e gestibile in ambiente real time. In questa fase è stato ricostruito il materiale degli ambienti scansionati, ricreandone, attraverso processi propri della "PBR" (Physically Based Rendering),

Fig. 10 – Modello 3D dell'Ipogeo dei Melograni (camera 4) e interfaccia della piattaforma multimediale.

le proprietà fisiche in termini di riflessione e rugosità. Infine, gli ambienti, riprodotti in 3D, sono stati importati nei software di "real-time", in Figura 10, per la creazione delle interazioni, per l'elaborazione dell'esperienza virtuale e per la costruzione della piattaforma multimediale

La piattaforma multimediale

Per organizzare tutto il materiale di archivio, fotografico, rilievi 3D e documenti storici, è stata realizzata una piattaforma multimediale dal facile utilizzo e di immediata leggibilità, non ancora disponibile al pubblico. I modelli 3D di output sono resi completamente navigabili e "interattivi". Navigando all'interno del modello 3D l'utente può esplorare gli ambienti nel loro stato attuale e, attraverso ricostruzioni su base scientifica, vedere ipotesi ricostruttive e "restauri virtuali". L'utente potrà inoltre leggere testi brevi di descrizione di massima e, tramite una comunicazione stratificata a più livelli, approfondire i contenuti fino alla consultazione di testi storici e di documenti di archivio già digitalizzati.

Gli scopi della realizzazione di una piattaforma così immaginata sono molteplici:

– documentare lo stato di fatto, con la creazione di un modello 3D metrico e ad altissima risoluzione dell'esistente (con precisione millimetrica e matematicamente riproducibile);

Fig. 11 – Restauro virtuale dell'ipogeo dei Melograni, fruibile attraverso la consultazione della piattaforma multimediale (da Amodio et al., 2019).

- dare all'utente la possibilità di navigare all'interno del modello 3D e di avere maggiori informazioni di carattere scientifico e storico attraverso l'inserimento di punti interrogabili;
- rendere leggibile, attraverso l'utilizzo di mappe storiche rese in 3D e interattive, l'ubicazione di luoghi spesso non percepibili o nascosti;
- valorizzare i luoghi e comunicare, in maniera organizzata ma semplice, numerose informazioni spesso disordinate e contenute in varie pubblicazioni;
- sensibilizzare i cittadini sul patrimonio artistico e culturale dei luoghi;
- creare uno strumento di facile distribuzione (app mobile, web).

Un esempio di immagine presente sulla piattaforma virtuale è in Figura 11.

Conclusioni

In un contesto archeologico quale quello napoletano della necropoli ellenistica e dell'acquedotto del Serino, che riveste grande interesse scientifico, i rilievi laser scanner consentono di apprezzarne l'articolazione plano-altimetrica e la compenetrazione con il costruito moderno. I progressi e l'affinarsi della documentazione consente di intuire la monumentalità di una necropolis che comprende verosimilmente molte decine di monumenti, molti dei quali probabilmente integri. Il prosieguo della ricerca consentirà di apprezzare la valenza di un sito che ha pochi confronti in tutto il Mediterraneo.

Ringraziamenti
Gli autori ringraziano i professori Salvatore D'Agostino e Francesca Romana d'Ambrosio per l'affettuoso sostegno, il CIBeC per le consulenze tecnico-scientifiche; le associazioni culturali Celanapoli e VerginiSanità per l'impegno profuso; Acas3D per le operazioni di digitalizzazione.

Bibliografia
Amodio M., Camodeca G., Capriuoli F., Leggieri C., Zimmermann N. 2019. Nuovi studi sulla necropoli ellenistica a nord di Neapolis. Pittura e architettura dalla documentazione digitale alla restituzione virtuale. In: *Pareti dipinte. Dallo scavo alla valorizzazione.* Atti del XIV Colloquio AIPMA-Association Internationale pour la Peinture Murale Antique (a cura di A. Coralini), Napoli-Ercolano, 9-13 settembre 2019. (in corso di stampa).

Celano C. 1692. *Notizie del bello, dell'antico e del curioso della città di Napoli*. Napoli: Stamperia Floriana.

Colussi F., Leggieri C. 2016. L'acquedotto augusteo del Serino nell'area Vergini-Sanità a nord di Neapolis: identificazione e studio di due ponti-canale. In: Atti del VI Convegno di Storia dell'Ingegneria – 2nd International Conference (a cura di S. D'Agostino), Napoli, 19-20 maggio, II, 589-598. Napoli: Cuzzolin.

Colussi F., Leggieri C. 2018. L'acquedotto augusteo del Serino a Nord di Neapoli nell'area compresa tra la Sanità e Ponti Rossi. In: Atti del VII Convegno di Storia dell'Ingegneria – 3rd International Conference (a cura di S. D'Agostino e F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 23-24 aprile, I, 93-104. Napoli: Cuzzolin

Ruggiero M. 1888. *Documenti degli scavi di antichità nelle province di Terraferma dell'antico Regno di Napoli dal 1743 al 1876*. Napoli: Morano.

Luigi Ombrato, Claudio Pensa, Vincenzo Sorrentino, Chiara Zazzaro

Un criterio di classificazione di imbarcazioni di interesse archeologico, storico o etnografico

Abstract
The great diversification of the archaeological, historical and ethnographic data has determined a complexity of classification criteria for cataloging within the standards of the Central Institute for the Catalog and Documentation of the MiBACT. In the case of ancient and vernacular boats, their morphological complexity, and the amount of information associated to them, implies highly heterogeneous procedures for the classification of the different types of boats. In this article, an attempt is made to offer a contribution to the problem of ancient and vernacular boat classification by discussing the case study of a collection of vernacular boat models from the National Prehistoric Ethnographic Museum "Luigi Pigorini". The characteristics of hull forms, for these models, are analyzed and proposed as criteria of classification. This aspect has always been little considered by scholars as a criterion of classification, presumably because the objective identification of complex form characteristics, is usually considered a specialized interest of the Naval Architecture, an exquisitely engineering discipline. The proposed classification criterion consists in providing an objective identification of the hull forms made with the typical tools of Reverse Engineering and the quantification of the main hull coefficients. In addition to the consolidated methodology of study, the knowledge of the hull coefficients associated with each detected hull, will allow a significantly less subjective identification of the types and changes of these over time.

Introduzione

Con la progressiva diminuzione, si potrebbe dire sparizione, della costruzione in legno tradizionale, anche in contesti geografici meno industrializzati, e soprattutto con il declino della trasmissione di questo sapere pratico, è divenuta sempre più urgente la necessità di documentare le ultime pratiche costruttive sopravvissute, i maestri d'ascia ancora in vita, le imbarcazioni ancora esistenti e le rappresentazioni di imbarcazioni non più in uso (Agius et al., 2016).

La diversa attendibilità delle informazioni tecniche ricavabili dalle imbarcazioni tradizionali e dalle loro rappresentazioni non può essere considerata una limitazione. Anzi, la ridotta verosimiglianza può essere portatrice di informazioni potenzialmen-

te di grande interesse storico ed etnografico, contribuendo alla contestualizzazione geografica e temporale dei reperti. Gli Autori propongono di integrare l'eterogenea documentazione prodotta nell'ambito degli attuali studi etnografici navali con una procedura di rilievo e rappresentazione in grado di fornire valutazioni quantitative e oggettive delle caratteristiche di forma delle carene di imbarcazioni da eseguire su modelli o su imbarcazioni tradizionali in grandezza reale. Se lo studio ha per fine l'individuazione delle caratteristiche tecnologiche e di forma, è evidente la necessità di filtrare le informazioni con il senso critico che solo una analisi filologica interdisciplinare può assicurare.

La procedura in questione è basata su un tipico processo di Reverse Engineering, RE (Martorelli et al., 2014), e sulla successiva analisi delle forme di carena, rilevate e ricostruite matematicamente, effettuata seguendo le consolidate analisi dell'Architettura Navale. Va evidenziata una importante ulteriore potenzialità della procedura proposta: la superficie di carena ottenuta con il processo di RE è il documento necessario e sufficiente per operare molte altre valutazioni. In particolare, diventa possibile valutare stabilità, portata utile, potenziali velocità, qualità di tenuta al mare e la maggior parte degli altri comportamenti che definiscono la funzionalità dell'imbarcazione; in sintesi, la maggior parte delle informazioni utili per valutare l'attendibilità o formulare ipotesi sulle diverse attività marittime riferite a luoghi o periodi diversi.

Questa procedura è stata applicata nello studio di una collezione di modelli di imbarcazioni del Museo Nazionale Preistorico Etnografico "Luigi Pigorini" che, per ricchezza e diversificazione, è stato ritenuto un adeguato banco di prova.

L'iconografia navale

Questo studio può essere applicato sia alle imbarcazioni che alle loro riproduzioni, soprattutto per quei contesti in cui non si conservano più evidenze di costruzioni tradizionali in legno. Infatti, l'iconografia, in assenza o carenza di fonti scritte e resti materiali, assume un rilievo particolarmente importante. In particolare, le rappresentazioni di imbarcazioni in forma di modelli tridimensionali offrono, per propria natura, la più diretta ed esplicita testimonianza delle caratteristiche di forma e delle dimensioni degli oggetti di interesse per gli studiosi (Dixon, 2019).

L'attendibilità e la quantità delle informazioni ricavabili da una rappresentazione iconografica possono variare notevolmente in funzione del periodo storico di provenienza, del contesto artistico di produzione, dell'esecutore della rappresentazione, del supporto o del materiale utilizzato (Basch, 1987). Ad esempio, la conoscenza e la consapevolezza dell'uso e della funzione delle diverse parti di una imbarcazione da parte di chi realizza la rappresentazione influirà sulla resa più o meno verosimile di ciò che sarà rappresentato. Il supporto e il materiale con o su cui viene rappresentata una imbarcazione può limitare la realizzazione veritiera di alcune forme, così come la funzione propria dei reperti, simbolico-devozionale, decorativa e così via.

In linea di massima, procedendo nei secoli, l'incidenza della dimensione devozionale e religiosa è diventata più esplicita e riconoscibile fino a confinarsi, sostanzialmente, nelle sole rappresentazioni ex voto [1]. Con l'età moderna, e soprattutto dalla fine del XVII secolo, non solo le rappresentazioni grafiche ma anche le riproduzioni tridimensionali sono frequentemente state realizzate con finalità strettamente tecniche e operative fino a diventare la documentazione di base per la realizzazione delle imbarcazioni, barche e navi, per definire i termini contrattuali quali desiderata, acquisto e assicurazione, o per l'insegnamento nelle scuole nautiche (Mussari, 2016).

Bisogna considerare, comunque, che lo studio di una imbarcazione comprende, in primo luogo, una fase di identificazione e classificazione che influenzerà, poi, le scelte di rappresentazione.

L'identificazione e la classificazione di imbarcazioni antiche e tradizionali

L'identificazione e la classificazione delle diverse tipologie di imbarcazioni documentate in contesti tradizionali possono essere affrontate in maniera efficace da un punto di vista interdisciplinare.

Una prima problematica riguarda l'identificazione della imbarcazione in esame in assenza di informazioni dirette su utilizzi e funzioni. In questo caso, il contesto di ritrovamento e il confronto con altre imbarcazioni note possono essere di aiuto. Un altro aspetto, ben più complesso, riguarda il modo in cui lo studioso risponde alle necessità di dare un nome o classificare le imbarcazioni in maniera comprensibile, condivisibile e che risponda a una descrizione quanto più possibile oggettiva del manufatto.

Questioni di questo tipo riguardano non solo le imbarcazioni tradizionali, ma anche quelle antiche. Per le imbarcazioni antiche la problematica principale risiede nel fatto che non ci sono stati tramandati testi tecnici sui natanti, probabilmente perché non sono mai stati redatti. Ne consegue che molto raramente si riesce a identificare una imbarcazione trovata in contesto archeologico con riferimenti a tipi di imbarcazioni specifici riportati nelle fonti scritte, storiche letterarie o iconografiche, poiché di fatto non sussistono associazioni evidenti.

Gli archeologi navali hanno affrontato questa difficoltà in modi diversi: in alcuni casi cercando di attribuire comunque nomi di tipi di barche menzionati in letteratura o in iconografia a imbarcazioni trovate in contesti archeologici coevi, in altri casi classificando le imbarcazioni secondo il loro uso oppure secondo la metodologia costruttiva. Al di là di questa problematica, scopo ultimo degli archeologi navali è l'analisi del sistema di costruzione e del materiale utilizzato, al fine di datare l'imbarcazione e riconoscerne il contesto culturale di provenienza e l'origine geografica (Steffy, 1996).

Per le imbarcazioni tradizionali una specifica difficoltà è dovuta alla fluidità della terminologia in uso nei diversi ambiti culturali e sociali. Imbarcazioni di aspetto, forma e uso uguale o simile possono essere indicate con termini diversi in base a piccole variazioni, spesso unicamente legate ad aspetti non sostanziali come le decorazioni o

altri elementi non influenti dal punto di vista delle prestazioni dell'imbarcazione, o a seconda dei diversi spazi geografici in cui queste imbarcazioni operano. Oppure, imbarcazioni simili ma con funzioni diverse sono indicate con termini diversi, o ancora le diverse persone che ruotano attorno alla costruzione e all'uso dell'imbarcazione possono associare l'imbarcazione a termini diversi e così via.

In effetti, a queste oggettive complicazioni si aggiunge il fatto che studiosi di ambiti disciplinari diversi vedono le imbarcazioni in maniera diversa e rispondono alla complessità della questione attuando approcci analitici diversi, tendendo quindi a individuare numerose forme di classificazione.

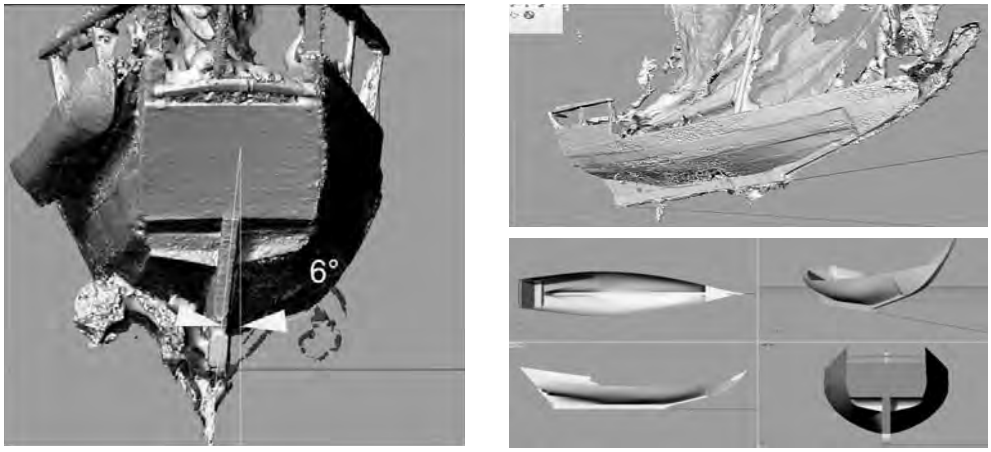
La rappresentazione di imbarcazioni antiche e tradizionali: problemi e prospettive

Le metodologie di riferimento per lo studio dei modelli di barche o delle imbarcazioni in legno non più in uso, antiche o tradizionali, sono oggi questioni condivise da studiosi provenienti da diversi ambiti disciplinari[1] che, per motivi diversi, hanno interesse a salvaguardare forme e conoscenze navali che altrimenti andrebbero perdute. Queste diverse competenze hanno assicurato un approccio multidisciplinare alla documentazione con risultati estremamente soddisfacenti (Martorelli et al., 2014)

La rappresentazione delle imbarcazioni è la fase finale della riproduzione virtuale che inizia con il rilievo dell'oggetto e che, implicitamente, comporta l'interpretazione degli scostamenti delle forme rilevate da quelle concettuali di riferimento e quindi condiziona i principi informatori delle rappresentazioni finali della imbarcazione. Ovviamente, al contrario, l'interpretazione dell'osservato deve evitare il mascheramento di dettagli importanti, evitando così di condizionare la classificazione dell'imbarcazione, nel senso di identificazione del tipo o della "famiglia" di appartenenza.

Questa complessità interpretativa delle forme è sostanzialmente dovuta alle diverse finalità dei rilievi, non necessariamente alternative l'una all'altra, o ai diversi interessi di chi della documentazione farà oggetto di studio. Infatti, le informazioni necessarie allo studio dello stato dell'arte dei costruttori operanti in un luogo e in un determinato periodo storico discendono anche dalla identificazione e dalla coerente rappresentazione di quei dettagli non significativi nello studio delle forme paradigmatiche, che hanno per finalità le capacità operative di un'imbarcazione. La corretta interpretazione di questi dettagli non è sempre immediata, in quanto intervengono imprecisioni o danni provocati dal tempo che non sempre sono distinguibili da scelte consapevoli o tradizionalmente tramandate che, evidentemente, sono significative e da documentare.

A titolo di esempio, nella Figura 1, sono riportate alcune caratteristiche di forma riscontrate sul modello 2968 della collezione del Museo Luigi Pigorini, a Roma, che chiariscono il problema. Nella Figura 1a è evidenziata una asimmetria della carena evidentemente dovuta a una imprecisione del modellista, in quanto l'integrità dello scafo sembra escludere il degrado dovuto al tempo. La Figura 1b mostra una discon-



a) *b)*

Fig. 1 – Modello 2968 della collezione del Museo Luigi Pigorini, a Roma. A sinistra: asimmetria della carena; a destra in alto: rilievo delle differenze di forma dei collegamenti fasciame-chiglia e fasciame-ruota di pua; in basso: superficie realizzata in base all'interpretazione del rilievo.

tinuità di forma che sembrerebbe indicare per il collegamento del fasciame con la ruota di prora una soluzione diversa da quella adottata per la chiglia; in questo caso, è importante valutare se queste diverse soluzioni rappresentano fedelmente una scelta costruttiva, una imprecisione nella realizzazione o l'esito del degrado del modello dovuto al tempo. Infatti, in riferimento al caso 1b, i collegamenti fra il fasciame e la struttura longitudinale centrale (in sequenza: dritto di poppa, chiglia, ruota di prora e dritto di prora) sono un elemento distintivo che è variato nei diversi ambiti geografici e cronologici, caratterizzando fortemente le diverse tradizioni locali. Per questo motivo, in casi come questo si propongono due approcci descrittivi e quindi due diversi tipi di rappresentazione: per la tipizzazione delle forme di carena si suggerisce di considerare i coefficienti e i rapporti geometrici, che forniscono dati globali, o più correttamente non locali, riferiti agli interi scafi o loro zone estese; per dare invece valore alle caratteristiche locali, si consiglia una rappresentazione che rifletta lo stato presente della imbarcazione.

Bisogna considerare che sia le rappresentazioni tridimensionali realizzate con superfici ottenute con i CAD, sia le tradizionali rappresentazioni bidimensionali, i cosiddetti piani di costruzione, sono l'esito di interpretazioni che tendono inevitabilmente a congelare le scelte, proponendole, si direbbe quasi imponendole, agli studiosi che sulle rappresentazioni proposte baseranno i successivi studi. Per questo motivo riteniamo importante associare alla documentazione finale dello studio di

un'imbarcazione, generalmente composta dalla rappresentazione della carena, dalla descrizione delle principali caratteristiche osservabili, dalle misure globali e dai coefficienti di carena proposti nel seguito, anche gli elaborati intermedi realizzati eseguendo l'intero processo di Reverse Engineering: disegno simbolico con le misure principali, foto di insieme e dei dettagli, nuvola dei punti, mesh, superficie di carena con immagini statiche e file CAD, esplicitazione del criterio seguito per l'identificazione della scala e piano di costruzione.

La procedura proposta

La procedura proposta si svolge in sostanza in quattro fasi:

1. rilievo fotogrammetrico;
2. trasferimento dei punti rilevati in ambiente CAD e modellazione della superficie;
3. individuazione della scala di riduzione, nel caso di modelli;
4. calcolo dei coefficienti geometrici, dei rapporti e delle grandezze principali.

Le fasi 1 e 2 percorrono il noto iter delle tipiche procedure di RE: osservazione dell'oggetto, valutazione del contesto e della superficie da rilevare, photoshooting, allineamento delle immagini, realizzazione della mesh poligonale, modellazione della superficie, controllo finale.

La fase 3 è evidentemente necessaria per i soli rilievi di modelli dei quali non è nota la scala di riduzione. La criticità consiste nella individuazione di una parte dell'oggetto le cui dimensioni sono note o ipotizzabili con buona attendibilità.

La fase 4, avendo ottenuto la disponibilità della superficie di carena, non comporta difficoltà operative. Questa è facilmente eseguibile con uno dei molti codici commerciali oggi disponibili anche a basso costo. La criticità ancora una volta può essere determinata da mancanza di informazioni: per procedere è indispensabile conoscere il peso dell'imbarcazione, cioé il dislocamento, o l'immersione. Con uno di questi dati è possibile individuare la parte immersa dello scafo e calcolare rispetto a essa i dati desiderati: coefficienti di carena, dimensioni dell'opera viva ed ogni altra caratteristica della carena. Per la valutazione di queste grandezze, un aspetto critico è la variabilità dei dislocamenti di riferimento in ragione dei pesi dei carichi trasportati.

Va infine osservato che rendendo disponibile la documentazione intermedia, necessariamente prodotta nell'esecuzione delle diverse fasi esposte, si consentirebbe a eventuali studiosi portatori di diverse interpretazioni dei dettagli osservati la rielaborazione parziale o totale del processo di RE. Evidentemente la nuova ricostruzione individuerebbe superfici di carena in qualche misura diverse.

Quattro casi di studio

L'analisi delle forme di carena proposta è qui applicata per la classificazione di quattro modelli della collezione del Museo Luigi Pigorini: 2968, 2970, 2971 e 2980.

Di questi, due sono riproduzioni dello stesso tipo, sambuchi secondo la terminologia italiana, *zaima* nell'arabo parlato nelle regioni del Mar Rosso meridionale; a questo proposito, si sottolinea che per l'individuazione di un tipo non è sufficiente confrontare due soli modelli, ma è necessario il paragone fra i coefficienti e i rapporti dimensionali di più imbarcazioni, in quanto, ovviamente, la valutazione della variabilità dei valori dei coefficienti della famiglia diventa evidentemente più significativa arricchendo il campione di dati.

Per evidenti limiti di spazio, nelle Figure e nelle Tabelle riportate nel seguito sono mostrati solo alcuni dei coefficienti e delle grandezze principali ottenibili dall'analisi delle forme. La classificazione dei reperti si intende completa con la disponibilità di tutti i documenti e di tutte le informazioni tradizionalmente annotate, della documentazione intermedia di cui si è detto in precedenza e di un numero di rapporti e coefficienti di carena maggiore di quello esposto nei seguenti casi di studio.

Per le imbarcazioni per le quali non è disponibile alcuna documentazione da associare (2968, 2970 e 2980), si sono dovute ipotizzare le dimensioni di parti dei modelli: la tenda parasole per i primi due e il palombaro e la scala di risalita per il terzo. Per il quarto modello (2971), è stato invece possibile fare riferimento a documentazioni di imbarcazioni simili.

Tutte le imbarcazioni sono state analizzate per tre dislocamenti: quello dell'immersione riscontrata sul modello, identificato dalla diversa colorazione delle opere viva e morta, e due individuati variando l'immersione del 10% in aggiunta e in sottrazione.

Conclusioni

La complessità dei criteri di classificazione per le imbarcazioni tradizionali e le loro rappresentazioni richiama una problematica ben più ampia, che riguarda i diversi modi di osservare, identificare e interpretare le caratteristiche di una imbarcazione. Tale complessità ha determinato forme diverse di rappresentazione da parte di studiosi provenienti da diversi ambiti disciplinari,. La proposta di affiancare a una documentazione di tipo etnografico, atta a evidenziare caratteristiche costruttive che definiscano un "tipo", una documentazione delle forme concettuali di riferimento da cui calcolare le grandezze principali, che a loro volta definiscono un "tipo", sembra, al momento, una soluzione adeguata.

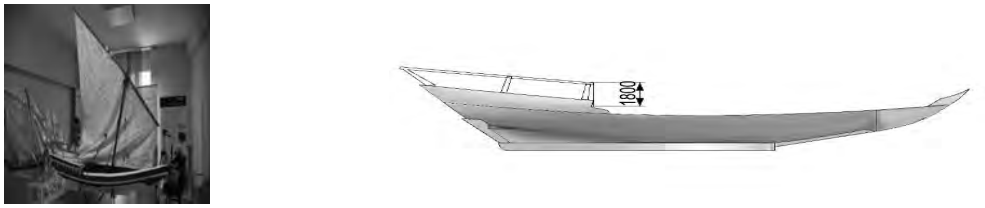


Fig. 2 – Modello 2968 (Zaima).

Tab. 1 – Modello 2968: grandezze caratteristiche per i tre dislocamenti ipotizzati

	Dislocamento medio	*Dislocameno leggero*	*Dislocamento pesante*
Immersione a centro nave, m (T)	1,92	1,72	2,11
Dislocamento, kg	44˙980	33˙490	57˙470
Lunghezza al galleggiamento, m (L)	19,78	18,99	20,40
Larghezza al galleggiamento, m (B)	4,80	4,42	5,11
Lunghezza/Larghezza	4,12	4,30	3,99
Larghezza/Immersione	2,50	2,56	2,42
Coefficente Prismatico	0,53	0,53	0,54
Coefficiente di Finezza totale	0,24	0,23	0,26
Coefficiente della sezione trasversale di massima area	0,46	0,43	0,48
Coefficiente della figura di galleggiamento	0,64	0,62	0,66

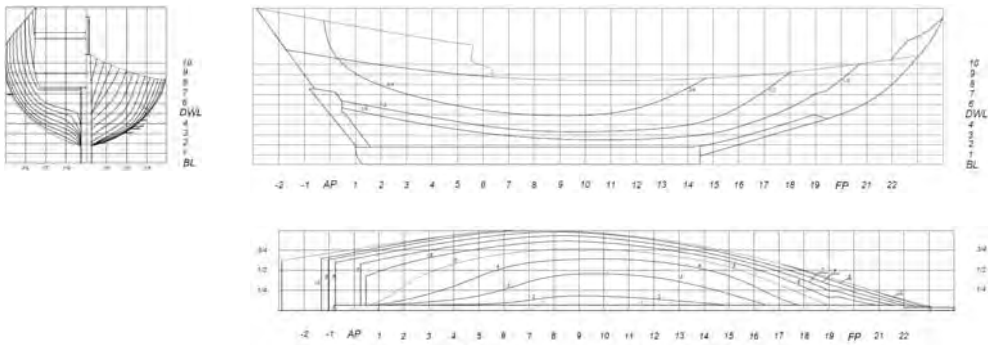


Fig. 3 – Modello 2968, Piano di costruzione.

Fig. 4 – Modello 2970 (Zaima).

Tab. 2 – Modello 2970: grandezze caratteristiche per i tre dislocamenti ipotizzati

	Dislocamento medio	*Dislocameno leggero*	*Dislocamento pesante*
Immersione a centro nave, m (T)	1,55	1,39	1,70
Dislocamento, kg	19˙860	14˙680	25˙290
Lunghezza al galleggiamento, m (L)	13,14	12,67	13,58
Larghezza al galleggiamento, m (B)	3,63	3,40	3,79
Lunghezza/Larghezza	3,62	3,73	3,59
Larghezza/Immersione	2,34	2,45	2,23
Coefficente Prismatico	0,60	0,59	0,60
Coefficiente di Finezza totale	0,26	0,24	0,28
Coefficiente della sezione trasversale di massima area	0,44	0,41	0,47
Coefficiente della figura di galleggiamento	0,71	0,68	0,71

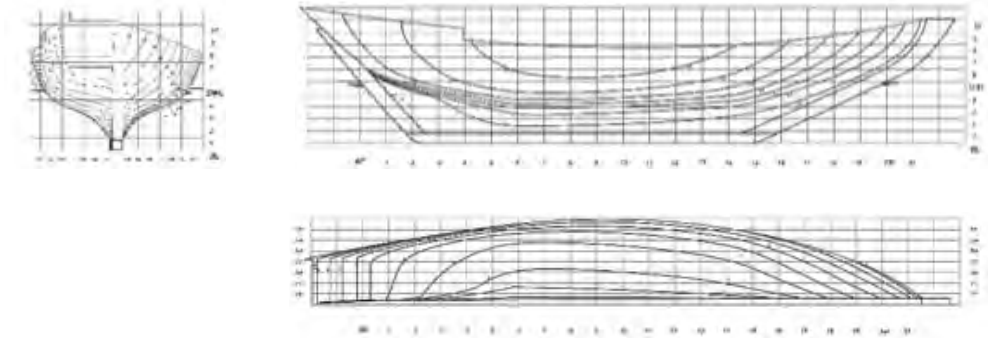


Fig. 5 – Modello 2970, Piano di costruzione.

Fig. 6 – Modello 2980 (Spugnara dell'Egeo).

Tab. 3 – Modello 2980: grandezze caratteristiche per i tre dislocamenti ipotizzati

	Dislocamento medio	*Dislocameno leggero*	*Dislocamento pesante*
Immersione a centro nave, m (T)	1,2	1,08	1,32
Dislocamento, kg	8˙960	7˙150	10˙910
Lunghezza al galleggiamento, m (L)	8,18	8,08	8,27
Larghezza al galleggiamento, m (B)	3,01	2,83	3,17
Lunghezza/Larghezza	2,72	2,86	2,61
Larghezza/Immersione	2,51	2,62	2,40
Coefficente Prismatico	0,58	0,58	0,58
Coefficiente di Finezza totale	0,29	0,28	0,31
Coefficiente della sezione trasversale di massima area	0,51	0,49	0,53
Coefficiente della figura di galleggiamento	0,62	0,62	0,63

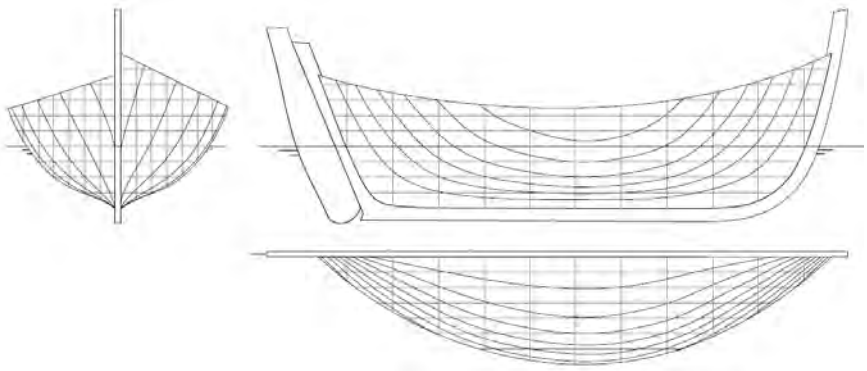


Fig. 7 – Modello 2968, Piano di costruzione.

Fig. 8 – Modello 2971 (Nassarola siciliana).

Tab. 4 – Modello 2971: grandezze caratteristiche per i tre dislocamenti ipotizzati

	Dislocamento medio	*Dislocameno leggero*	*Dislocamento pesante*
Immersione a centro nave, m (T)	0,68	0,61	0,75
Dislocamento, kg	7˙050	5˙680	8˙460
Lunghezza al galleggiamento, m (L)	10,140	10,09	10,19
Larghezza al galleggiamento, m (B)	2,880	2,81	2,93
Lunghezza/Larghezza	3,53	3,59	3,48
Larghezza/Immersione	4,23	4,59	3,91
Coefficente Prismatico	0,67	0,67	0,68
Coefficiente di Finezza totale	0,56	0,55	0,57
Coefficiente della sezione trasversale di massima area	0,84	0,83	0,85
Coefficiente della figura di galleggiamento	0,72	0,71	0,72

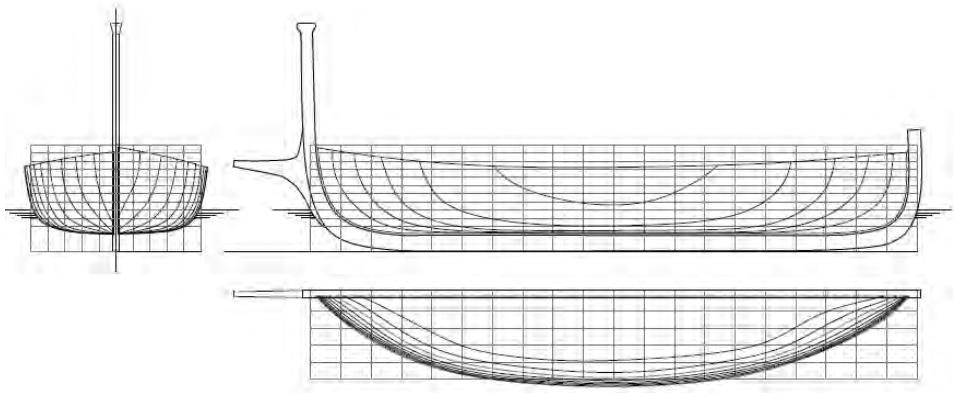


Fig. 9 – Modello 2971, Piano di costruzione.

Bibliografia

Agius D.A., Cooper J.P., Semaan L., Zazzaro C., Carte, R. 2016. Remembering the Sea: Personal and Communal Recollections of Maritime Life in Jizan and the Farasan Islands, Saudi Arabia. Journal of Maritime Archaeology, 11, 127–177.

Basch L. 1987. *Le musée imaginaire de la Marine antique*. Athènes: Institute Hellénique pour la préservation de la tradition nautique.

Dixon C. 2019. Models as Evidence for Sewn-boat Traditions. International Journal of Nautical Archaeology, 48, 286-301.

Martorelli M., Pensa C., Speranza D. 2014. Digital Photogrammetry for Documentation of Maritime Heritage. Journal of Maritime Archaeology – Special Issue: The social Archaeology and Harbours, 8, 2 181-366.

Mussari A. 2016. *Il patrimonio Culturale del Museo del Mare di Napoli*. Nola: Vulcanica Print.

Steffy R. 1996. A Mediterranean ship construction database; dating and classifying shipwrecks by their hull remains. In: *TROPIS VI: Sixth International Symposium on Ship Construction in Antiquity, Lamia* (a cura di H. Tzars), 556-558. Athens.

Webgrafia

[1] http://www.ex-voto-marins.net (ultima consultazione 20/12/2019)

Note

1. Oggi gli studiosi che si interessano alle imbarcazioni tradizionali sono archeologi, architetti navali, storici della navigazione, marinai e appassionati.

Luigi Marino, Massimo Coli

La carpenteria litica nell'Hawrān siro-giordano

Abstract
The all stone architecture of the ancient villages in the border region between Syria and Jordan represents an unusual example of use of local stone resources in construction. The almost total lack of timber suggested a wise exploitation of basalt, a material of which the whole region is rich. This was used for the structural masonry with solutions of great interest but also for building singular carpentries all of stone resting on embedded shelves in dry masonry. The floor and roof slabs had been made with basalt bars up to over 200 cm long which, using the overhangs of the shelves (single or double overlapping) manage to cover rooms of about 300 cm. The shelves are made up of elements simply rough-hewn or from suitably shaped elements placed to form a unique and effective support system.
…mais plus rapide encore est la disparition des hommes et des structures traditionnelles du métier, si utiles à l'interprétation correcte des constructions anciennes. Ainsi, l'étude de la taille monumentale et l'ethnoarchéologie des métiers de la pierre restent les deux grandes priorités… (Bessac, 1999).

Risorse locali e tradizioni costruttive

Nella storia del costruito avviene quasi sempre che le scelte edili siano condizionate in maniera determinante dalla disponibilità delle risorse locali secondo un concetto di ottimizzazione dell'uso delle risorse naturali locali, innanzitutto la pietra, con motivazioni di praticità, reperibilità della risorsa, lavorabilità, trasporto e messa in opera. Le cave, e più in generale le aree di raccolta di superficie[1], costituiscono il luogo nel quale, fin dall'inizio, l'architettura e le storie *degli uomini nei loro rapporti con la terra* (Braudel, 1950) sono sedimentati e conservati i documenti materiali più antichi, ben definiti "*immensi settori addormentati della documentazione*" (Furet, 1971).

I *mestieri della pietra*, in particolare, possono, talvolta avrebbero potuto, assicurare un carico di informazioni per l'immediato, salvaguardandone anche un potenziale documentario futuro. Molte architetture di epoca passata sono caratterizzate da una permanenza di tracce che potremmo definire *autografe* e l'attenzione alle tracce di lavorazione e alle *catene operatorie* può facilitare la comprensione dei siti e dei monumenti nel quadro di quella che è stata efficacemente definita *archeologia del gesto*

(De Beaune, 2000) e che si basa sull'osservazione critica delle tracce di lavorazione (segni lasciati dagli utensili impiegati). Gli interventi sul costruito antico spesso sono condizionati dalla scarsa conoscenza che si ha dei tradizionali modi di costruire e perché non se ne riconoscono le tracce sul terreno. Una delle principali cause può essere imputata alla sempre più rara pratica di campagne conoscitive attente, basate su una progressiva confidenza con i resti sopravvissuti e su accertamenti diretti su materiali, modalità di impiego e di eventuali riutilizzi, stato di conservazione (degrado dei materiali e dissesto delle strutture) nonché su analisi sulle realistiche possibilità di interventi compatibili. Costruire e riparare costituiscono un potente strumento di conoscenza continua che permette di capire perché e come le cose hanno funzionato e ancora possono funzionare[2]. La perdita progressiva di procedure costruttive tradizionali e l'abbandono di materiali locali sta causando la sistematica, e sembra inarrestabile, perdita del patrimonio immobiliare e la scomparsa di sapienze e abilità manuali.

L'Hawrān siro-giordano

Nel mondo romano-bizantino si era affermato l'uso sistematico dei materiali lapidei, quelli locali per usi funzionali e quelli esotici per maggiore rappresentatività, nel rispetto di precise *regole dell'arte*. In questo contesto furono allestiti il *Limes Arabicus*, la via Nova Traiana, strada di collegamento tra Bosra e Aila, e una serie di campi legionari e opere fortificate collegati a più avanzati *punti forti* nella steppa. In tutti i casi sono state utilizzate risorse lapidee locali (calcari, arenarie e basalti) sfruttandone al meglio le diverse caratteristiche tecnologiche.

L'Hawrān è un altopiano di basalto a quote variabili tra i 400 e gli 800 metri, formata dal massiccio dello Jebel Druz, che si estende approssimativamente da Damasco ad Amman; l'intera zona è largamente desertica con bassa vegetazione arbustiva e mancanza di alberi di alto fusto in grado di fornire legname per le costruzioni. L'altopiano è dovuto alle effusioni basaltiche legate alla risalita di magmi lungo il sistema di *transfer-faults* che collega la faglia trasforme attiva del Mar Morto

Fig. 1 – Umm el Jemal (archivio Piccirillo).

Fig. 2 – Umm el Jemal, la città nera.

con il fronte alpino anatolico e svincola l'Arabia verso nord[3]. Data la situazione ambientale e geologica l'unico materiale da costruzione disponibile e rispondente alle necessità di resistenza e sicurezza della costruzione è il basalto[4] Esempi interessanti sono costituiti dalla città morta di Umm el Jemal, nelle Figure 1 e 2, e dal fortino di frontiera di Qasr Burqu, in Figura 3.

Fig. 3 – Il Qasr Burqu a protezione di un lago.

Il basalto

Il basalto dell'Hawrān è costituito da colate laviche fessurali sovrapposte, con espansione laterale su ampie superfici e alcuni metri di spessore. In accordo con la struttura delle colate laviche si possono distinguere tre tipologie di basalto (Coli et al., 2006; Coli e Marino, 2007), caratterizzate dai valori delle proprietà fisico-meccaniche riportati in Tabella 1.

Tab. 1 – Valori delle proprietà fisico-meccaniche del basalto dell'Hawrān: γ = massa volumica; σ_c = resistenza a compressione monoassiale.

Litotipo		*Proprietà*	
		γ [t/m^3]	σ_c [MPa]
a)	Basalto massivo compatto scuro (nel corpo della colata)	≈ 3	≈180
b)	Basalto massivo con vacuoli di degassazione scuro anche con fessurazione colonnare (a tetto della colata)	≈ 2,9	≈160
c)	Scorie laviche spugnose di colore rossiccio (a colmo della colata)	≈ 1,2	≈160

Lo studio dei materiali in opera nei vari centri dell'Hawrān ha permesso di verificare che questi possono essere riferiti a diverse condizioni estrattive-lavorative:

1) blocchi residuali sub-sferici ben arrotondati, del tipo sia a) che b), presenti sulla superficie topografica naturale, appena regolarizzati sul lato esterno di costruzione e derivanti da una coltivazione di cava atipica, in Figura 4;
2) blocchi provenienti dai primi metri di terreno di roccia basaltica fortemente alterata in forme sferoidali lungo le fratture naturali per progressiva argillificazione;
3) blocchi tronco-piramidali, del tipo sia a) che b), messi in opera con la superficie esterna regolarizzata e in molti casi resa a faccia vista; questi blocchi derivano da

coltivazione razionale a pochi metri di profondità delle colate basaltiche ancora sane, sfruttando comunque anche le superfici di frattura esistenti;
4) lastre e travi, preferenzialmente del tipo a), usate sia come mensole e scalini aggettanti che come elementi a trave per l'intelaiatura dei solai, oppure come soglie, stipiti e architravi; questi elementi sono rifiniti a faccia vista solo sui lati a vista degli elementi architettonici e sono utilizzati solo per gli edifici di maggior interesse e pregio;
5) spezzoni di scorie spugnose usati come aggregati alleggeriti nei calcestruzzi delle volte gettati in opera.

Fig. 4 – Regoliti residuali di basalto.

L'uso in opera

Di grande interesse è l'architettura interamente in basalto[5] caratteristica dell'Hawrān (Buthler, 1913; De Vries, 1998; Marino, 1991; Coli et al., 2006; Coli e Marino, 2007). Si tratta di una procedura costruttiva denominata localmente *tutta pietra*[6].

La bibliografia disponibile su quella regione privilegia gli aspetti storici e quelli archeologici, mentre gli aspetti specificatamente costruttivi non sembrano essere stati finora sufficientemente studiati. Le straordinarie tracce edili superstiti vengono utilizzate prevalentemente come richiamo turistico ma mancano veri progetti di restauro che, in questo caso più che mai, dovrebbero essere intesi soprattutto come *manutenzione* dell'esistente[7]. La cronica penuria di materiali vegetali e, di contro, la ricchezza di materiali lapidei ha stimolato nell'architettura di epoca nabatea, romana, bizantina e omayyade, ma in molti casi fino a tempi recenti, soluzioni costruttive di grande interesse: murature in elevato in opera quadrata/pseudo-quadrata murate a secco a uno/due paramenti con una ricca casistica di soluzioni di apparecchio[8]; archi-parete in linea; trattamento delle aperture, con geniali ed eleganti soluzioni per ridurre i carichi sugli architravi[9]; scale e ballatoi, con sbalzi di grande luce, e strutture scatolari a telaio a semplice appoggio o a incastro, in Figura 5.

...sta in piedi per miracolo

La qualità costruttiva è ben testimoniata dalle strutture sopravvissute in equilibrio solo apparentemente precario, che le guide presentano come miracoli, ma in realtà le dislocazioni di elementi strutturali, i crolli e le aperture di murature e archi sono databili a tempi non recenti, in conseguenza delle forti azioni sismiche alle quali tutta l'area è sensibile. Figura 6. Viaggiatori dei secoli passati sono testimoni di uno stato di conservazione che dai loro racconti sembra non molto diverso da quello attuale

Fig. 5 – Esempi di aperture con diverse soluzioni per lo scarico degli architravi e un esempio di ballatoio e scale con elementi incastrati nella muratura.

Fig. 6 – Strutture miracolate che testimoniano la qualità dei materiali e delle soluzioni costruttive adottate.

e i peggioramenti sono riferibili ai fenomeni di espoliazione di conci da impiegarsi nella costruzione del villaggio moderno[10].

Alcuni interventi recenti, però, eseguiti senza un preventivo adeguato studio sui possibili cinematismi, sembrano aver modificato la logica strutturale degli elementi originali, delegando la capacità di resistere a nuovi materiali e a nuove strutture con risultati non ancora quantificabili. Il cantiere diventa talvolta una scuola capace di suggerire soluzioni: in molti casi, però, si corre il rischio che interventi non corretti vengano considerati validi e, quindi, replicati su più vasta scala con i conseguenti danni.

Gli impalcati

Le soluzioni costruttive più singolari sono costituite dalle carpenterie degli impalcati di piano e delle coperture realizzate interamente con barre di basalto. Si tratta di una soluzione costruttiva ricorrente in tutta la regione dell'Hawrān ma con maggiori concentrazioni nel nord della Giordania, aUmm el Jemal, Umm es Surab e verso est fino a Qasr Burqu, e nel sud siriano a Bosra, Qanawat, Suweida e Shahba.

Nella maggior parte dei casi gli impalcati realizzati con barre di basalto poggiano su mensole, anch'esse di basalto, incastrate in vario modo nella compagine muraria per consentire, con funzione di rompitratta, una maggiore luce del vano da coprire.

L'impiego di barre combinate con mensole consente la copertura di vani che possono arrivare a quasi tre metri di luce nella direzione trasversale; la ripetizione in parallelo degli elementi di impalcato consente sviluppi nell'altra direzione. Non sono rare soluzioni che si basano sul reimpiego in tempi più recenti di barre con orditure diverse[11]. Le mensole passanti sono ben evidenti sulle cortine murarie esterne, perché sono formate da filari tendenzialmente regolari che hanno la caratteristica di avere altezze solitamente più basse dei filari dei conci degli apparecchi murari e tracce di lavorazione talvolta diverse costituendo, in molti casi, anche una soluzione decorativa. Le mensole presentano modelli e dimensioni variabili secondo diversi tipi, ma non mancano elementi di eccezione adottati di volta in volta come efficace risposta a situazioni singolari o particolarmente difficili.

Mensole semplici

Le mensole più semplici sono allestite prevalentemente su archi-parete e sono costituite da lastroni di basalto a lavorazione grossolana[12] posti a cavallo delle creste murarie, aggettando fino a circa 40 cm sui due lati. Su di esse sono poggiate, per una decina di centimetri, le barre o le lastre che a loro volta sono coperte da un massetto di terra pressata con un rullo; gli spessori solitamente di circa 15 cm possono arrivare fino a circa 30 cm com'è documentato dalle quote delle soglie del piano superiore

Per evitare che le mensole si potessero ribaltare, era necessario posizionare contemporaneamente due barre contrapposte oppure le mensole dovevano essere puntellate fino a quando non avevano ricevuto il carico[13]. Gli elementi di impalcato sono stati di norma poggiati sui colli dei muri e protetti superiormente da uno strato di terra con funzione di ammortizzatore, come mostrato in Figura 7.

Mensole accostate

Nelle murature fuori terra, arrivati al livello stabilito per l'altezza del vano da coprire, si poneva un filare costituito da elementi appositamente lavorati, rastremati verso il basso o tagliati a mezzo toro rovescio, variamente rifiniti e regolarizzati. Queste mensole, che aggettano fino a 30÷35 cm, risultano ben infisse nelle murature, mediamente dal 40 al 60 % della lunghezza con vistose, frequenti eccezioni, e costitu-

Fig. 7 – Mensole su archi-parete con barre di basalto.

Fig. 8 – Solaio apparecchiato con barre di basalto rette da mensole su archi-parete.

iscono una efficace funzione di collegamento tra le due cortine del muro, Figura 8). Solitamente sono alloggiate a distanza tra loro pari alla loro larghezza, mediamente 25÷30 cm, ma non di rado a distanze maggiori e ciascuna di esse regge una barra dell'impalcato principale sulla quale vengono poste ortogonalmente barre o lastre di minori dimensioni e, poi, un riporto di terra. Quando le mensole sono apparecchiate sovrapposte, sfalsate nel senso della lunghezza, possono essere assimilate a saettoni a sezioni variabili nei quali il taglio è massimo all'incastro.

A volte le travi lapidee orizzontali sono appoggiate sulle mensole per tutta la loro lunghezza senza però essere ammorsate nel muro; più spesso invece gli appoggi si riducono a pochi centimetri, provocando la concentrazione di sollecitazioni che, però, data anche la affidabilità del materiale, non sembrano aver causato inconvenienti. Gli elementi di impalcato hanno lunghezze variabili da 130 a 200 cm circa, con una prevalenza di queste ultime e larghezze comprese tra 20 e 40 cm con spessori compresi tra 10 e 20 cm; consentono, appoggiati sugli elementi a sbalzo, coperture che possono assicurare circa 3 metri di luce. Hanno una barra di lunghezza pari a circa 200 cm e di sezione pari a 400 cm^2 circa può pesare mediamente circa 2,5 quintali e la struttura complessiva, compreso il riempimento extradorsale in terra e sassi, può arrivare a pesare quasi 400 kg/m^2. Le sollecitazioni di taglio e quelle flessionali sono contenute dalla ottima qualità del materiale e dai processi di lavorazione, che hanno impedito il rintronamento della pietra e fenomeni di microfratturazione. Tali fenomeni sono invece frequenti nelle lavorazioni moderne che si basano non su pochi efficaci colpi a mano quanto piuttosto sulla ripetizioni di colpi inferti con attrezzi meccanici generalmente di maggiore impatto.

Mensole sovrapposte

Le soluzioni più interessanti sono costituite da elementi basaltici appositamente sagomati e apparecchiati con molta maestria a formare mensole singole o doppie, efficaci ed eleganti. Arrivati alla quota di imposta della struttura orizzontale si formava una base regolarizzata da un riporto di scaglie allettate in una zolla di terra sul lato da coprire, in maniera da costituire l'appoggio alla mensola che risultava inclinata, mentre sul lato contrapposto veniva posto un concio con funzione di contrasto allo scivolamento della mensola, che assumeva la forma di un elemento snello che rastremava verso l'esterno mentre rimaneva tozza e di maggiori sezioni nella parte destinata a essere murata; esempi sono riportati nelle Figure 9 e 10.

Nel caso di una mensola singola sull'estradosso dell'elemento un riporto di terra e sassi creava una base regolare in maniera da costituire l'appoggio per l'elemento orizzontale, costituito da una barra di basalto ma non si può escludere l'impiego di occasionali elementi di legno. La mensola superiore si impostava su quella che era stata già collocata, lasciando a circa metà dello spessore del muro l'alloggiamento della seconda mensola che risultava così slittata rispetto a quella sottostante, riuscendo a fornire uno sbalzo di una cinquantina di centimetri.

Le mensole risultavano ben serrate tra loro e al muro tramite elementi lapidei di misure adeguate e scaglie a cuneo. La mensola superiore era generalmente di taglia appena ridotta rispetto a quella inferiore ma non sembra sia una regola costante, come confermato dalle Figure 11, 12 e 13).

All'estradosso della coppia di mensole un riporto di sassi più regolari e piatti con un allettamento di terra assicurava un efficace piano di appoggio per gli elementi della copertura. La stabilità del sistema che impedisce il rovesciamento delle mensole e lo scalzamento, alla stessa quota, del muro era assicurata dal peso del muro del piano superiore o del muro del parapetto che aveva lo stesso spessore dei muri sottostanti e non era mai inferiore a un metro circa di altezza.

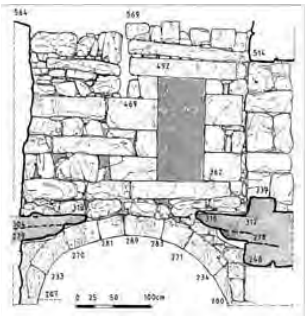


Fig. 9 – Mensole doppie sovrapposte destinate a reggere un solaio di barre basaltiche.

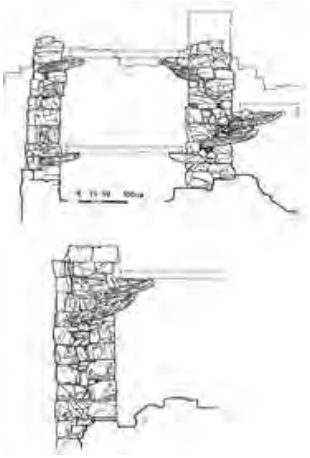


Fig. 10 – Muri con mensole singole e/o doppie.

Fig. 11 – Mensola a due elementi sovrapposti e muro di sopralzo.

Fig. 12 – Vano con mensole sulle pareti contrapposte.

Fig. 13 – Vano con mensole che reggono una barra di basalto (ancora in situ).

Si può affermare che il sistema costituito da mensole inclinate, con una inclinazione di norma variabile tra 10° e 20°, e barre orizzontali fosse assimilabile a una struttura ad arco a sesto fortemente ribassato le cui componenti di spinta orizzontale si rendevano talvolta evidenti nelle aree in cui il momento spingente, diventato maggiore di quello resistente dovuto al peso del muro, ha causato la perdita di verticalità del muro.

Tali sollecitazioni erano probabilmente note agli antichi costruttori, vista la diffusa procedura di collocare una serie di barre che attraversavano tutto lo spessore dei muri proprio nelle sezioni di massima sollecitazione orizzontale, le murature *a chiodo*, in Figura 14. In alcuni casi il ruolo di catena era svolta dall'analogo sistema di mensole che reggeva l'impalcato del vano contiguo.

Fig. 14 – Mensole (singola e doppie contrapposte) incastrate nella muratura che svolgono anche la funzione di collegamento tra i due paramenti. Localmente sono definite murature a chiodo.

Lo stato attuale

Lo stato di conservazione dei siti e dei manufatti edili di tutta la regione è sufficiente, considerato il generale stato di abbandono in cui si trovano. Va osservato che mentre nell'area giordana la quasi totalità degli edifici è stata abbandonata, in area siriana risulta che molti edifici in basalto sono ancora abitati.

Fig. 15 – Vista dal basso dei resti di un impalcato di solaio rimaneggiato nell'Ottocento.

Le murature presentano quadri fessurativi riferibili fondamentalmente ad azioni sismiche e a processi di abbandono, oltre che alla mancanza di manutenzione, ma anche a fenomeni di recupero di *spolia* impiegate nei nuovi insediamenti. Di grande interesse sono alcuni casi di impalcati disordinati ma comunque efficaci, databili prevalentemente al periodo della rioccupazione drusa, in Figura 15. Lo studio delle antiche lesioni presenta un grande interesse; solo in rari casi sembrano coinvolti gli elementi lapidei, quasi mai fratturati ma piuttosto slittati o rovesciati. Le murature sembrano così essere state congelate, mostrando in maniera eloquente i cinematismi cui sono state soggette. La vasta campagna di interventi avviati in tutta l'area giordana è certamente meritevole ma destano preoccupazione alcune procedure di smontaggio, rilavorazione dei conci e rimontaggio con malte cementizie. La scarsa conoscenza dei materiali e della storia delle tecniche costruttive tradizionali, ma anche la ridotta attenzione per i problemi della compatibilità, in primo luogo quella storica e culturale, ma anche quella tra materiali tradizionali e materiali moderni, e la poca competenza nelle problematiche relative agli interventi sul costruito storico conducono a una progressiva perdita di conoscenze e abilità che sono destinate a produrre ulteriori e più gravi danni in futuro. Con il rischio che ci si accorga di questi danni soltanto quando non sarà più possibile porvi rimedio.

Bibliografia

Barjous M., Mikbel S. 1990. Tectonic evolution of the Gulf of Aqaba-Dead Sea transform fault system. Tectonophysics, 180, 49-59.

Bessac J.C. 1999. La construction. Paris: La Pierre.

Braudel F. 1950, Leçon inaugurale au Collège de France, 1950. In La Catalogne dans l'Espagne moderne, 1962, I, p. 12.

Butler H.C. 1913. Ancient Architecture. In: Syria. Publications of the Princeton University Archaeological Expedition to Syria, Section A: Southern Syria, Sezione 3: Umm Idj Djimal, 149-213. Leyden: Late E. Brill Publishers and Printers.

Butler R.W.H., Spencer S., Griffiths H.M. 1997. Transcurrent fault activity on the Dead Sea Transform in Lebanon and its implications for plate tectonics and seismic hazard. Journal of the Geological Society, London, 153, 757-760.

Coli M., Marino L, Coli N. 2006. L'uso dei materiali lapidei a Umm El-Jemal Giordania. Atti del Convegno Il distretto estrattivo della Gallura: prospettive di valorizzazione economica e culturale dei siti dimessi, Tempio Pausania, 26-28.

Coli M., Marino L. 2007 Le città di pietra nera tra Giordania e Siria. L'informatore del Marmista, 546, 20-31.

Coli M., Marino L. 2008. Principles of Natural Stones Use and Practices from the Western Side of the Silk Road. ISRM News Journal, 11, 74-81.

De Beaune S.A. 2000. Pour une archéologie du geste – Broyer, moudre, piler. Des premiers chasseurs aux premiers agriculteurs. Paris: CNRS Editions.

De Vries B. 1998. Umm el-Jimal. A frontier town and its landscape in Northern Jordan. Fieldwork, 1972-1981. Journal of Roman Archaeology Supplementary Series 26, Portsmouth.

Furet F. 1971, L'histoire quantitative e la construction du fait historique, Annales E.S.C., XXVI, I, p. 68

Harper D. 1987. Working Knowledge: Skill and Community in a Small Shop. Chicago: University of Chicago Press.

Hatzor Y., Reches Z. 1990. Structures and paleostress in the Gilboa region, western margins of the central Dead Sea rift. Tectonophysics, 180, 87-100.

Laws, E.D., Wilson, M. 1997. Tectonics and magmatism associated with Mesozoic passive continental margin development in the Middle East. Journal of the Geological Society, London, 154, 459-464.

Lunina O.V., Mart Y., Gladkov A.S. 2005. Fracturing patterns, stress fields and earthquakes in the Southern Dead Sea rift. Journal of Geodynamics, 40, 216-234.

Marino L. 1991. Insediamenti nel nord della Giordania. Osservazioni sulle strutture all stone a Umm el Jemal. Restauro Archeologico, 1, 13-18.

Marino L. 2000. La lavorazione della pietra in Giordania. Marmor, 68, 41-50.

Marino L., Coli M. 2012. La difesa del *Limes Arabicus* in epoca Romana, Bizantina e Crociata. Osservazioni sull'uso dei materiali lapidei e alcune tecniche costruttive. In: La Transgiordania nei secoli XII-XIII e le frontiere del Mediterraneo medievale (a cura di G. Vannini e M. Nucciotti), 100-110. Oxford: British Archaeological Reports Ltd.

Ron H., Nur A., Eyal Y. 1990. Multiple strike-slip fault sets: A case study from the Dead Sea Transform. Tectonics, 9, 1421-1432.

Russel K. 1985. The Earthquake Chronology of Palestine and Northwest Arabia from the 2th through the mid-8th century A.D. Bulletin of the American Schools of Oriental Research, 260, 37-59. Chicago: The University of Chicago Press.

Sagy A., Reches Z., Agnon A. 2003. Hieratic three-dimensional structure and slip partitioning in the western Dead Sea pull-apart. Tectonics, 22, 4-17.

Note

1. In tutti i villaggi il materiale è stato cavato/raccolto sul posto. Le cave a cielo aperto sono poi state riutilizzate come cisterne dopo essere state intonacate. A Umm el Jemal ne sono state individuate una ventina: il bacino vicino al *castrum* misura non meno di 3800 m^3.

2. Secondo Harper (1987) quelli che costruiscono e riparano possiedono un "sapere che consente loro di vedere […] la finalità complessiva e la coerenza di una tecnica […] E' un sapere in cui il fabbricare e il riparare sono parte di un *continuum*".
3. Le effusioni sono iniziate nel Miocene e sono terminate nel Pliocene, circa 2,3 milioni di anni fa (Barjous e Mikbel, 1990; Hatzor e Reches, 1990; Ron et al., 1990; Laws e Wilson, 1997; Butler et al., 1997; Sagy et al., 2003; Lunina et al., 2005).
4. In arabo: *hadjar aswad* (pietra nera) oppure *nasafa*.
5. Sull'altopiano del Belus nord-siriano è stato invece impiegato il calcare.
6. Tutta la regione è sismotettonicamente attiva (Russel, 1985).
7. Uno degli aspetti più pericolosi negli interventi è il sempre più frequente utilizzo di malte cementizie su murature costruite a secco le cui conseguenze sono già evidenti.
8. Merita fare cenno a una muratura apparecchiata con singolari elementi sagomati a incastro, una efficace e geniale soluzione di incatenamento con funzione anche antisismica.
9. Elementi doppi sovrapposti opportunamente sagomati per ridurre i carichi dall'alto. La stessa funzione è svolta, in alcuni casi, da forature soprastanti gli architravi.
10. Interessanti casi di riuso sono evidenti nel *qasr al Hallabat* dove barre basaltiche, con ogni probabilità provenienti da Umm el Jamal, sono state utilizzate poste per traverso nelle murature in calcare. Nello stesso edificio sono da segnalare le murature divisorie costituite da *spolia* (con resti di iscrizioni greche) di lastre di basalto apparecchiate a incastro e successivamente intonacate.
11. Alcuni vani sono stati coperti con barre di recupero apparecchiate con soluzioni molto articolate per sfruttare al meglio i materiali disponibili: gli elementi di basalto di lunghezza minore della luce del vano da coprire sono utilizzati con una originale disposizione, a formare le ipotenuse dei quattro angoli del vano. Ridotte le superfici libere, altre barre di spessori minori sono appoggiate alle prime e disposte parallelamente ai lati della stanza.
12. Le tracce riconoscibili si riferiscono ai classici strumenti dello scalpellino, usati fino a tempi molto recenti: il martello da cava a testa piatta (*dabbura*) per la sgrossatura dei conci, il picconcello (*q'att'a*) e il martello da taglio (*chacuf*) ma soprattutto il martello a denti taglianti da usarsi con due mani (*chachuta*) e gli scalpelli (*tumbor*). Il controllo degli spigoli era assicurato dalla squadra di metallo (*zauja*).
13. A proposito di ponteggi va segnalata la sopravvivenza, ma sempre più rara, di un singolare sistema di ponteggio costituito da un cavalletto a tre punti di appoggio, due a terra e uno sul muro.

Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari

Analogie fra i ceri di Gubbio e alcune antiche macchine belliche, in particolare con quella che produceva il fuoco greco: lume della fede e spirito guerriero

Origini ed evoluzione della festa dei Ceri

La festa dei Ceri di Gubbio è una manifestazione popolare religiosa, che coinvolge tutta la popolazione della meravigliosa cittadina umbra così piena di storia e di fascino. La tradizione popolare vuole che la festa sia nata come una processione votiva durante la quale le corporazioni dei mestieri offrivano cera e olio in onore del patrono di Gubbio, Sant'Ubaldo, vissuto dal 1085 al1160. Tali corporazioni organizzavano il trasporto di tre grandi Ceri, realizzati in cera con una fiamma sommitale. Altre ipotesi vedono i Ceri legati ai riti precristiani di fertilità o alla cerimonia, descritta nelle antiche Tavole Eugubine (Bower, 1897), oppure al fatto che la festa celebri il trionfo della città di Gubbio su ben undici città, alleate fra loro, avvenuta nel 1151 e che quindi i Ceri siano carri-trofei di guerra e che la parola Cero derivi dal termine *carro*.

Un documento certo del 20 settembre 1471, è custodito nelle carte del Comune di Gubbio, nella quale è scritto che il culto di Sant'Ubaldo è in sensibile declino e che i Confalonieri e i Consoli di Gubbio chiedono aiuto al loro signore, il duca Federico da Montefeltro, nativo di Gubbio e devoto al Santo patrono, per ravvivare la fiamma del culto (Belardi, 2011). Siamo nel periodo di maggior splendore alla corte del Duca. I grandi pensatori di allora, Leon Battista Alberti, Piero della Francesca, Basilio Bessarione e Luca Pacioli [1] sono di casa a Urbino e Gubbio. Il mese di settembre di questo anno è un momento particolare: la moglie del Duca, Battista Sforza, dopo varie gravidanze infruttuose e sei figlie femmine, è di nuovo incinta; sta portando a termine questa nuova gravidanza a Gubbio e spera di dare finalmente un erede maschio al Duca, evento allora di importanza vitale per poter mantenere la continuità del Ducato. I voti di Federico e Battista vengono esauditi: nel gennaio 1472 il tanto agognato erede nascerà e sarà chiamato proprio in onore del Santo patrono, Guidobaldo. Con questi presupposti non sembra fuori luogo pensare che il Duca abbia voluto dare un'impronta indelebile al culto di Sant'Ubaldo e in particolare alla festa della sua città: qualcosa di speciale che avesse al centro oggetti belli e al tempo stesso funzionali e unendo in modo indissolubile il sacro con il profano.

Fig. 1 – Momenti della festa dei Ceri di Gubbio: a sinistra, la festosa discesa delle tre macchine dalla basilica di Sant'Ubaldo; al centro, i tre Ceri montati sulla barella durante la corsa; a destra, la concitata fase dell'abbassata dei Ceri.

In Figura 1 sono mostrati alcuni momenti della festa, a cominciare dalla fase preparatoria che consiste nella festosa discesa delle tre macchine, i Ceri, separate dai loro sostegni, le barelle, dalla basilica di Sant'Ubaldo, posta sul monte Ingino che sovrasta la città, dove sono custodite per tutto il resto dell'anno, fino al palazzo dei Consoli I Ceri vengono poi montati sulle *barelle* ed eretti in posizione verticale, quindi trasportati di corsa per le vie della città. La corsa termina ritornando in cima al monte, dove i Ceri vengono di nuovo rapidamente abbassati, per poter rientrare nel portone del chiostro della basilica (Ambrogi e Farneti, 1994).

Non c'è competizione per arrivare nella prima posizione, perché i tre Ceri, nell'ordine Sant'Ubaldo, San Giorgio, Sant'Antonio, non si possono superare. Tuttavia esiste un forte agonismo che consiste nell'effettuare la corsa nel modo migliore possibile, alla massima velocità[1] ed evitando le possibili cadute, che rappresentano motivo di grave vergogna per tutti coloro che aderiscono a quel determinato Cero, ma soprattutto per i portatori che ne sono stati i diretti responsabili. Alla fine della corsa avviene una strana consuetudine, documentata dal 1680: quando il primo Cero, quello di Sant'Ubaldo, entra nella porta del chiostro della basilica, le ante vengono serrate e gli altri due Ceri restano fuori fino a che gli addetti del Cero entrato non decidono la riapertura della porta. Se tuttavia il distacco tra il primo e il secondo Cero è minimo, il Cero di San Giorgio penetra con violenza tra i battenti della porta e ne impedisce la chiusura, come mostrato in Figura 2.

Da questa descrizione, ma soprattutto vivendo direttamente questa azione, appare abbastanza verosimile l'accostamento con una situazione di assedio che prevede il trasporto di una macchina bellica sotto le mura nemiche, lo scardinamento di una

Fig. 2 – L'arrivo dei Ceri. A sin. dopo l'abbassata il Cero di Sant'Ubaldo entra in piena velocità nella porta del chiostro della basilica. La porta si chiuderà immediatamente; a dx. il Cero di San Giorgio incastrato nella porta nell'arrivo dei Ceri del 1984 (collezione privata).

porta, la "conquista della basilica", l'irruzione e il successivo "saccheggio", lasciato in prima istanza agli artefici dell'abbattimento dell'ostacolo e condiviso solo in un tempo successivo con gli altri.

Inoltre, lo spirito tragico che pervade la festa, i canti e il cameratismo di certi suoi momenti, il mistico coraggio dei portatori che vengono benedetti in "*articulo mortis*" come i soldati prima dell'attacco, hanno delle caratteristiche che presentano molte analogie con un evento bellico, temuto o ricordato, pericoloso in quanto tale, una battaglia condotta tuttavia in modo festoso, ma anche una esercitazione militare con precise regole da rispettare. È quindi spontaneo chiedersi se i Ceri possano essere derivati da qualche macchina bellica antica o se possano avere qualche altra genesi. Tutto ciò è discusso nel seguito.

L'analogia fra i Ceri e gli arieti

Vista l'azione che ha luogo all'arrivo della corsa, diventa immediato l'accostamento con l'ariete, dispositivo noto per essere usato negli assalti alle mura di una città assediata.

La macchina bellica, chiamata ariete dal nome dell'ovino maschio che carica a testa bassa il nemico, ha una lunga storia e rimane uno strumento attivo fino a quando la polvere da sparo, con la sua elevata potenza, lo renderà obsoleto. Nella soluzione arcaica l'ariete prevede una testa metallica montata all'estremità di una massiccia trave. In questa forma, come raffigurato nella Colonna Traiana nel particolare in Figura 3, viene impiegato dai Daci. L'ariete, che come mostrato sempre in Figura 3, è usato anche dall'esercito romano, consiste in un palo appesantito da masse che viene fatto impattare alla massima velocità possibile; per ripetere velocemente questa operazione, viene sospeso all'interno di una capanna che funge così da protezione per gli addetti alla macchina: l'energia cinetica delle masse viene così trasferita nell'urto, in modo simile a quanto avviene nell'uso di un piccone o di un martello. Vegezio (Vegezio, ed. 2003) e Apollodoro descrivono arieti, in particolare Apollodoro riporta

Fig. 3 – A sinistra, l'ariete dei Daci nella Colonna Traiana - A destra sopra, l'ariete romano sospeso (da Vitruvio, 1836) e sotto, quello di Apollodoro a due masse connesse.

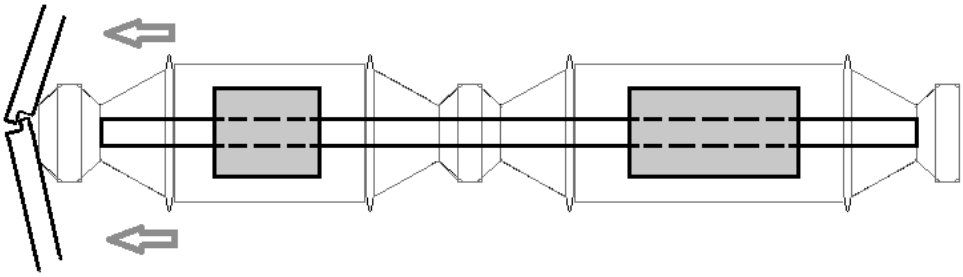


Fig. 4 – Vista in pianta dii un ariete a due masse alloggiate all'interno di un Cero durante un'operazione di sfondamento di una porta.

un ariete nel quale l'asta centrale viene appesantita da due o più masse, o viene composta con più segmenti tra loro strettamente connessi, ancora in Figura 3.

La forma dei Ceri, come evidente in Figura 4, sembra fatta apposta per ospitare due masse fissate lungo la trave interna, come progettato da Apollodoro. Non a caso il loro impiego appare particolarmente adatto per aprire portoni, come accade a fine corsa.

Questa affascinate ipotesi, pur rimanendo viva l'associazione fra la modalità della corsa e l'attacco con l'ariete, perde forza se si pensa che la struttura di un Cero, per quanto robusta nel suo insieme, è particolarmente esile nella sua parte più sollecitata: la trave centrale e la sua testa, oltre ad essere troppo ingombrante. Si sono quindi ricercate altre macchine belliche più leggere alle quali poter fare riferimento come quella qui sotto descritta.

La macchina per produrre il fuoco liquido, detta fuoco greco

Una antica macchina da assalto, di impiego simile a quello dell'ariete e dotata di una struttura leggera, è quella che generava il "fuoco greco" o "fuoco liquido": in sostanza quella che oggi chiameremmo lanciafiamme e che con il suo fuoco inestinguibile, neanche con l'acqua, veniva impiegata proprio per sgretolare le mura di cinta delle città o di aprire, bruciandole, le porte in legno, anche quelle dotate di lamiere metalliche di protezione.

Tucidide ne *La guerra del Peloponneso* [4,100] avvenuta dal 431 al 404 a.C. la descrive in questo modo mettendone in evidenza la struttura di collegamento e il modo di costruzione: "*I Beoti fecero venire dal golfo Maliaco combattenti; armati d'arco e frombolieri. Dopo lo scontro, erano comparsi a rincalzo anche duemila opliti Corinzi e Peloponnesi di presidio ai Nisea, che erano usciti da quella base, oltre ai Megaresi. Puntarono con tutte queste forze su Delio e assalirono la posizione fortificata. Spiegarono varie tecniche d'assalto: infine conquistarono il forte spingendovi contro una macchina così congegnata. Segarono un'enorme trave per il lungo, ne incavarono con cura le due sezioni facendole poi combaciare perfettamente, come per fabbricare un flauto. Inchiodarono con delle catene a un'estremità un braciere verso cui scendeva dall'imboccatura del trave una canna di mantice, di ferro: e per un buon tratto un rivestimento metallico foderava anche il legno della trave. Da lontano presero ad accostare le macchine sempre più vicine al muro, laddove nella struttura prevaleva il legname di vite e le fascine. Quando si trovò alla giusta misura, adattarono mantici potenti all'estremità del congegno a loro rivolta e incominciarono ad insufflarvi aria. Il soffio, violentemente compresso nel braciere, che ardeva di carboni, zolfo e pece, sprigionava una grande fiammata, incenerendo il muro. Sicché nessuno poteva resistervi: i difensori lo disertarono e si dispersero fuggendo. Fu questa la tecnica che consentì di prendere il forte. Del presidio molti caddero duecento furono catturati: gli altri, la massa, balzò a bordo delle navi e puntò sulla patria".*

Nei codici di Apollodoro e di Erone, quest'ultimo nella versione del Barozzi (Barozzi 1572), si trovano immagini di questa macchina dotata di un braciere rovente sul quale viene soffiata aria con un mantice e la fiamma viene quindi diretta verso l'obiettivo da distruggere, come mostrato in Figura 5.

La descrizione più dettagliata, con l'esplicito riferimento agli ingredienti da impiegare per caricare la macchina, viene data da Valturio che è così tradotto da Ramusio: "*Se li inimici vorano resistere & obviare a la armata: serano da essere expugnati con la calliditate & astucia atrovata da li greci. Li vulgari chiameno questa nova inventione di expugnare fuoco greco quale e una mixtura componuta & bulita insieme prima carbone di salice e sale ardente aqua di vita sulfure pegola incenso & uno filo di lana ethiopica & camphora: la quale compositione mirabilmente brusa ogni materia soto laqua . . . infine conquistarono il forte spingendovi contro una*

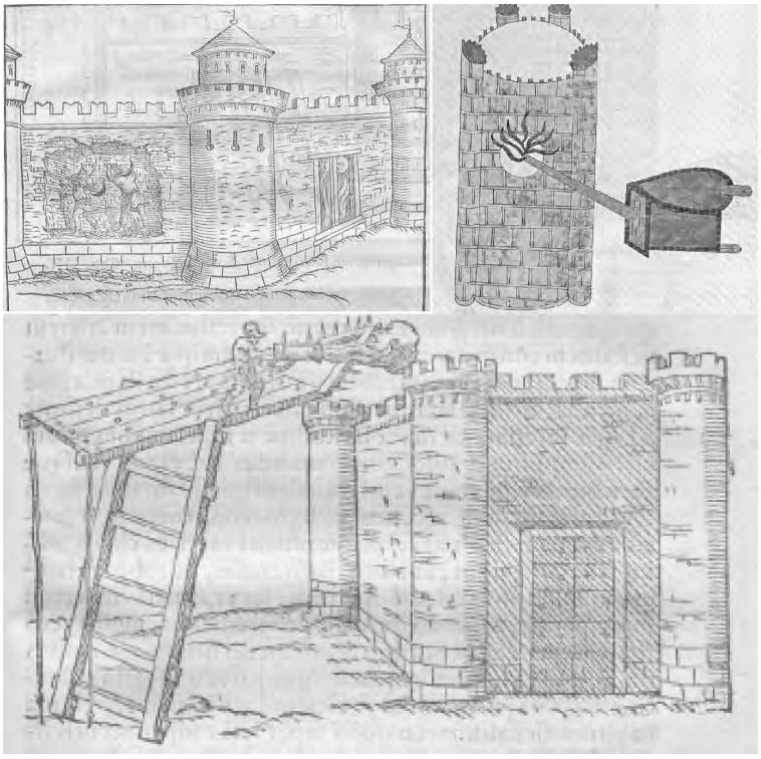


Fig. 5 – In alto, immagini dai codici di Erone e Apollodoro della macchina che produce il fuoco; in basso, una versione portatile usata come lanciafiamme.

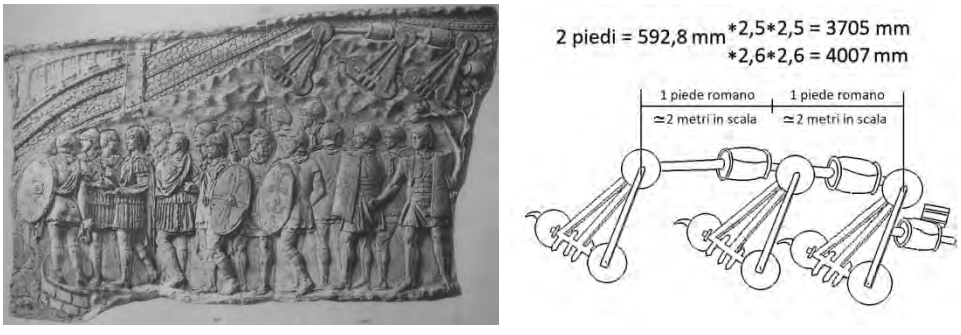


Fig. 6 – A sinistra, particolare della Colonna Traiana (scena XCIV) (da Lepper et al., 1988) con la macchina (angolo superiore destro) pronta ad essere impiegata su ordine dello stesso Traiano: il responsabile della macchina (è l'unico che la sta guardando) ha in mano l'utensile necessario per metterla in funzione. A destra, l'immagine stilizzata della macchina con le misure reali e in scala.

macchina così congegnata" (Valturio, 1472)[2]. Sia quest'ultima macchina che tutte quelle rappresentate nei due codici considerati hanno una struttura che non è pienamente riconducibile a quella dei Ceri. Viene quindi da chiedersi se siano esistite altre tipologie di tali macchine non rappresentate nei codici e che siano coerenti con la descrizione fornita da Tucidide.

Ricercando immagini di macchine d'assalto leggere che possano riprodurre altre versioni del fuoco greco, ci si imbatte nella scena XCIV del rocchio n.14 della Colonna Traiana, in Figura 6, che è da tutti gli studiosi considerata la raffigurazione dell'assedio in Dacia della città di Sarmizegetusa.

La macchina viene scolpita ai piedi di mura e vicino a una porta della città, chiaramente per essere diretta contro di loro. Si tratta di una macchina d'assedio particolarmente importante, data la vicinanza dello stesso Traiano, che discute con lo stato maggiore sul suo impiego e sembra dare ordini all'addetto alla macchina, che gli sta vicino e che è l'unico che guarda l'arma e verosimilmente tiene in mano lo strumento adatto per innescarla.

Questa macchina è stata descritta da numerosi studiosi e associata a un ariete (Cascarino e Sansilvestri, 2012), a una testuggine, a un *embolon*, a un tolleno, e ancora anche ad altre macchine a seconda della fantasia degli studiosi, senza che "*finora nessuno sia riuscito a dare una plausibile interpretazione"* (Liberati, 1999).

Gli Autori, pensano invece che si tratti della macchina per generare il *fuoco greco* o *liquido*, e in questo lavoro la identificano per la prima volta come tale. La macchina, che si caratterizza per i due serbatoi posti in serie che ne permettono il funzionamento, si muove su binari (Martines, 1999) ancora leggibili anche se erosi dal tempo. Questo particolare, alla luce della citata frase di Valturio "*infine conquistarono il forte spingendovi contro una macchina così congegnata"*, appare un'ulteriore prova che la macchina scolpita fosse proprio quella del fuoco greco.

L'analogia fra i Ceri e la macchina del fuoco greco

La macchina sopra descritta presenta caratteristiche proporzionali, morfologiche e funzionali coerenti con i Ceri di Gubbio, come mostrato in Figura 7.

Innanzi tutto la presenza di due serbatoi nei quali ospitare i componenti della miscela che verrà incendiata sono simili ai cosiddetti *buzzi* dei Ceri come schematizzato in Figura 8.

Esiste poi un rapporto diretto di proporzione fra l'immagine rappresentata sulla Colonna Traiana e i Ceri di Gubbio.

La lunghezza reale dell'asta centrale della macchina di Traiano è di 592,8 mm, corrispondente a due piedi romani. Nel bassorilievo, è diffusa una proporzione di 2,5÷2,6 :1 fra la realtà e quanto rappresentato in primo piano[3], proporzione che deve essere raddoppiata per gli oggetti in secondo piano. Con questi rapporti si stima che la macchina avesse una lunghezza di 3705÷4007 mm.

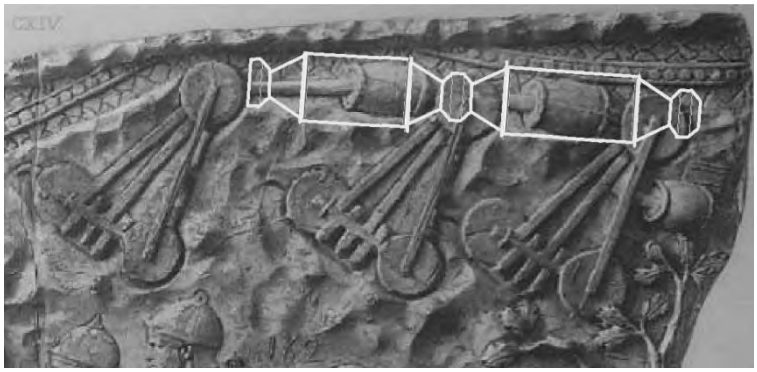


Fig. 7 – Confronto fra il Cero di Sant'Ubaldo e la macchina romana con i cilindri-serbatoi che si proiettano dentro le espansioni del Cero.

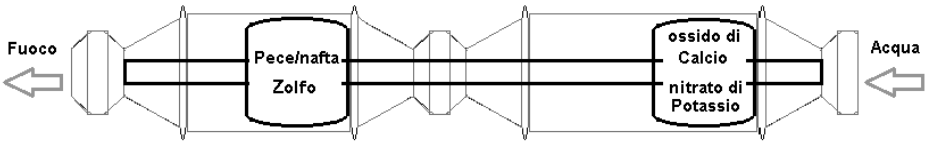


Fig. 8 – Schema di un generatore di fuoco greco alloggiato dentro un Cero.

Tali sono pure le altezze dei Ceri: 3836 mm per Sant'Ubaldo, 4105 mm per San Giorgio e 4058 mm per Sant'Antonio. Non troppo diverse sono anche le misure trasversali, soprattutto se confrontate con gli elementi a forma circolare presenti nel bassorilievo e simile è la forma impostata su due espansioni corrispondenti ai due serbatoi, come evidenziato in Figura 7.

Nel Quattrocento la festa prevedeva ancora una luminaria con Ceri sormontati da fiamme che non si sarebbero dovute mai spegnere, neanche in caso di avverse condizioni climatiche e quindi, ancora una volta, si nota la corrispondenza con il fuoco greco che aveva la peculiarità di non potersi spegnere neppure con l'acqua[4]. Anzi, ci sono versioni del fuoco greco nelle quali l'innesco avveniva gettando acqua sulla calce viva.

All'analogia morfologica tra Cero e macchina da fuoco greco corrisponde anche una analogia funzionale. Infatti, al momento del montaggio del Cero è usanza bagnare l'insieme cero-barella con dell'acqua: un gesto pratico per aumentare la connessione tra i due elementi, ma anche misterioso sulla interpretazione del quale gli

studiosi sono stati largamente divisi (Bower, 1897). Con questa lettura acquistano un senso anche le azioni successive: grande attenzione nel mantenere il Cero ritto, necessità di portarlo a destinazione il più rapidamente possibile e scagliarlo in posizione orizzontale contro l'ostacolo. Sono i momenti di una operazione guerresca contro una città rivale, che rivive ogni anno in occasione dell'alzata, della corsa e soprattutto dell'arrivo dei Ceri. Sarà poi un caso, ma l'antico canto in onore di Sant'Ubaldo, ancora oggi colonna sonora della festa, è "O lume della Fede". Le fiamme, forse a causa della loro intrinseca pericolosità, furono successivamente sostituite dai santi e del fuoco rimase solo il ricordo nel termine "cero" e nella fiammella lignea sulla mano del santo dell'ultimo Cero: Sant'Antonio Abate.

Attribuzione del progetto dei Ceri

L'armonia poliedrica delle 48 tavolette dipinte che rivestono il cero denota una grande competenza in materia di geometria proiettiva (Belardi, 2011). Tale risultato è difficilmente ottenibile con piccole variazioni spontanee spalmate nel tempo, ma più verosimilmente sembra frutto di una unica mente attiva nella seconda metà del quattrocento in una altrettanto definita area geografica, la corte dei Montefeltro, dove operarono in successione grandi artisti come Paolo Uccello, Piero della Francesca, Fra Carnevale, Leon Battista Alberti, Luciano Laurana, e, in seguito, Francesco di Giorgio Martini e Donato Bramante con la discreta e colta presenza attiva di Ottaviano Ubaldini della Carda, fratellastro del Duca.

Il parallelo tra il fuoco perenne e il lume della fede, nel momento particolare nel quale viveva la corte di Federico nel 1471 con tutti i voti e le preghiere di Battista per impetrare la grazia di dare un erede maschio a Federico, cui si è fatto cenno[5], il fervore suscitato dall'Alberti nella lettura del Valturio nello studio delle armi (Baldi e Molari, 2006), la passione per l'alchimia dell'Ubaldini, sembrano formare l'atmosfera adatta per generare questo nuovo oggetto processionale, che però si muoverà di corsa.

Alberti aveva conosciuto il codice di Valturio già durante i suoi soggiorni alla corte di Sigismondo Malatesta e forse aveva anche avuto modo di riprendere alcune immagini dalla Colonna Traiana durante i suoi soggiorni a Roma[6]. Sono significative le frasi che l'Alberti scrive riguardo ai i candelieri nel suo De re aedificatoria, (libro VII, cap. 13) riferendosi a *Gli ornamenti mobili dei templi* "*Sonovi altre fonti d'ornamenti non stabili, con liquali ornasi il Sacrificio. Et altri vagliono ad ornare li tempij, de le quali s'impaccia l'Architetto. Si dimanda qual cosa sia piu bella, overo un trivio, ove giochi una fiorita gioventu, ò il mare di navi cuoperto, ò un campo pieno di soldati e di vettoriose bandiere, ò il foro pieno di senatori, overo un tempio con lieti luminarij illustre? Ma vorrei che li lumi nel tempio havessero maestà, talche non riesce da li piccioli lumi, che usiamo à nostra età. Renderanno adunque vaghezza, essendo posti con qualche modo ordinato, e distendendo le lampadi al dritto per le cornici. La lunghezza del candeliere si divideva in sette parti . . . Il fusto*

del candeliere farasi à gonfiature una sopra l'altra, e ne la cima si metta un vaso à forma di conca pieno di gomma e di legni odoriferi. Leggesi che i principi in Roma facevano ardere ogni solenne ne i gran tempij cinquecento e ottanta libre di balsamo [circa 9817 kg] *comparato de i publichi tributi."* (Lauro, 1546).

Queste frasi ci inducono a considerare il ruolo dell'Alberti nella genesi formale e funzionale dei Ceri di Gubbio come candelabri a doppio corpo alimentati da un fuoco inestinguibile e circondati da *fiorita gioventù* e *campi di soldati*.

La ricerca di antiche macchine belliche presso la corte di Federico continuerà con Francesco di Giorgio, ingegnere ducale dal 1475 circa, nelle formelle di Urbino (Baldi,1590; Molari, 2006). Di lui Vasari scriverà per: "*Fu Francesco grandissimo ingegneri, e massimamente di machine da guerra, come mostrò in un fregio che dipinse di sua mano nel detto palazzo d'Urbino, il qual è tutto pieno di simili cose rare apartenenti alla guerra. Disegnò anco alcuni libri tutti pieni di così fatti instrumenti, il miglior de' quali ha il signor duca Cosimo de' Medici fra le sue cose più care. Fu il medesimo tanto curioso in cercar d'intender le machine et instrumenti bellici degl'antichi ..,"* (Vasari, 1568).

Conclusioni

Lo studio, svolto nel corso di alcuni anni, partendo dalla vissuta partecipazione di uno degli Autori a tutte le fasi della corsa e quindi cogliendone lo spirito che la permea, ha portato a proporre il parallelo fra i Ceri e gli arieti per poi rivolgere l'attenzione verso macchine d'assedio più leggere e in particolare verso quella impiegata da Traiano nell'assedio di Sarmizegetusa, identificata in questo lavoro come un generatore del fuoco greco, per arrivare a intersecare la sacralità del fuoco perenne con il culto di Sant'Ubaldo, lume della fede.

Da ultimo, si argomenta di attribuire la paternità dei Ceri alla corte Feltresca, e in particolare a Leon Battista Alberti, sorretto dallo spirito guerriero di Federico da Montefeltro, dalla fede di Battista Sforza e dalle conoscenze alchemiche dell'Ubaldini. Sembra lecito pensare come i grandi geni che vivevano alla corte del Duca abbiano voluto dare una impronta particolare alla tradizione del paese natale del Duca, onorando così il voto fatto al Santo patrono per la grande grazia ricevuta con la nascita del tanto desiderato erede maschio.

Tutti questi fattori hanno favorito l'evoluzione della festa verso una corsa-rito non competitiva, ma molto agonistica, esaltazione di forza e ardimento che sfida ancora i secoli: una specie di esercitazione guerresca aperta a tutti e non solo ai cavalieri, come giostre e tornei. Da allora la festa si celebra non solo "*hilariter*", come aveva già consentito Papa Celestino III nel 1192 con una particolare bolla, ma anche "*pugnaciter*".

Bibliografia

Ambrogi V., Farneti M. 1994. *La forma, gli uomini, la corsa dei Ceri della città di Gubbio*, Ed. Fortuna, Fano

Baldi B. 1724. Memorie concernenti la città di Urbino (con "Notizie e Pruove" di Francesco Bianchini) Roma: Salvioni; in anastatica 1996, Bologna: Arnaldo Forni

Barozzi F. 1572. Heronis mechanici Liber de machinis bellicis, necnon Liber de geodaesia a Francisco Barocio patritio Veneto latinitate donati, multis mendis expurgati, & figuris, ac scholijs illustrati. Venetiis: apud Franciscum Franciscium Senensem, 1572

Belardi P. 2011. *Divinae proportiones- Il disegno euclideo dei ceri di Gubbio*. Perugia: EFFE Fabrizio Fabbri Editore.

Bower H.M. 1897. The elevation and procession of the Ceri at Gubbio. London: Folklore Society, London

Cascarino G., Sansilvestri C. 2012. *L'Esercito Romano- Armamento e organizzazione*. IV. Rimini: Il Cerchio.

Cenedella A.G. 1841. Sul fuoco greco: ricerche storico-sperimentali. Tesi di Laurea in Chimica nell'Università di Pavia, Brescia: Tipografia Venturini.

Cheles L. 1986. *The Studiolo of Urbino: An Iconographical Investigation*. Wiesbaden: Ludwig Reichert.

Di Battista R., Molari P.G. 2011. The first launching of a mine: Francesco di Giorgio and the capture of Castel Nuovo. In: *Reconstructing Francesco di Giorgio Architect* (B. Hub B, A. Pollali eds.), 163-184. Frankfurt am Main: Peter Lang.

Liberati A.M., 1999. Le macchine da guerra in età imperiale. In: *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco* (a cura di A. La Regina), 107-114. Milano: Electa.

Lauro P. 1546. *I dieci libri de l'architettura di Leon Battista Alberti fiorentino. Venezia: Vaugris.*

Lepper F., Frere S.S. 1988, Trajan Column A new Edition of the Cichorius Plates, 165-167. Ed. Sutton, Gloucester

McNab C. 2012. La grande storia dell'esercito di Roma. Gorizia: LEG Edizioni.

Martines G.,1999. Note di tecnica su Apollodoro. In: *L'arte dell'assedio di Apollodoro di Damasco* (a cura di A. La Regina). Milano: Electa.

Molari L., Molari P.G. 2006. Il trionfo dell'ingegneria nel fregio del palazzo ducale di Urbino. Pisa: ETS.

Richmond I. 1982. *Trajan Army on Trajan's Column*. Roma: British School.

Valturio. 1472. De re militari. (traduzione a cura di P. Ramusio, 1483, Verona: Bonini).

Valturio. 1462. De re militari, Biblioteca Apostolica Vaticana - Manoscritto Urb. lat. 281

Vasari G. 1568. Le Vite de' piu eccellenti Pittori, Scultori et Architettori, Scritte, & di Nuovo Ampliate da M. Giorgio Vasari Pit. et Archit. Aretino. Co' ritratti loro et con le nuove vite dal 1550. insino al 1567. Firenze: Giunti.

Vegezio P.F. V sec. Epitoma rei militaris. Edizione del 2003 (a cura di M. Formisano). Milano: Biblioteca Universale Rizzoli

Vitruvius P. (a cura di Marini L.). 1836, Vitruvii De Architectura libri decem. Roma, Marini

Webgrafia

[1] http://amsacta.unibo.it/3513/1/DueLibriSuPiero.pdf

Note

1. Da tenere presente che il peso dei tre Ceri, comprensivo di quello della barella, è di 251 kg per sant'Ubaldo (160,50+90,73), 266,32 kg per San Giorgio (174,55+91,77) e 267,44 kg (163,37+104,07) per Sant'Antonio (Ambrogi e Farneti, 1994).
2. Per le reazioni che avvengono all'interno della macchina si può consultare (Cenedella, 1841), disponibile presso la Biblioteca Comunale di Mantova MEC 42851 - 2972/9013 VERO 758514
3. L'altezza di un legionario è sulla colonna di 675 mm (presa dalle tavole in scala 1:5; 135 x 5= 675) con un rapporto 2,5 si ottiene una altezza di 1,69 mentre con un rapporto 2,6 si ottiene un'altezza di 1,755 confrontabili con le altezze desunte da reperti ossei (McNab, 2012).
4. Si poteva spegnere solo con l'aceto o con l'urina (Cenedella, 1841).
5. Di questa atmosfera di voti ne fa diretta testimonianza il quadro di Piero della Francesca detto "La madonna di Senigallia" nel quale "la Batista" aveva dietro di sé una credenza vuota [1].
6. Va qui ricordato l'interessamento dell'Alberti non solo all'architettura di Roma e nel rilievo della *Forma Urbis*, ma anche il suo impegno a voler fare emergere una delle navi romane di Nemi.

Alfredo Buccaro

Il 'Codice Tarsia' nella Biblioteca Nazionale di Napoli: metodi e linguaggi per l'architettura e l'ingegneria del Mezzogiorno nel Cinquecento

Abstract

The recent our studies on the occasion of the exhibition at the National Library of Naples for the Celebrations of V Centenary after Leonardo's death have highlighted the historical importance of the 'Codex Tarsia' with reference to the diffusion of Renaissance methods and languages after Leonardo in Neapolitan architecture and engineering during the second half of the sixteenth century. The Codex, really a 'Book of drawings' with a repertoire of over 130 graphics, is articulated from the scale of the column capital to the urban one; it contains a lot of antiquity reliefs and architectural projects, largely in the field of Vignola's works for Farnesian patronage, as well as very interesting drawings of Italian, European and Mediterranean fortified cities. This graphical collation, set up by the beginning of the seventeenth century, never fully analyzed before this occasion, has been studied within the exhibition book and the digital catalog by the Center CIRICE of University of Naples Federico II and by the scholars of the National Library in Naples. This corpus represents a valuable contribution to the theoretical and professional production in Italy during the late Renaissance and to its influence in the Southern Italy. The complex story of the Codex Tarsia – originally in Rome, then arrived in Naples probably through the architect and cartographer Mario Cartaro in the late sixteenth century and first belonged to the scientist and engineer Colantonio Stigliola, then to Spinelli of Tarsia family, and finally vested by the Bourbon Royal Library in the late eighteenth century – is based on an editorial project, ascribable to Stigliola himself, that would have offered a very important and rich work tool to Neapolitan professionals: it would have been updated on the models offered by the architectural and urban debate in progress at that time in the Italian and European context.

Introduzione

I recenti studi, coordinati da chi scrive in occasione della Mostra tenutasi presso la Biblioteca Nazionale di Napoli per le Celebrazioni del V Centenario Vinciano (12 dicembre 2019-13 marzo 2020), hanno evidenziato l'importanza del *Codice Tarsia* con riferimento alla diffusione post-vinciana dei metodi e dei linguaggi rinascimen-

tali nell'architettura e nell'ingegneria napoletana della seconda metà del Cinquecento (Buccaro e Rascaglia, 2020)

Il Codice[1], vero è proprio 'Libro di disegni' con un repertorio di oltre centotrenta grafici di estremo interesse, collocabili tra gli anni '40 e i '90 del XVI secolo, si articola dalla scala del capitello a quella della città, ospitando rilievi di antichità e progetti di edifici in gran parte di ambito vignolesco per la committenza farnesiana, oltre a disegni di città fortificate italiane, europee e del Mediterraneo. Questa collazione grafica, allestita entro gli inizi del Seicento e mai analizzata nella sua interezza prima di tale occasione, è stata oggetto di una catalogazione digitale da parte degli studiosi del Centro CIRICE dell'Ateneo Fridericiano e della Biblioteca Nazionale.

La complessa vicenda del Codice, di provenienza romana, giunto a Napoli con ogni probabilità attraverso l'architetto e cartografo Mario Cartaro sul volgere del XVI secolo e appartenuto prima all'architetto-ingegnere Nicola Antonio Stigliola,

Fig. 1 – Anonimo, Portale con scena prospettica, 1560-65 ca. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 6r (da Buccaro-Rascaglia 2020).

Fig. 2 – Anonimo, Prospetto e fianco di capitello, metà sec. XVI. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 8ra (da Buccaro-Rascaglia 2020).

poi alla famiglia Spinelli di Tarsia, infine, dal volgere del Settecento, alla Biblioteca Reale, ruota intorno a un probabile progetto editoriale che può essere attribuito proprio a Stigliola: si sarebbe offerto in tal modo ai professionisti napoletani uno strumento di lavoro di particolare importanza e ricchezza, aggiornato sui modelli diffusi all’interno del dibattito architettonico e urbanistico in atto a quell’epoca nel contesto italiano ed europeo.

L’importanza del Codice nello scenario dei ‘Libri di disegni’ del Cinquecento

Temi come quello della diffusione della lezione vinciana, dei linguaggi e delle tecniche dell’architettura nel Cinquecento italiano trovano nel *Codice Tarsia* un significativo riscontro, trattandosi di una silloge grafica concepita, per così dire, ‘dal capitello alla città’ e per questo suscettibile di approcci analitici e critici alle diverse scale della progettazione. Come sappiamo, la scienza e l’arte di Leonardo si diffondono e traspaiono quasi in ogni esperienza consumatasi nel Cinquecento e oltre, nei contesti più vivaci e fecondi della penisola, ma anche d’oltralpe, vista l’influenza che la presenza del maestro in Francia seppe esercitare sui futuri sviluppi del dibattito artistico e scientifico europeo.

Fig. 3 – Anonimo, Studio di scena, seconda metà sec. XVI. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 25r (da Buccaro-Rascaglia 2020).

Se su alcuni disegni presenti nel Codice sono stati da tempo redatti interessanti studi (Di Mauro, 1988, 34 sgg.; Starace, 1999, 121-128), pure va detto che si è trattato di disamine condotte in modo slegato, piuttosto che in rapporto alla problematica relativa all'intero complesso grafico: di conseguenza l'esame dell'intero *corpus* ha potuto consentire in più di un caso ipotesi e riscontri altrimenti impossibili. Innanzitutto abbiamo potuto classificare il Codice come un 'Libro di disegni' e in particolare un 'album' (Nesserlrath, 1986, 89-147): si tratta infatti di una raccolta di grafici di più autori e su molteplici temi, articolata in due volumi miscellanei ordinati per tipologie architettoniche (Nesserlrath, 1986, 144, n. 11; Lanzarini, 2006, 239-246), con fogli di epoche, materiali e formati diversi, inseriti solo sul volgere del Settecento negli attuali contenitori, pur nel rispetto dell'ordine progettato da chi li ha collazionati e incrementati nel tempo. Infatti a partire da un nucleo omogeneo, fatto di disegni pressoché coevi e in molti casi palesemente dello stesso autore, il nostro 'catalogo' si amplia accogliendo tipologie grafiche che, secondo una precisa logica tassonomica, giungono fino alla scala urbana, svelando il progetto di una silloge utile alla bottega professionale come, più tardi, al collezionista.

L'album viene allestito sul volgere del Cinquecento, quando dalle raccolte grafiche degli artisti rinascimentali, contenenti modelli tratti direttamente o indirettamente dall'Antico, per scopi archeologici o di studio, didattici o professionali, si va verso collazioni finalizzate alla diffusione e alla stampa, sempre più specialistiche, nel nostro caso di architettura. Siamo ormai in un'epoca in cui il disegno ha assunto valore in sé e non è più solo strumentale all'opera da eseguirsi, assurgendo al ruolo di modello, spesso copia (persino completata 'in bella' secondo modelli già diffusi) di un originale non più esistente.

Nel rinviare al volume-catalogo della mostra per l'esame accurato dei diversi temi e progetti contenuti in questi disegni e per le ipotesi ricostruttive della vicenda del Codice tra Sei e Settecento, è in generale proponibile una datazione del *corpus* tra il 1541 e il 1598, che si riferisce a un periodo assai significativo, sia dal punto di vista storico e politico generale, sia per quanto concerne la storia dell'architettura e dell'ingegneria. La collazione di questo patrimonio grafico, sebbene ancora in forma sciolta, potrebbe essere stata condotta a partire dagli anni '90 del XVI secolo, all'interno del citato progetto editoriale concepito dall'architetto-ingegnere, scienziato e filosofo nolano Nicola Antonio Stigliola (1546-1623)[2] insieme con il dotto professore e avvocato Marco Antonio Sorgente, probabile finanziatore dell'iniziativa.

Non sappiamo se la raccolta fosse già presente nella biblioteca degli Spinelli di Tarsia nel XVII secolo, potendo invece essere stata acquisita in occasione della sistemazione, avviata da Ferdinando Vincenzo Spinelli intorno al 1740, del patrimonio librario proveniente dal feudo calabrese di Terranova di Tarsia nel nuovo palazzo napoletano sorto fuori Porta Reale su progetto di Domenico Antonio Vaccaro (Mormone, 1962, 216-227; Buccaro, 1992, 462-464; Manzo, 1998). Qui il principe, con

l'intento di rendere la biblioteca accessibile al pubblico, la potenziò in ogni modo con l'acquisto di libri, manoscritti e macchine scientifiche. Ma già nel 1753, con la morte dello Spinelli, il patrimonio vedrà una rapida decadenza, finendo smembrato e venduto negli anni '90 per essere infine in buona parte acquisito dalla Biblioteca Reale.

Nel Codice sono chiaramente individuabili alcuni temi principali: le antichità romane, i portali e le 'scene' architettoniche, l'architettura privata e religiosa, fino alle città fortificate 'alla moderna'. Il nucleo più antico della raccolta va individuato all'interno del Ms. XII.D.74, nei fogli di un 'taccuino' di antichità, probabile traccia della fervida attività di rilievo e studio dei reperti romani promossa in seno all'Accademia Vitruviana a partire dalla sua fondazione nel 1538; ad essi si aggiunge un repertorio di disegni 'vignoleschi' di evidente ispirazione serliana e un altro di grafici di rilievo o progetto di palazzi ed edifici privati e religiosi, tra cui alcune delle principali architetture eseguite o completate da Vignola su commissione della potente famiglia Farnese tra il 1550 e il 1570: tra esse, la grande residenza di famiglia a Roma, il palazzo di Caprarola e l'opera di proseguimento della fabbrica di San Pietro dopo la spinta data alle opere da papa Paolo III e dal cardinale Alessandro Farnese.

Seguono, nel Ms. XII.D.1, grafici relativi alla politica spagnola di potenziamento e fortificazione delle principali città delle Fiandre – che vide un cospicuo impegno, tra gli altri, del duca Alessandro Farnese e dell'ingegnere Francesco Paciotto – e a quella, promossa dai governi spagnolo e veneziano negli anni '60-'80, di rafforzamento dei poli strategici del Mediterraneo contro i Turchi. Completano il *corpus* numerosi elaborati di ambito civile e religioso databili intorno agli anni '90, probabilmente aggiunti attraverso ulteriori acquisizioni in ambito romano e napoletano protrattesi per almeno un ventennio e forse ben oltre l'iniziale idea di pubblicazione.

Un possibile progetto editoriale

È nota la molteplicità di interessi di Stigliola, dalla cartografia all'ingegneria delle fortificazioni, dall'architettura alla scultura, al disegno, all'incisione. Nella circostanza in esame egli potrebbe aver concepito il progetto di edizione della raccolta, sostenuto da Sorgente e finalizzato alla stampa di una silloge di architettura e urbanistica, ossia di un 'Libro di disegni' atto a custodire e a diffondere, in una sorta di 'digest', modelli utili per la progettazione. Operazione questa che Stigliola avrebbe condotto nel contesto della propria attività di tipografo attento ai temi delle scienze dell'architettura e dell'ingegneria. La sua tipografia presso Porta Reale fu famosa, dovendosi ad essa, nella pur breve attività, la pubblicazione di opere di Torquato Tasso, Scipione Mazzella, Ferrante Imperato, Giovan Battista Della Porta e altri illustri autori (Manzi, 1968).

Questa "UNIO RARA ARCHITECTURÆ", come viene intitolata la raccolta nel frontespizio[3], da intendersi quale collazione di modelli di Architettura, avrebbe dun-

que offerto ai professionisti un repertorio grafico pressoché completo e aggiornato dal punto di vista linguistico e tipologico-architettonico, secondo il modello degli album di architettura, molto richiesti nell'ambiente del tardo Rinascimento, in un'epoca in cui il collezionismo grafico si andava diffondendo sulle orme di Giorgio Vasari, di Niccolò Gaddi, di Gian Vincenzo Pinelli, essendo destinato a raggiungere i livelli di massima espressione alla metà del Seicento con Sebastiano Resta e Cassiano dal Pozzo (Nesselrath, 1992, 145-167; Montagu et al., 2001).

All'interno di questo repertorio grafico alquanto disomogeneo è possibile riconoscere un nucleo originario intorno al quale il *corpus* viene a formarsi. Solo sul volgere del XVI secolo si giungerà all'attuale silloge, fatta di dettagli archeologici, elementi stilistici e parti di architetture dell'antichità, modanature, prospetti, piante e sezioni di edifici appena costruiti, in corso di esecuzione o allo stato di progetto, elementi architettonici ecclesiali e dettagli decorativi; a questi grafici si aggiungono quelli alla scala urbana che, come si è detto, riguardano essenzialmente lo sviluppo delle tecniche di fortificazione nei progetti di difesa di poli strategici significativi: dalle città dei Paesi Bassi a quelle del Mediterraneo, come Malta, Corfù, Nicosia o i porti pugliesi e siciliani.

Il frontespizio è attribuibile a Stigliola (Starace, 1999, 121-128), essendo assai simile, per il ritratto di Sorgente raffigurato al suo interno come per lo stemma di Filippo II che lo precede, a quello ritrovabile nel *De Neapoli Illustrata*, opera postuma dello stesso Sorgente edita da Stigliola nel 1597[4]. Entrambi I frontespizi riprendono l'impostazione adottata da Vignola nella *Regola*, in cui per la prima volta compare al centro il ritratto dell'autore del trattato; il circostante impianto architettonico e la relativa decorazione si ritrovano assai simili nel camino ideato dallo stesso Vignola per il primo piano di palazzo Farnese (1564), il cui disegno è anch'esso inserito tra le tavole della *Regola*.

La raccolta napoletana sarebbe dunque appartenuta a Stigliola, al quale va pure attribuita l'integrazione, fino agli inizi del Seicento, del primo nucleo di provenienza romana con tutti o parte dei grafici di ambito napoletano; il *corpus* si sarebbe fortunatamente salvato a seguito della distruzione delle carte dell'ingegnere avvenuta, come è noto, in occasione della congiura di Macchia nel 1701 (Manzi, 1968, XI). Se, dunque, ci pare di poter attribuire a lui il progetto editoriale, rimasto senza esito forse per la scomparsa di Sorgente, non risulta casuale la scelta del frontespizio secondo il disegno ispirato proprio allo stile di Vignola, del quale è presente nella collazione un'ampia rappresentanza di opere di committenza dei Farnese.

Alla collaborazione di Stigliola con Mario Cartaro (1540-1620) nella redazione dell'*Atlante* del Regno di Napoli, tra il 1592 e il 1595, potrebbe risalire l'acquisizione del *corpus* di provenienza romana. Infatti Cartaro lavora prima a Roma con Antoine Lafréry negli anni '60-'70: è nota la sua incisione del disegno di Vignola per la facciata della chiesa del Gesù (1573); addirittura nel 1577, alla morte dell'incisore

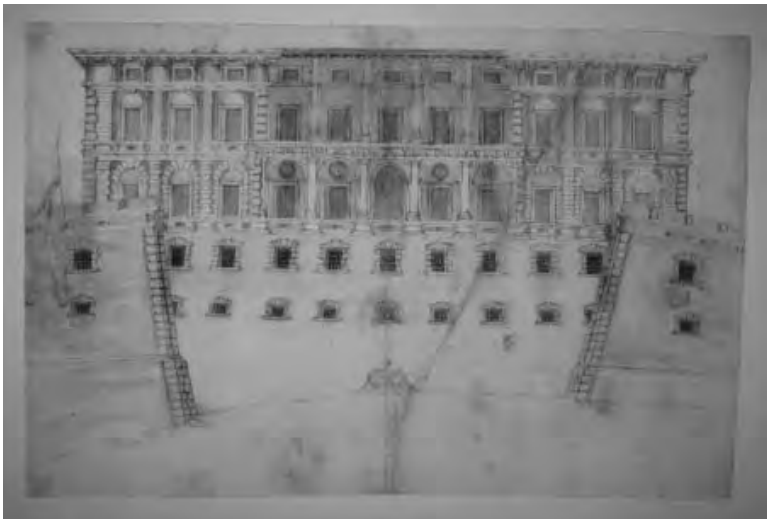


Fig. 4 – Anonimo (da Nanni di Baccio Bigio?), Palazzo Farnese a Caprarola, 1556-59 ca. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 21r (da Buccaro-Rascaglia 2020).

francese, viene incaricato di stimarne l'eredità proprio in virtù della sua vicinanza al maestro e della grande esperienza nel campo delle incisioni di arte e architettura. Si tratta di un passaggio cruciale, che può aver favorito l'acquisizione di materiale manoscritto da parte di Cartaro, il quale, dopo aver collaborato anche con Egnatio Danti a una mappa del territorio di Perugia (1580), nel 1586 si trasferisce a Napoli su richiesta del viceré conte di Miranda con l'incarico di collaborare con Stigliola nella redazione della cartografia del Regno richiesta dalla Regia Camera della Sommaria (Borroni, 1977). Non è escluso che l'incisione del disegno del Gesù rientrasse in un più ampio progetto di pubblicazione dell'opera completa di Vignola da parte di Lafréry: potrebbe quindi essere sorta in Stigliola l'idea di ordinare il materiale tratto da quella rinomata officina, integrandolo con altri grafici in suo possesso e programmandone un'edizione per i propri tipi. Il completamento della raccolta con grafici relativi al territorio campano e meridionale e ad opere napoletane in cui Stigliola appare in qualche caso direttamente coinvolto potrebbe confermare l'idea che esso sia avvenuto proprio a Napoli.

Le tracce dell'attività di Vignola per i Farnese

Con riferimento al Ms. XII.D.74 e alle origini del nucleo principale del *corpus* nell'ambiente romano, vi riconosciamo molte tracce dell'attività di Vignola, dirette o indirette, segnatamente del suo impegno giovanile per l'Accademia Vitruviana, di cui fu forse segretario (Giovannoni, 1931, 254), e poi dell'ampia produzione archi-

tettonica su committenza farnesiana. In particolare, i legami di questi grafici con le opere promosse da Paolo III (1534-49) affiorano in molti casi.

Il citato 'taccuino' di antichità presente nel Codice (Lanzarini, 2020), elaborato a partire dagli anni '40 del Cinquecento, ossia proprio dal papato di Paolo III, si inquadra nella colta tradizione di studi sull'Antico che parte dalla seconda metà del '400 con Francesco di Giorgio Martini, Giuliano da Sangallo e Fra Giocondo. Esso va collocato in una più ampia 'famiglia' di codici cinquecenteschi, probabilmente derivanti dallo stesso archetipo, alcuni dei quali destinati a essere più volte ricopiati e integrati anche nel corso del Seicento (Pray Bober, 1989, 372-379; Waters, 2012, 488-523); rispetto ad essi, però, il nostro repertorio presenta notevoli peculiarità – è, ad esempio, il solo che presenti soggetti postillati con termini vitruviani – che lo fanno emergere tra gli studi cinquecenteschi sull'Antico. Il taccuino si aggiunge dunque ai *Libri delle antichità* di Pirro Ligorio (Pirro Ligorio, 2009) (anch'essi presenti a Napoli e un tempo gemma del patrimonio della biblioteca-museo di palazzo Farnese) quale testimonianza preziosa della stagione di studi sui frammenti dell'Antico promossi dalla potente Accademia romana, che in più occasioni si incrociano proprio con l'attività filologica e archeologica condotta a Roma da Ligorio al servizio dei Farnese negli stessi anni '40.

Fig. 5 – Anonimo, Prospetto e sezione della basilica di San Pietro, 1560-61 ca. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 22v (da Buccaro-Rascaglia 2020).

Si può ipotizzare che Vignola fosse a Roma già prima del Sacco del ‘27, collaborando con Peruzzi, e che dopo l’esordio bolognese, alla fine degli anni Trenta, fosse nuovamente attratto dallo studio dei monumenti antichi: è accertata la sua presenza in Belvedere nel 1538 alle dipendenze di Meleghino, ove lavora come disegnatore per l’Accademia Vitruviana (Günther, 2007, 126-128). Vasari sottolinea quanto l’attività di disegno dei monumenti antichi avesse giovato alla sua formazione (Vasari, 1906, VII, 106) prima di cominciare a lavorare in Vaticano nel 1541 sotto Paolo III, passando quindi in Francia con Primaticcio e poi nuovamente a Bologna. Non è dunque casuale la presenza del taccuino nel materiale farnesiano del nostro Codice e neppure è da escludere che questi disegni, direttamente o indirettamente, si riferiscano proprio alla prima attività romana di Vignola. A ciò va aggiunto l’evidente approccio, più da architetto che da filologo, che i grafici mostrano sia nello sforzo alquanto ingenuo, da parte dell’anonimo autore, di un chiarimento degli etimi architettonici greci presenti nella terminologia vitruviana, sia nei diversi errori in cui incorre per quelli latini, sia soprattutto per la tecnica di rappresentazione su base ortogonale.

Seguendo l’articolazione delle parti che compongono il Ms. XII.D.74 e considerando, parallelamente, la vicenda dell’intensa attività di Vignola da Roma a Bologna a Fontainebleau, poi di nuovo a Bologna e infine a Roma, è possibile cogliere nel gruppo dei grafici relativi alle opere farnesiane il riscontro di una ricerca linguistica e progettuale destinata ad avere un’amplissima influenza non solo sul dibattito architettonico, ma sul valore che il disegno di architettura viene ad assumere e, con esso, su quello di mercato. Sicché prende sempre più corpo l’ipotesi che questi grafici, che

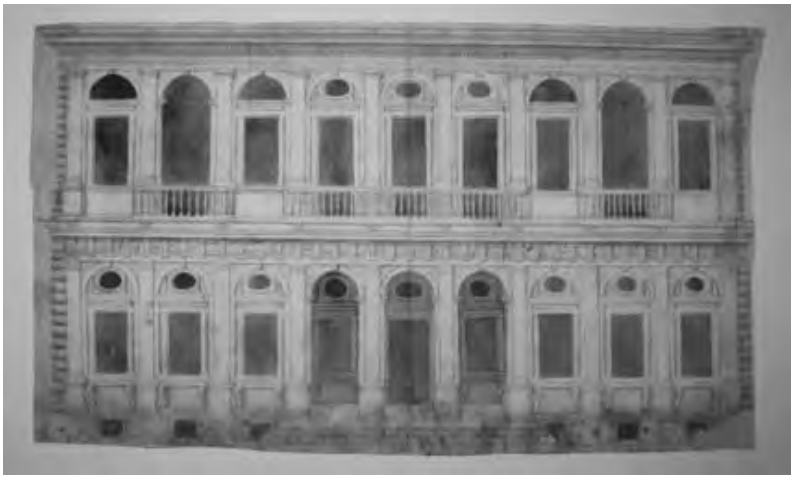


Fig. 6 – Anonimo, Studio di palazzo, facciata, seconda metà sec. XVI. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 24var (da Buccaro-Rascaglia 2020).

siano di Vignola o di altri a lui vicini, fossero effettivamente destinati all'edizione di un repertorio a stampa di qualità, che nell'ambiente romano solo Lafréry sarebbe stato capace di assicurare.

L'esperienza francese, a contatto con Serlio, con Primaticcio, con Cellini, ma soprattutto con quanto, e non era poco, Leonardo aveva lasciato in termini di metodi e di scritti in materia di prospettiva e di ingegneria, dovette rappresentare una vera svolta per Vignola. Il processo continuo di 'riduzione' dell'antichità alla regola era stato intrapreso da Serlio per metterlo a disposizione degli architetti meno dotati e diffonderlo anche in luoghi poveri di esempi antichi ma ricchi di stimoli a soddisfare una domanda sempre più esigente e, spesso, 'bizzarra'. Vignola porta innanzi questo processo senza banalizzarlo, ma anzi, come fa parallelamente Palladio, arricchendolo dei risultati della propria ricerca e dando diritto di cittadinanza persino all'ordine rustico e alle 'licenze' serliane (Günther, 2007, 129-130). Gli effetti di questo processo di sistematizzazione trovano nel Codice ampi riscontri: dalle diverse 'scale' delle opere di ambito farnesiano e romano, ordinate all'insegna di Serlio e della Regola, esso giunge a ispirare il generale impianto tassonomico della raccolta: un excursus di straordinaria ricchezza atto a 'rappresentare' l'architettura attraverso modelli e casi emblematici. E cosa, se non l'opera di Vignola per i Farnese, poteva esprimere al meglio il fulcro di quel repertorio? Ne risulta un 'Libro di disegni' ad amplissimo spettro che, se dato alle stampe, avrebbe rappresentato ben più che il vanto di un ricco collezionista e bibliofilo.

Infine, anche per quanto riguarda l'architettura religiosa, dai disegni del Codice risulta evidente l'esigenza di una 'rappresentanza' dei tipi e delle parti ecclesiali che, a partire dalle norme del Concilio di Trento, si andavano diffondendo in ambito controriformistico; disegni che, nel nostro caso, testimoniano della lunga stagione di adeguamento delle chiese alla liturgia postconciliare, secondo precise prescrizioni, che interessò anche l'ambiente napoletano. Ancora una volta risulta decisivo, nella prima diffusione di quelle norme, il ruolo del cardinale Farnese e l'incarico da lui conferito a Vignola, a valle della nota e lunga sequenza di progetti, di disegnare la chiesa del Gesù a Roma con navata unica a volta e cappelle laterali. Particolare importanza riveste poi il disegno alla c. 22v, riguardante la basilica di San Pietro e databile secondo Bellini (Bellini, 2020) tra la metà del 1560 e la fine del 1561, ossia quando Michelangelo è ancora in vita. Ma esso potrebbe anche essere copia tratta da originali del maestro, coeva o degli anni successivi. Nel disegno Bellini riscontra dunque diverse mani possibili e più parti derivanti da progetti differenti, non tutti poi eseguiti e proprio per questo di particolare interesse. Il grafico precede sicuramente le note incisioni di Dupérac (1569) che tengono conto, in buona sostanza, della revisione finale del progetto compiuta da Vignola a partire dai primi mesi del 1567; l'elaborato napoletano potrebbe quindi fare riferimento a un disegno o a un modello del fronte della basilica già elaborato da Michelangelo entro il 1560-61 e qui rappresen-

tato probabilmente per finalità di studio o editoriali. Ma proprio quanto già costruito tra il 1562 e il 1565 renderà presto il grafico superato, rinunciandosi a diffonderlo e finendo ben presto nel mercato dei collezionisti: il disegno potrebbe, per la qualità del tratto e la chiarezza della costruzione geometrica, essere stato redatto da Vignola ancor prima di assumere la direzione del cantiere (1564) oppure da uno dei tanti disegnatori di Giovanni Antonio Dosio e far parte di quegli elaborati da cui stampatori come Lafréry traevano incisioni, cedendo poi ad altri o vendendo gli originali.

Conclusioni

Oltre alle comuni origini e alle palesi affinità grafiche tra numerosi disegni presenti nel primo volume della raccolta napoletana, che potrebbero confermarne la matrice vignolesca, nel catalogo della recente mostra abbiamo evidenziato la straordinaria importanza anche della seconda parte dell'album, relativa al tema urbanistico, che non approfondiamo qui per brevità. In ogni caso va sottolineata l'opportunità che il 'Libro di disegni' della Biblioteca Nazionale di Napoli potrà offrire nei prossimi tempi per approfondire aspetti ancora sconosciuti dell'architettura italiana ed europea del Cinquecento.

Bibliografia

Bellini F. 2020. Il 'disegno di Napoli': immaginare il san Pietro di Michelangelo nel 1561. In: *Leonardo e il Rinascimento nei Codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria* (a cura di A. Buccaro e M. Rascaglia). Poggio a Caiano/Napoli: CB Edizioni/ CIRICE FedOA Federico II University Press.

Borroni F. 1977. Cartaro, Mario. In: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 20.

Buccaro A. 1992. Modelli funzionali della residenza nobiliare napoletana: le fonti catastali. In *L'uso dello spazio privato nell'età dell'Illuminismo* (a cura di G. Simoncini), 462-464. Firenze: Olschki.

Buccaro A., Rascaglia M. (a cura di) 2020. *Leonardo e il Rinascimento nei Codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*. Poggio a Caiano/Napoli: CB Edizioni/CIRICE FedOA Federico II University Press.

Di Mauro L. 1988. Domus Farnesia amplificata est atque exornata. Palladio, n.s., a. I, n. 1, giugno 1988, 34 sgg.

Giovannoni G. 1931. *Saggi sull'architettura del Rinascimento*. Milano: Treves.

Günther H. 2007. Gli studi antiquari per l'Accademia della Virtù. In: *Jacopo Barozzi da Vignola* (a cura di R. Tuttle, B. Adorni, Ch.L. Frommel, C. Thoenes), 126-128. Milano: Electa.

Lanzarini O. 2006. I codici di disegni di architettura dall'Antico nel '500. Funzione progettuale, ragione documentaria, in *Codici del disegno di progetto*. 239-246. Udine: ed. A. Pratelli.

Lanzarini O. 2020. Memorie antiquarie. Il frammento di un taccuino nel Codice Tarsia. In: *Leonardo e il Rinascimento nei Codici napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria* (a cura di A. Buccaro e M. Rascaglia). Poggio a Caiano/Napoli: CB Edizioni/ CIRICE FedOA Federico II University Press.

Ligorio P. 2009. Libri delle antichità (a cura di S. Orlandi). Roma: De Luca Editori d'arte.
Manzi P. 1968. *Annali della Stamperia Stigliola a Porta Reale in Napoli 1593-1606*. Firenze: Leo S. Olschki.
Manzi P. 1973. *Un grande nolano obliato: Nicola Antonio Stigliola. Archivio storico per le province napoletane,* III s., XI (1973), 295-296.
Manzo E. 1998. *La Merveille dei principi Spinelli di Tarsia. Architettura e artificio a Pontecorvo*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.
Montagu J. Whitehouse H. Haskell F. 2001. *The Paper Museum of Cassiano Dal Pozzo: a catalogue raisonné*. London: The Royal Collection Publications and Harvey Miller Publishers.
Mormone R. 1962. Domenico Antonio Vaccaro architetto. II. Il Palazzo Tarsia. Napoli nobilissima, s. II, I, 1962, VI, 216-227.
Nesselrath A. 1986. I libri di disegni di antichità. Tentativo di una tipologia. In: *Memoria dell'antico nell'arte italiana. Dalla tradizione all'archeologia* (a cura di Settis), 89-147. Torino: Einaudi.
Nesselrath A. 1992. Codex Coner - 85 years on. In: *Cassiano dal Pozzo's Paper Museum*. II, 145-167. Milano: Olivetti.
Pray Bober Ph. 1989. The Census of Antiquities known to the Renaissance: Retrospective and Prospective. In: *Roma, centro ideale della cultura dell'Antico nei secoli XV e XVI: da Martino V al Sacco di Roma 1417-1527* (a cura di S. Danesi Squarzina), 372-379. Milano: Electa.
Ricci S. 2010. *Stigliola, Nicola Antonio.* In: *Dizionario storico dell'Inquisizione*, III.
Ricci S. 2019. Stigliola*, Nicola Antonio*. In: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 94.
Rinaldi M. 1999. *L'audacia di Pythio. Filosofia, scienza e architettura in Colantonio Stigliola*. Bologna: Il Mulino.
Starace F. 1999. Un disegno appartenuto a Colantonio Stigliola. Napoli nobilissima, s. III, XXXVIII, 1999, f.lo I-VI, 121-128.
Vasari G. 1906. *Le vite* (ried. Milanesi 1568), VII, 106. Firenze: Sansoni.
Waters J. 2012. A Renaissance without Order: Ornament, Single-sheet Engravings, and the Mutability of Architectural Prints. Journal of the Society of Architectural Historians, 71, n. 4, Special Issue on Architectural Representations, 2, dec., 2012, 488-523.

Note

1. Napoli, Biblioteca Nazionale, Mss. XII.D.1, XII.D.74.
2. Su Nicola Antonio (Colantonio) Stigliola si vedano: Manzi, 1973, pp. 295-296; Rinaldi, 1999; Ricci, 2010, pp. 1483-1486; Ricci, 2019.
3. Napoli, Biblioteca Nazionale, Ms. XII.D.74, c. 1*r*. Cfr. Starace, pp. 122-124.
4. Qui però il ritratto di Sorgente è posto di scorcio anziché di profilo, con la scritta "UNIO RARA" nell'epigrafe anziché nella ghiera dell'ovale.

Elena Gianasso

Cultura e formazione degli ingegneri. Studi ottocenteschi intorno a Leonardo da Vinci

Abstract
While, in the middle of nineteenth century, new engineering schools open in Italy, European culture discusses a lot about Leonardo da Vinci (1452-1519). Technical and poly-technical mind, he anticipates nineteenth-century progress by writing about central subjects in the training of engineers. His hydraulic researches and his working on the painting remain the only known writing until the nineteenth century when, in Paris, Charles Ravaisson Mollien edits the Institut de France's manuscripts and, in 1883, Jean Paul Richter publishes in London The literary works of Leonard da Vinci. From the same years, in Italy, Gilberto Govi, Giovanni Piumati, Edmondo Solmi and Luca Beltrami publish other new books. Leonardo's notes about hydraulic, maths, survey, cartography, mining engineering, knowledge of the Earth are the same discussed in the engineering schools open in Turin and in Milan or in other university of Italy. Gustavo Uzielli, a main Leonardo's researcher who teaches in Rome, Turin and Parma, links some of his lessons with Leonardo's works; adopting the same scientific method of the Grande of Vinci, Uzielli interlaces historical research with the knowledge of the territorial and natural sciences. Furthermore, when Mario Baratta opens Pavia's courses, he thinks of Vinciano's studies on Earth. Others repeat the same analysis. The result is an international scientific discussion on Leonardo da Vinci, still capable, five hundred years after his death, of drawing the future.

Introduzione
Nuove vie di ricerca e inedite considerazioni critiche si aprono talvolta quando, ad esempio in occasione degli anniversari della nascita o della morte di figure di grande calibro, si rilegge la letteratura consolidata sull'argomento. Le celebrazioni per il cinquecentenario della scomparsa di Leonardo da Vinci, dal 2019 (e almeno fino al 2 maggio 2020) offrono l'opportunità di discutere pagine note e diffuse per avviare dibattiti mirati ad altri approfondimenti. Il contributo, esito di una ricerca inizialmente legata alle manifestazioni leonardiane e poi ampliata, indaga parte degli studi che, nel lungo Ottocento, hanno considerato il Vinciano evidenziandone le competenze di ingegnere, nel significato attuale del termine. Emerge, centrale nel confronto tra gli studi sul Grande di Vinci e le scuole di ingegneria, il ruolo di Gustavo Uzielli,

assistente e docente di mineralogia nelle università di Roma, Torino e Parma. I suoi lavori, propri dello sguardo di uno studioso di una disciplina poi detta geografia, permettono di porre in relazione la natura, il territorio, la meccanica, la matematica di Leonardo, il suo metodo scientifico *ante litteram* con il progresso ottocentesco per, poi, proseguire oltre nell'intento di comparare il Vinciano con le scienze dell'ingegneria.

"[…] *la scienza viva mira al futuro; a lato al fiume della tradizione, s'aprono ogni dì le fonti della scoperta. Si levano a poco a poco nel seno delle università certi uomini che divengono Galileo, Newton, Vico, Volta. […] Anche senza tale altezza di genio, è proprio della scienza esperimentale, è proprio dell'osservazione dei fatti, la quale comprende anche lo studio dei fenomeni mentali e morali il condurre quasi infallibilmente alla scoperta. È la via che Leonardo da Vinci previde, che Galileo mostrò gloriosamente al mondo, che Bacone filosoficamente descrisse. Quando un professore entra con felice ardimento in una di queste novelle vie, non son più le sue lezioni che importano, sono i suoi secreti studii, sono le imminenti sue scoperte.*" (Cattaneo, 1862)[1]. Quando Carlo Cattaneo scrive al senatore Carlo Matteucci, celebre fisico e docente universitario a Bologna e a Parigi, le sue considerazioni sul riordinamento degli studi scientifici italiani in risposta a una sollecitazione inviatagli dallo stesso politico (Bigatti, 2000), in Italia, nell'accezione desunta dalla cartografia, sono da poco istituite, ai sensi del Regio Decreto 13 novembre 1859 n. 3725 noto come "legge Casati", due "scuole di applicazione per gli ingegneri", a Torino e a Milano, affiancate ai già esistenti corsi rivolti agli allievi ingegneri in diverse zone della penisola. Il percorso formativo esplicitato nel testo legislativo comprende corsi di meccanica applicata alle macchine e idraulica pratica, macchine a vapore e ferrovie, costruzioni civili idrauliche e stradali, geodesia pratica, disegno di macchine, architettura, mineralogia e chimica docimastica, agraria e economia rurale (art. 53), discipline che istruiscono un tecnico laureato con competenze ampie e non necessariamente specialistiche in anni in cui, soprattutto in Lombardia, la professione di ingegnere era ancora molto legata al trattamento delle acque e delle aree agricole. Centrale è l'approccio scientifico sperimentale e la "*grande investigazione scientifica*" che, afferma lo stesso Cattaneo, aveva trovato già in Leonardo da Vinci un importante precursore: "*Leonardo insegnò a provocare la natura con l'esperimento e ripetere e variare per mille guise, per giungere alle leggi universali*" (Cattaneo, 1926).

Studioso di meccanica, di idraulica, di architettura, di costruzioni e di quelle tante scienze applicate proprie dell'ingegneria, Leonardo è conosciuto essenzialmente come artista-pittore, protagonista di "Le vite de' più eccellenti pittori, scultori e architetti" di Giorgio Vasari (1568), autore del "Libro di pittura" e di "Del moto e misura dell'acqua", le uniche raccolte di trascrizioni di suoi scritti consegnati alle stampe fin dall'età moderna in cui si leggono note che lasciano intuire la sua profon-

da conoscenza della natura e del territorio. Innumerevoli pagine critiche hanno già posto in relazione la sua figura con quella dell'ingegnere, professione che ha svolto, e con la cultura ingegneristica, tuttavia il tema può ancora essere approfondito, ed è qui introdotto, soprattutto con riferimento alla relazione tra i lavori del Vinciano e la formazione impartita agli allievi ingegneri dal secondo Ottocento. La consistente pubblicazione dei testi di carattere tecnico e scientifico leonardiano, peraltro, si apre a Parigi quando, tra il 1881 e il 1891, Charles Ravaisson-Mollien cura l'edizione, in una riproduzione integrale e diplomatica, dei suoi manoscritti conservati nella Biblioteca dell'Institut de France. Nel 1882, inoltre, a Vienna esce "Lionardo da Vinci da Buch von der Malerei mach dem Codex vaticanus 1270 herausgegeben, übersetze und erlaütert" (Ludwig, 1882) per i tipi di Wilhelm Braumüller e l'anno successivo è stampato a Londra, da Simpson Low Marston Searle & Rivingston, "The literary works of Leonardo da Vinci" (Richter, 1883), una raccolta di frammenti di testi scelti da Jean Paul Richter. In Italia emergono i contributi di Gustavo Uzielli, Giovanni Piumati, Gilberto Govi, Edmondo Solmi, Luca Beltrami, attenti a commentare il contenuto scientifico che emerge dai lavori del Grande uomo toscano e a discutere il modo di pubblicare la sua nota scrittura speculare in cui, talvolta, le frasi si snodano dalla parte bassa alla parte alta del foglio.

Anticipatore del progresso[2] (Solmi, 1908), attento indagatore di tante scienze e molte tecniche prima del diffondersi del sapere enciclopedico, quando l'Ottocento italiano cerca l'unità culturale della nuova Nazione, il Grande uomo toscano sembra anche riassumere in sé la figura dell'uomo italiano che, superando le differenze sociali, politiche, economiche tra i diversi Stati, si pone come sintesi e testimonianza di uno dei periodi da considerarsi migliori nella storia della penisola, caratterizzato, è noto, da un forte desiderio di rinnovamento che privilegia gli esiti concreti del sapere. Nel 1872 si inaugura, a Milano in piazza della Scala, il monumento realizzato dallo scultore Pietro Magni che rappresenta Leonardo su un alto basamento, in piedi con le mani giunte, circondato da quattro suoi allievi Giovanni Antonio Boltraffio, Marco d'Oggiono, Cesare de Sesto, Gian Giacomo Caprotti con il nome di Andrea Salaino; ai lati del basamento, oltre ai bassorilievi che lo raffigurano impegnato come pittore, scultore, architetto e ingegnere idraulico, si leggono le iscrizioni dettate da Gilberto Govi che, ricordandone l'origine e il soggiorno milanese, lo definisce "*rinnovatore delle arti e delle scienze"*. Nell'occasione, il ministro Cesare Correnti incarica il giovane Uzielli di sintetizzare gli studi allora aperti sul Vinciano, soggetto destinato a diventare centrale, con Paolo dal Pozzo Toscanelli e Cristoforo Colombo, nelle sue ricerche[3].

Formato in scienze matematiche e fisiche a Pisa, perfezionatosi a Parigi nella Scuola di ponti e strade, Gustavo Uzielli (Livorno, 29 maggio 1839 - Impruneta, 7 marzo 1911), è noto geografo e docente di mineralogia e geologia in corsi universitari destinati agli ingegneri. Toscano, è interessato a Leonardo fin dalla giovane età

quando, dopo aver partecipato alla terza guerra d'indipendenza e aver conosciuto i Macchiaioli, è vicino a Telemaco Signorini con cui organizza una narrata gita a Vinci, luogo gradito ai pittori della "macchia" e ovviamente scelto per le indagini sul Grande uomo toscano. Ricercatore attento, rintraccia documenti che restituiscono informazioni allora inedite sulla biografia del Vinciano, attribuendo alle fonti storico-documentarie un importante ruolo scientifico ben prima del dibattito che, nei primi decenni del Novecento, anima l'Ecole des Annales francese. Uzielli apre le sue indagini su Leonardo nel 1869, nelle pagine del "Nuovo giornale botanico italiano" dove pubblica un breve contributo dal titolo "Sopra alcune osservazioni botaniche di Leonardo da Vinci". Nel suo saggio, il livornese presenta gli studi leonardiani che introducono le leggi matematiche e geometriche sottese allo sviluppo delle piante, tema di botanica proprio della fillotassi, a fronte di alcune osservazioni sulla morfologia vegetale annotate nel "Trattato di pittura", volume che lo studioso conosce nell'edizione romana diffusa dalla Stamperia De Romanis nel 1817[4].

Il riferimento alla natura e alle discipline matematiche, esteso al territorio, si legge anche nelle "Ricerche intorno a Leonardo da Vinci" che Uzielli consegna alle stampe prima a Firenze nel 1872 per i tipi di Pellas, poi in una "Seconda serie*"* a Roma da Salviucci nel 1884 e, ancora, dodici anni più tardi a Torino, da Ermanno Loescher, in due volumi che ampliano il suo già grande lavoro (Uzielli, 1872; 1884; 1896). Fin dalla prima versione, l'autore non dimentica l'interesse di Leonardo per la matematica e la sua amicizia con Luca Pacioli, il frate francescano celebre per il suo "Divina proportione", dedicato alla proporzione "sancta et divina" (il rapporto aureo). Corredato da splendidi poliedri di mano del Vinciano, come lo stesso Pacioli ricorda nel "De viribus quantitatis" (Giorgione, 2019), il testo è completato da tre versi celebrativi dei disegni di Leonardo, da lui trascritti nei suoi manoscritti: "*Terzetto fatto per li corpi regolari e loro derivati / Et dolce frutto vago e sì diletto / costrinse già filosofi a cercare / causa di noi per pascere lo 'ntelletto*" (Ms M, f. 80v). È già stato notato che il termine "frutto" è utilizzato dal Grande di Vinci anche nel manoscritto E per indicare il "*frutto matematico*", "*cui si perviene con la meccanica, paradiso delle scienze matematiche"* (Vecce, 2017).

Gli studi di meccanica, materia dei corsi universitari di ingegneria, negli scritti di Leonardo si aprono in molteplici direzioni che si concretizzano soprattutto nei tanti disegni di macchine che compaiono nei codici. Il termine "machina", o "macchina" appare solo una ventina di volte nei manoscritti e nel "Libro di pittura"[5], per restare a parte dei testi pubblicati nell'Ottocento, ma le tesi esplicitate e i disegni, almeno quelli del Codice Atlantico nella Veneranda Biblioteca Ambrosiana, sono conosciuti già prima della pubblicazione ottocentesca dei manoscritti francesi. Ne è esempio l'elenco manoscritto conservato tra le carte di Pietro Mazzucchelli datato ai primi decenni dell'Ottocento[6]. Nel Novecento, sarà poi la mostra al Palazzo dell'Arte di Milano nel 1939 a offrire l'occasione per tornare a riflettere sulle macchine, costruite

in modelli lignei dopo il cinquecentenario della nascita dello scienziato-artista nel 1952 e poi parte delle collezioni del Museo della scienza e della tecnica milanese.

Leonardo applica la matematica, che gli è nota anche attraverso i "Ludi matematici" di Leon Battista Alberti che conserva nella sua biblioteca, anche quando si occupa di territorio, interrogandosi sulle distanze tra i luoghi e sulle altezze delle montagne elaborando, di qui, una sua personale teoria evoluzionistica del pianeta. Tema trattato nel Codice Leicester (Galluzzi, 2018), è ripreso da Uzielli negli appunti delle sue lezioni e poi dal geologo Federico Sacco negli "Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino" e in un saggio edito in uno dei volumi pubblicati da De Agostini come raccolta delle ricerche sottese alla grande mostra del 1939 (Sacco, 1956). Entrambi, Uzielli e Sacco, insegnano mineralogia e geologia nella scuola di ingegneria torinese; emerge, così, il legame tra il Vinciano e la Regia Scuola di applicazione per gli ingegneri in Torino e poi con il Regio Politecnico. Gustavo Uzielli, assistente nel Gabinetto di mineralogia dell'Università di Roma sotto la direzione da Giovanni Strüver [Struever], nel 1877 vince il concorso per la cattedra di Mineralogia e geologia a Torino, assumendo l'incarico nel 1880 e diventando poi, l'anno successivo, professore ordinario, responsabile della straordinaria collezione mineralogica della Scuola che comprende campioni donati da Quintino Sella. Uzielli rimane in carica fino ai primi anni del Novecento, ma già nel 1896 il corso è affidato a Federico Sacco. Dopo il 1904 Uzielli insegna a Parma, dove chiude la sua carriera accademica; Sacco, celebre soprattutto per il suo impegno per la carta geologica d'Italia, gli succede nell'incarico torinese fino al 1935 (Ministero della Pubblica Istruzione, 1875; Politecnico di Torino, 1935).

Dalle dispense delle lezioni di Uzielli, in Figura 1, si leggono lunghe liste di minerali e rocce completati dalle caratteristiche e dai possibili usi; interessante è il riferimento alla bargiolina, una quarzite di colore chiaro, giallo e ocra, presente a Barge nei pressi di Saluzzo che il docente spiega ai suoi allievi precisando che può essere utilizzata come tavolozza per macinare i colori; l'uso è dedotto da un' annotazione di Leonardo nel piccolo quaderno ora Manoscritto G dell'Institut de France (Gianasso, 2019b).

R. SCUOLA D'APPLICAZIONE PER GLI INGEGNERI

CORSO DI GEOLOGIA E MINERALOGIA

NOZIONI

DI

MINERALOGIA DESCRITTIVA

Anno Accademico 1888-89.

TORINO

LITOG. FRATELLI BERTERO

Fig. 1 – R. Scuola di Applicazione per gli Ingegneri, Corso di Geologia e Mineralogia. Nozioni di Mineralogia descrittiva. Anno accademico 1888-1889, Torino, Litografia Fratelli Bertero, s.d. [ma 1888-1889], in Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, fondo Gustavo Uzielli, striscia n. 134.

Sacco, invece, si occupa di storia della Terra soffermandosi sui fossili, i "nichi" di Leonardo, studia l'orografia dei luoghi citati dal Vinciano, l'andamento delle acque, dei fiumi e dei laghi e correda il suo contributo per la mostra del 1939 con immagini che riproducono la cartografia del Codice Atlantico e gli straordinari disegni ora nei fogli della raccolta reale di Windsor. Argomento noto al professore torinese, il disegno del territorio è oggetto degli approfondimenti di Uzielli che nei suoi quaderni di appunti schizza i "Viaggi sulle Alpi" di Leonardo localizzando le località a lui note sulle Alpi Occidentali, in Figura 2. Gli studi ottocenteschi sulla cartografia, rilevanti nella formazione dell'ingegnere civile, commentano poco i disegni leonardiani, privilegiando temi legati alla scienza idraulica, alla conformazione del suolo, alle tecniche di misura, alle strutture e considerano il Grande di Vinci un punto di separazione tra il metodo cartografico proprio dell'età antica e medievale e quello adottato nel periodo moderno, sintetizzati dall'approccio di Tolomeo e dalla riforma cartografica del XVI secolo. È Gerolamo Calvi a segnalare, nel 1909, la "Cosmographia" di Tolomeo come principale fonte di conoscenze geografiche del Vinciano che, infatti, ne conserva una copia nella sua biblioteca. Leonardo, inoltre, richiama specificatamente Tolomeo in un suo appunto, ora nel Manoscritto M, in cui sintetizza il metodo matematico per tracciare carte geografiche.

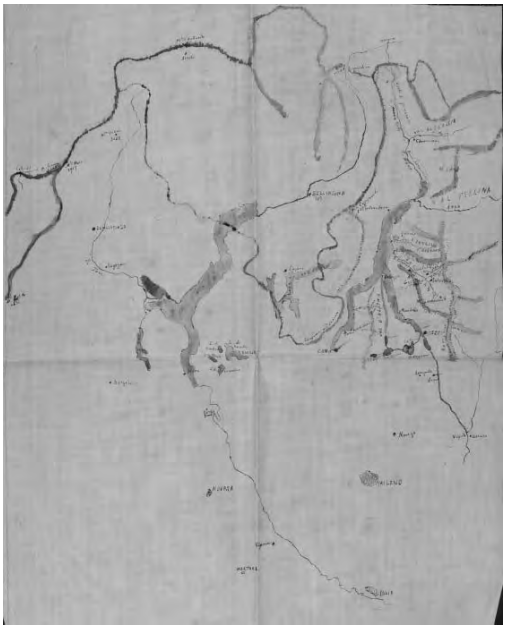


Fig. 2 – Gustavo Uzielli, Leonardo da Vinci. Viaggi sulle Alpi, s.d., in Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze, fondo Gustavo Uzielli, striscia n. 131.

Il passaggio dagli studi di mineralogia e di geologia, o proto-geologia, alla geografia, o proto-geografia, è immediato. Quando Mario Baratta pubblica la sua prolusione al corso di Geografia della Regia Università di Pavia, tenuta il 26 febbraio 1911, sceglie di commentare *Leonardo da Vinci e la cartografia* e ipotizza il metodo di rilevamento adottato: "*Da prima disegnava le linee fondamentali della rete idrografica e fissava la posizione delle più importanti sedi umane e poscia, con fine intelletto d'artista e di scienziato compiva il disegno dell'orografia*" (Baratta, 1912); affronta quindi il problema del rilevamento, indica gli strumenti che possono essere utilizzati, spiega la tecnica di rappresentazione grafica e commenta le carte che il Grande realizza della Toscana, della regione dei laghi lombardi e delle paludi pontine, aree dove è spesso incaricato di realizzare grandiose opere di ingegneria idraulica.

L'acqua è certamente l'elemento, tra i quattro, preferito dal Vinciano che vi dedica gran parte dei suoi studi: i pensieri e i disegni restituiscono note su conche, paratoie, sezioni di canali, sbarramenti che riproducono graficamente differenti soluzioni pensate da Leonardo. Nelle pagine dei codici e dei manoscritti, nei testi, il termine "acqua" compare centinaia di volte: più di novecento opere di idraulica sono nel Codice Leicester in cui l'elemento, citato più di sessanta volte, può essere assunto, è stato scritto, come "microscopio" della natura; nel Codice Atlantico si leggono più di trecento ricorrenze e più di cinquecento sono nei manoscritti dell'Institut de France[8]. L'argomento, a lungo indagato dal Grande di Vinci, che evidenzia anche la necessità di un trattato specifico sull'acqua (il riferimento è nel Manoscritto A ora all'Institut de France), è oggetto di "Del moto e misura dell'acqua*",* l'apografo composto dal domenicano Fra Luigi Maria Arconati per la biblioteca romana del cardinale Francesco Barberini, ripubblicato nel 1923 da Zanichelli a cura dell'umanista Enrico Carusi e dell'ingegnere, allievo nella scuola di ingegneria di Torino, Antonio Favaro (Figura 3) (Carusi e Favaro, 1923). Il testo può essere posto in relazione con i cosiddetti Codici H 227 inf., in cui le note di idraulica corrispondono perfettamente, e H 229 inf. conservati nella Veneranda Biblioteca Ambrosiana, datati al Seicento (Pedretti, 1962), e con il Codice Corazza, già di proprietà del bolo-

Fig. 3 – Leonardo da Vinci, Del moto e misura dell'acqua, a cura di Enrico Carusi, Antonio Favaro, Bologna, Zanichelli, 1923.

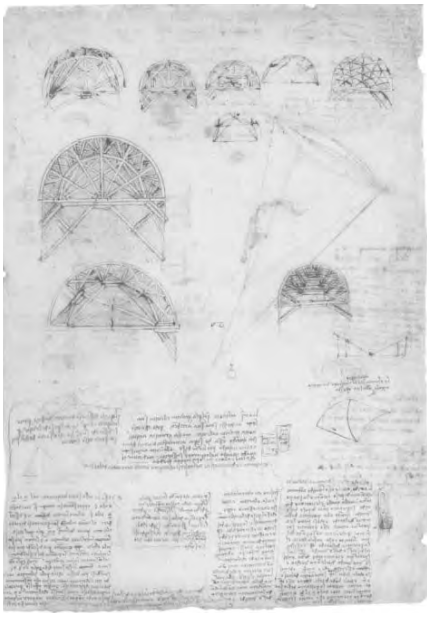


Fig. 4 – Leonardo da Vinci, Codice Atlantico f. 537r, ora in leonardodigitale.it, open access source, disponibile ottobre 2019.

gnese Vicenzo Corazza, ora nella Biblioteca Nazionale di Napoli (Buccaro, 2011).

Affascinato dai problemi del fare, nei suoi lunghi passi sui canali e sulle opere provvisionali, Leonardo disegna spesso gli strumenti per l'esecuzione dei lavori. I suoi fogli possono essere avvicinanti alla cultura ottocentesca, come interessante suggestione, comparandoli con la manualistica dedicata all'arte di edificare. Ne è esempio il confronto tra il foglio 537r del Codice Atlantico, in Figura 4, e il modello ligneo di armatura per la costruzione di grandi archi prodotto dal laboratorio dei cavalieri Blotto e Vittorio Canepa di Torino, in Figura 5, utilizzato da Giovanni Curioni, assistente e docente di Costruzioni alla Regia Scuola di applicazione per gli ingegneri in Torino dal 1865 e poi direttore dello stesso istituto, nelle sue lezioni (Cattaneo et al, 2019b). Il modello riproduce una soluzione di centina già compresa nel repertorio iconografico della monumentale opera dedicata "all'arte di fabbricare" che lo stesso Curioni pubblica a Torino in più di vent'anni. Non-studioso di Leonardo, non-leonardista, pur attivo alla Scuola negli stessi anni in cui Uzielli è nella città piemontese e con cui intrattiene un carteggio relativo alla didattica accademica, ora nella Biblioteca Nazionale di Firenze, il docente torinese approfondisce le sue ricerche interpretando "unicamente" il progresso ottocentesco delle tecniche. Il raffronto tra i due disegni, di Leonardo e di Curioni, o tra il disegno leonardiano e il modello suggerisce, e conferma, i pensieri del Vinciano, anticipatore delle evoluzioni cui le scienze e le tecniche giungeranno più di tre secoli dopo, "genio" nel significato che il dibattito del XIX secolo attribuisce al vocabolo.

È il costante movimento del pensiero nella mente di Leonardo in cui il continuo passare da nozione teorica a risoluzione pratica è proprio del suo prevedere il metodo scientifico sperimentale, del suo essere precursore in tante scienze e in molte tecniche e del suo essere ingegnere, capace di immaginare anche il volo umano e le macchine volanti, superando la sua stessa professione di ingegnere militare e di ingegnere idraulico. Nel Manoscritto B, ora all'Institut de France, il Vinciano qualifica la figura dell'ingegnere attraverso i "*Nomi d'ingegneri. Callias rodiano. Epimaco ateniese. Diogene filosafo rodiano. Calcedonio di Tracia. Febar di Tiria. Callimaco architet-*

Fig. 5 – Laboratorio per la costruzione dei modelli dei cavv. Blotto e Vittorio Canepa Torino, Modello di armatura per la costruzione di grandi archi, XIX secolo (Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica, Collezione di modelli di costruzioni).

to, maestro di fochi" (f. 50v), elencando così competenze e saperi che qualificano, come il suo scrivere, il suo disegnare e il suo agire, la sua personale interpretazione dell'*ingenium* (Pedretti, 1978) vitruviano e poi rinascimentale.

Conclusioni

Si apre, di qui, al termine di alcune, prime, suggestioni, un lungo percorso di ricerca che, sostenuto sulla letteratura già consegnata alle stampe e soprattutto appoggiato a un'importante ricerca di archivio, si propone di esaminare e aggiornare criticamente la relazione che lega il Vinciano con la cultura dell'ingegneria, con le scienze e le tecniche impartite agli allievi ingegneri anche oltre la costituita Nazione indagando, in tante declinazioni disciplinari, il continuo passaggio dalla sperimentazione al principio generale poiché, scriveva già Cattaneo nel 1926, "*la sola esperienza può provvederci delle notizie di queste leggi* [universali]" (Cattaneo, 1926).

Bibliografia

Baratta M. 1912. *Leonardo da Vinci e la cartografia. Prolusione al corso di Geografia letta nella R. Università di Pavia il dì XVI febbraio MCMXI,* Voghera, Officina d'Arti Grafiche.

Bigatti G. 2000. *La città operosa. Milano nell'Ottocento*. Milano: Franco Angeli.

Bigatti G., Canella M. (a cura di). 2008. *Il Collegio degli ingegneri e architetti di Milano. Gli archivi e la storia*. Milano: Franco Angeli.

Buccaro A. 2011. *Leonardo da Vinci. Il Codice Corazza nella Biblioteca Nazionale di Napoli*. 2 volumi. Poggio a Caiano (Po) Napoli: CB Edizioni Grandi Opere. Edizioni Scientifiche Italiane.

Carusi E., Favaro A. (a cura di). 1923. *Leonardo da Vinci. Del moto e misura dell'acqua,* con un saggio introduttivo di Di Teodoro F.P.. Bologna: Zanichelli.

Cattaneo C. 1862. *Sul riordimento degli studi scientifici in Italia. Lettera di Carlo Cattaneo al senatore Matteucci*. Milano: Editori del Politecnico.

Cattaneo C. 1926. *Frammenti di filosofia naturale con l'introduzione per lettori d'oggidì di Arcangelo Ghisleri.* Milano: Edizioni Risorgimento.

Cattaneo M.V., Devoti C., Gianasso E., Gomez Serito M., Santangelo M. 2019a. *Leonardo mente politecnica*. In: *Leonardo da Vinci Disegnare il futuro*. 329-337. (a cura di Pagella E., Di Teodoro F.P., Salvi P.). Milano: Silvana Editoriale.

Cattaneo M.V., Devoti C., Di Teodoro F.P., Gianasso E., Gomez Serito M., Santangelo M. 2019b. *Leonardo Tecnica e territorio*, catalogo della mostra. Torino: Politecnico di Torino.

Curioni G. 1860. *Cenni storici e statistici sulla Scula d'applicazione per gl'ingegneri fondata in Torino nell'anno 1860*. Torino: G. Candeletti.

Di Teodoro F. 1992. Il carteggio vinciano di Gustavo Uzielli. Achademia Leonardi Vinci, V, 140-143.

Di Teodoro F. 1993. Gustavo Uzielli e la "terza" Vergine delle Rocce. Achademia Leonardi Vinci, VI, 158-160.

Di Teodoro F. 1997. Leonardo e le Alpi Occidentali. Léonard de Vinci et Alpes Occidentales. In: *Le Alpi. Storia e prospettiva di un territorio di frontiera. Les Alpes. Histoire et perspectives d'un territoire transfrontalier.* 89-95. (a cura di Comoli V., Fasoli W., Very F.). Torino: Celid.

Ferraresi A., Visioli M. (a cura di). 2012. *Formare alle professioni. Architetti, ingegneri, artisti (secolo XV-XIX)*. Milano: Franco Angeli.

Galluzzi P. (a cura di). 2018. *L'acqua microscopio della natura. Il Codice Leicester di Leonardo da Vinci*. Firenze: Giunti.

Gambi L. 1972. *Una geografia per la storia*. Torino: Einaudi.

Gianasso E. 2019a. Gustavo Uzielli (1839-1911). Studioso di Leonardo. Studi Piemontesi, XLVII.2, 471-480.

Gianasso E. 2019b. On the education of engineer in the 19th century. A note from the studies about Leonard da Vinci. Advancements in Civil Engineering & Technology ACET, 3.1, 1-3.

Giorgione C. 2019. *La collezione di modelli del Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia*. In: *Leonardo da Vinci La scienza prima della scienza*. 59-89. (a cura di Giorgione C.). Roma: L'Erma di Bretschneider.

Guarducci A. 2018. Gustavo Uzielli (1839-1911). Geografo scienziato di temi territoriali tra Italia, Toscana e Firenze. Bollettino della Società Geografica Italiana, 14.1, 181-200.

Ludwig H. 1882. *Lionardo da Vinci das Buch von der Malerei mah dem Codex vaticanus 1270 herausgegeben,* ü*bersetze und erla*ütert. Wien: Wilhelm Braumüller.

Mottana A., Doglioni C. 2013. Quintino Sella e il riordino delle facoltà di Scienze di Roma capitale. In: *Quintino Sella scienziato e statista per l'Unità d'Italia.* 291-216. Roma: Scienze e Lettere.
Nanni R., Taddei M. (a cura di). 2003. *Amerigo Vespucci e la scoperta dell'America negli studi di Gustavo Uzielli*. Milano: Silvana Editoriale.
Pedretti C. 1962. Copies of Leonardo's lost writings in the Ms H 227 inf of the Ambrosiana Library, Milan. Raccolta vinciana, XIX.62, 61-94.
Pedretti C. 1978. *Leonardo architetto*. Milano: Electa.
Politecnico di Torino. 1935. *Annuario del Regio Istituto Superiore di Ingegneria (Regio Politecnico) di Torino*. Torino: Società Editrice Torinese.
Regia Scuola di applicazione per gli ingegneri in Torino. 1889. *Annuario per l'anno scolastico 1888-1889*. Torino: G. Candeletti.
Richter J.P. 1883. *The liberary works of Leonardo da Vinci compiled and edited from the Original Manuscripts*. London: Low Martston Searle & Rivingston.
Rolih M. 2001. Il fondo Gustavo Uzielli presso la Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze. In: *Nello specchio del genio. Studi storici, cultura urbana e genius loci tra Otto e Novecento nel segno di Leonardo.* 30-38. (a cura di Nanni R., Romby G.C.). Firenze: Edizioni dell'Erba.
Sacco F. 1956. Geologia e geografia vinciana. In: *Leonardo da Vinci.* 455-466. Novara: De Agostini.
Solmi E. 1908. *Leonardo da Vinci. Frammenti letterari e filosofici. Favole allegorie pensieri paesi figure profezie facezie*. Firenze: Barbera.
Stracca G. 1981. *Il Politecnico di Milano (1863-1914). Una scuola nella formazione della società industriale*. Milano: Electa.
Ministero della Pubblica Istruzione. 1875. Stato del personale addetto alla Pubblica Istruzione nel Regno d'Italia al 31 dicembre 1873. Bollettino ufficiale, I, 25.
Teostene [Uzielli G.]. 1895. *Ricordi in Firenze a Leonardo da Vinci e a Paolo Toscanelli*. Firenze: Stabilimento Tipografico Fiorentino
Uzielli G. 1869. Sopra alcune osservazioni botaniche di Leonardo da Vinci. Nuovo giornale Botanico Italiano, I.1, 7-13.
Uzielli G. 1872. *Ricerche intorno a Leonardo da Vinci*. Firenze: G. Pellas.
Uzielli G. 1884. *Ricerche intorno a Leonardo da Vinci. Serie seconda*. Roma: Salviucci.
Uzielli G. 1884. Sul modo di pubblicare le opere di Leonardo da Vinci. Buonarroti, III.I.10, 365-388.
Uzielli G. 1890. Leonardo da Vinci e le Alpi. Bollettino del Club Alpino Italiano per l'anno 1889, XXIII.89, 81-156.
Uzielli G. 1896. *Ricerche intorno a Leonardo da Vinci*. 2 volumi. Torino: E. Loescher.
Uzielli G. 1904. *Materiali per servire alla sua biografia. Direttore e assistente*. Torino: Tipografia Domenicana.
Vecce C. 2017. *La biblioteca perduta. I libri di Leonardo*. Roma: Salerno Editrice.

Note

1. pp. 18-19. L'autore auspica che gli allievi ingegneri, più che nozioni di architettura, ricavano insegnamenti che permettano loro di acquisire competenze specifiche tra cui, soprattutto, quelle utili e divenire ingegneri-agronomi, navali o minerari.

2. Solmi (1908) "… nato per pensare …, passa per un prepotente bisogno dal concreto all'astratto, dalla pratica alla teorica, dall'arte alla scienza, portando a sviluppo quella stessa tendenza degli spiriti che, nata intorno a lui, doveva pienamente manifestarsi solo due secoli dopo".
3. Tuttavia quando lo stesso ministro Correnti nomina una commissione con l'incarico di pubblicare codici e manoscritti di Leonardo e affida a Uzielli gli studi sul Vinciano, Uzielli rifiuta (Gianasso, 2019°).
4. Il riferimento è al *Trattato della pittura tratto da un codice della Biblioteca Vaticana e dedicato alla maestà di Luigi XVIII re di Francia e di Navarra pubblicato a Roma*, da De Romanis, nel 1817. La critica ha già più volte sottolineato l'importanza degli studi di Leonardo sulla natura avviati anche con l'obiettivo di restituire il vero sulla tela.
5. Ricerca eseguita in leonardodigitale.com (novembre 2019).
6. Milano, Veneranda Biblioteca Ambrosiana, X 311 inf., n. 259
7. Lo studio è pubblicato anche per i tipi di Checchini nel 1939 e negli *Atti della Reale Accademia delle Scienze di Torino. Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali* l'anno successivo.
8. Ricerca eseguita in leonardodigitale.com (novembre 2019).

Giuseppe Foscari

La formazione "ambientalista" dei giovani ingegneri nell'Ottocento borbonico

Abstract
In this paper, the environmental formation of the young engineers in the Application School of Naples during the Kingdom of the Two Sicilies is considered, with the introduction of the Agronomy in the scholastic program, and the lessons of Professor Luigi Granata. The link between theory and practice for the young engineers was also guaranteed by the important law of 1826 about the forests and their preservation. The purpose of Carlo Afan de Rivera, General Director of Bourbon administration and father of this law, was to create a specialist interested in the main problems of territories and able to preserve them with the direct control of the State.

Introduzione
Il contributo sistematico e coerente degli ingegneri napoletani a quelle che oggi definiremmo "questioni ambientali" (Buccaro e De Mattia, 2003) risale alla prima metà dell'Ottocento e coincide, non certo a caso, con la gestione tecnica e burocratica del funzionario borbonico Carlo Afan de Rivera. Si tratta di una ulteriore dimostrazione dell'ampiezza e versatilità delle funzioni di questi tecnici, uno spaccato del loro interesse per il "governo del territorio", esplorato in modo discontinuo dal punto di vista storiografico (Piccioni, 1999), [1]. Eppure, basta entrare nelle articolate dinamiche di questo settore per comprendere che si trattava di un ambito considerato vitale per lo sviluppo economico dello Stato e che il settore tecnico ingegneristico del Regno delle Due Sicilie presentava evidenti tratti di modernità.

Il ruolo di Carlo Afan de Rivera
La spinta propulsiva che proveniva da de Rivera è ben nota e le attività che anche in questo settore egli promosse furono meritorie. Una delle sue idee basilari fu quella di creare una filiera basata su istruzione, conoscenza e rispetto delle norme, raccordando l'iniziale fase di formazione degli aspiranti ingegneri ammessi in qualità di alunni alla Scuola di Applicazione (Foscari, 1995) con il successivo lavoro di specialisti nei campi dell'ingegneria edile, idraulica e anche forestale, per consentire loro di programmare e realizzare gli interventi che il territorio richiedeva.

Il suo sforzo di introdurre l'agronomia tra le materie di studio per i giovani allievi della Scuola fu una efficace intuizione che andava proprio nella direzione di aprire la

formazione a una disciplina che si prefigurava molto più che un semplice supporto conoscitivo.

Ho provato ad analizzare questa specificità "ambientalista" nella funzione degli ingegneri napoletani, esaminando la relazione e la continuità tra l'istruzione e le norme, a partire dal manuale di agronomia e scienze silvane a uso degli allievi aspiranti ingegneri e mettendo in relazione i suoi contenuti con la famosa legge forestale del 1826, voluta e concepita dallo stesso Afan de Rivera.

Il manuale di agronomia e scienze silvane a uso degli allievi aspiranti ingegneri

Il manuale in questione fu redatto da Luigi Granata, professore della Scuola di Applicazione e intellettuale di spicco nel campo dell'*economia rustica* (Granata, 1830), come venivano abitualmente indicate l'agricoltura e le scienze silvane. L'interessante volume, sul cui frontespizio l'autore veniva curiosamente indicato solo con le iniziali L.G., ma con tutti i riferimenti relativi alla carica di ispettore forestale di acque e foreste e di professore di Scienze Naturali (Granata, 1839), così da poterlo identificare facilmente, fu edito nel 1839 dalla dinamica tipografia di Gaetano Nobile, situata in via Toledo a Napoli (Palazzolo, 1989).

Per il tramite del manuale ci viene facile comprendere quali nozioni delle scienze forestali fossero somministrate agli studenti. Gli obiettivi del testo e della materia entrata nel programma scolastico erano tra l'altro molto ben specificati dall'autore:

a) poiché gli ingegneri sarebbero stati incaricati della costruzione e manutenzione delle strade pubbliche, era necessario che imparassero a valutare bene la natura dei terreni, studiandone lo stato fisico e le caratteristiche chimiche, la fertilità, la compattezza, e così via;
b) questa più ampia conoscenza tecnica del territorio poteva permettere loro di prevenire le frane e di rettificare in modo appropriato i corsi dei fiumi per limitare il più possibile le inondazioni, entrando quindi nel vivo di questioni che riguardavano l'assetto dei territori;
c) gli ingegneri dovevano far rispettare la legge per il ripristino dei boschi e per rendere salde e stabili le terre in pendio, autentica spina nel mantenimento dell'equilibrio dei terreni e uno dei motivi nodali del dissesto idrogeologico del tempo; inoltre, dovevano vigilare attentamente anche sulla natura delle colture nei terreni posti in piano. Per tutte queste operazioni era necessario conoscere l'origine dei terreni, saperne individuare gli strati soggetti a possibili dilavamenti, comprenderne la facilità o meno di lavorazione da parte dei contadini, saper individuare le variazioni del contenuto idrico dei terreni e via discorrendo;
d) i tecnici dovevano imparare a progettare le bonifiche delle terre paludose. In questo senso, "*la Idraulica basta certamente nei casi più comuni a sottrarle all'impero delle acque, ma disseccate che sono non è che l'uomo perito in agronomia quello che sa indirizzare i mezzi da metterle in valore*" (Granata, 1839).

Non si trattava, quindi, di nobilitare semplicemente la propria funzione di docente delle scienze forestali nella Scuola di Applicazione, ma con queste parole Granata spiegava la ratio di una formazione che doveva puntare al connubio tra le conoscenze dell’ingegneria idraulica e quelle agronomiche, per raggiungere un livello di preparazione polifunzionale. Occorreva, quindi, un salto di qualità nell’istruzione, necessario per dare al futuro specialista quella visione d’assieme e quelle conoscenze che lo avrebbero reso sempre più una figura centrale nelle scelte progettuali e programmatiche dello Stato. Anche per questa via i giovani allievi dovevano acquisire quella logica sistemica che gli studiosi di inizio Ottocento, da Teodoro Monticelli a Carlo Afan de Rivera, individuarono come modalità imprescindibile per ottenere risultati concreti (Foscari, 2009).

D’altra parte, l’esperienza di altri paesi, come la Francia e l’Inghilterra, dimostrava, secondo l’esperto professor Granata, che ”*non v’ha Ingegnere di ponti e strade che non sia agronomo in qualche modo*“ (Granata, 1839). Per questo motivo, dal 1830 nella Scuola di Applicazione di Napoli, vera fucina di ingegneri di comprovato valore, era stata introdotta la cattedra di agronomia che non era prima presente nell’ordinamento didattico (Granata, 1839), per la quale la scelta era caduta proprio su Luigi Granata, una delle più illustri personalità nel campo in ragione delle benemerenze che aveva ottenuto e delle pubblicazioni in materia.

Investito di questa responsabilità di non poco conto, Granata ironizzava con ”*alcuno idiota*“ che aveva sostenuto che l’agronomia fosse del tutto estranea alla formazione degli ingegneri ”*quasichè non di una scienza del primo ordine e tanto necessaria agl’Ingegneri si trattasse, ma nella coltivazione de’cavoli e de’piselli?*” (Granata, 1839). Non è che l’ennesima testimonianza di una divergenza tra chi intendeva la funzione degli ingegneri completamente tecnica e progettuale e quanti, come lo stesso direttore generale de Rivera e l’ispettore Granata, percepivano la mansione in una ottica ben più ampia e con conoscenze approfondite che non escludevano alcun campo d’azione.

Per parte sua, de Rivera puntava anche a costruire una figura professionale piuttosto vicina alle sue percezioni e alle sue competenze. Per quella via era riuscito a farsi valere nell’amministrazione borbonica, mettendo mano a tutti i campi dell’ingegneria, non solo per la parte relativa alla costruzione di infrastrutture. Il suo era un investimento per rendere i tanto vituperati tecnici della Direzione Generale di Ponti, Strade, Acque e Foreste, da lui diretta, figure cruciali per il progresso economico e sociale del paese, come avrebbe ribadito costantemente nelle sue pubblicazioni (Afan de Rivera, 1848). Uno sviluppo che egli vedeva strettamente correlato a un cambio di passo nelle strategie delle infrastrutture, con un corposo intervento pubblico per la costruzione di nuove strade, ponti, porti, ma anche con il recupero dei territori dal paludismo e di conservazione intelligente di boschi e foreste. Senza dimenticare l’impegno per limitare il dissesto idrogeologico che condizionava pesantemente le popolazioni meridionali (Foscari e Sciarrotta, 2011).

Sappiamo che sulla scia di de Rivera si posero anche altri valenti ingegneri, come Luigi Giura, uno dei primi allievi della Scuola di Applicazione, egualmente impegnato a dare sostanza a uno specialista-scienziato e, dunque, non rigidamente tecnicizzato (Parisi, 2003). Giura fu, infatti, uno di quei professionisti che proseguì con successo quel confronto con altre esperienze in paesi europei, in una logica di perfezionamento della formazione tecnica che si era già affermata nel Napoletano fra gli anni Ottanta del Settecento e i primi due decenni del XIX secolo (D'Angelo, 2018).

Entro ora nel merito di alcune questioni che emergono proprio da un'attenta lettura del manuale di Luigi Granata e che ci permettono di cogliere lo stretto legame con le battaglie del direttore generale de Rivera, e anche la modernità di questo cinquantaquattrenne professore, originario di Rionero in Vulture. Egli, infatti, aveva pubblicato l'opera per la quale è maggiormente ricordato, l'*Economia rustica per lo regno di Napoli* (Granata, 1830), con cui aveva tradotto e adattato alla realtà del Mezzogiorno la dottrina economica e agronomica dello studioso tedesco Albrecht Thaer (Thaer, 1818). In buona sostanza, Granata costituì un altro imprescindibile retroterra culturale degli allievi della Scuola.

C'è un aspetto che in particolar modo mi preme porre in risalto e che rende bene il senso di un cambiamento di percezione culturale tra il Settecento e il XIX secolo. Nella Parte II del manuale, dedicata espressamente alla *Scienza Silvana*, lo studioso si faceva interprete di un modo di ri-pensare talune categorie concettuali. Egli osservava, infatti, che la maggior parte delle persone (e dei governanti) considerava i boschi per quello che potevano dare agli uomini: il legno, i frutti, le scorze, il fogliame. Questa concezione consumistica degli alberi, dietro cui si celava l'idea di un suo sfruttamento per esclusivo interesse dell'uomo, abbastanza criticata dal moderno ecologismo, come sappiamo, lasciava spazio, seppure in modo cauto, a una più ampia e articolata visione del bene boschivo, che, infatti, andava valutato anche da altri punti di vista: per la sua capacità di arginare i venti e di proteggere le coltivazioni, in quanto la sua presenza mitigava il freddo e nel contempo tratteneva l'umidità per le benefiche piogge e perché teneva ben compatti i terreni scoscesi impedendone l'azione erosiva e il pericoloso scivolamento a valle. Si trattava di semplici e persino ovvie considerazioni; tuttavia, questa interpretazione non minimalista del bosco tendeva a spostare l'asse dall'individuo alle comunità, giustificando appieno la conservazione e la tutela del patrimonio boschivo.

Ecco, l'insegnamento più efficace che veniva trasmesso agli alunni aspiranti ingegneri era proprio questo: occorreva dare agli alberi e ai boschi la giusta collocazione nel contesto del paese, perché, sono parole di Granata, da quella sensibilità dipendevano "*il bene di provincie e Stati interi […] la miseria ed anche la perdita totale di popoli e di vaste contrade*" (Granata, 1839). Quella era la strada per consacrare il primato dell'utilità pubblica e non le ragioni dei privati cittadini, deprecabilmente abituati a disattendere la normativa e i vincoli da essa posti.

Si trattava di istruzioni che i futuri ingegneri avrebbero dovuto applicare con rigore e meticolosità, perché la loro attività sul territorio sarebbe stata continuamente soggetta a questa dicotomia tra l’interesse dello Stato e quello del cittadino. La visione di Granata, le analoghe idee di Carlo Afan de Rivera in materia e la già richiamata legge forestale del 1826 non davano troppo scampo ai privati, sottoponendoli senza mezzi termini alla preminenza dell’interesse collettivo.

Diventava scontato e del tutto opportuno il rimando alla legge del 1826 per quella parte relativa alla salvaguardia dei terreni in pendio; qui Granata appare piuttosto determinato: ”*dissodare un prato naturale al pendio di un monte è atto di barbarie, poiché rotti una volta que’ prati, svelta una volta quei boschi, la coltivazione male intesa e le piogge tirano giù in su le prime la terra vegetabile, e le ghiaie e le pietre dello strato sottoposto rimaste nude, sono di poi trascinate anch’esse nei soggiacenti terreni, di tal che ne restano in fine isteriliti i monti ed i piani*“ (Granata, 1839).

La legge Forestale

Il collegamento diretto con le norme saldava le conoscenze forestali con alcune fondamentali questioni “ambientali” che proprio la legge voluta e ispirata da de Rivera aveva provato ad affrontare e a risolvere (Legge Forestale, 1826).

Analizziamole, sebbene non ci allontaneremo dalle questioni sin qui già individuate.

La prima. Le terre in pendio, le più soggette a franare a valle se soggette a improvvide colture, andavano sottoposte, come già detto, a un attento regime vincolistico, col quale s’intendeva proteggere quei luoghi fragili, avviando anche una procedura di rimboschimento. Il nodo restava, infatti, la tenuta salda dei terreni che poteva essere assicurata solo dalle radici degli alberi. E spesso gli alberi erano stati tagliati inopinatamente. Non è casuale il riferimento che Granata faceva ai proprietari fondiari che non effettuavano gli interventi di ripristino nei propri territori che erano stati indebitamente soggetti a colture (Granata, 1839), come prescritto dalla normativa forestale (Legge Forestale, 1826).

La seconda riguardava l’intervento punitivo per quanti, in spregio alla legge, andavano a coltivare le zone in pendio. Il vincolo, denotando una modernità insospettabile, oltre a una forte ammenda, imponeva ai responsabili del reato il ripristino dello status quo ante delle terre devastate, con particolare riferimento al rimboschimento (Legge Forestale, 1826).

La terza chiamava in causa la figura dei sindaci per il rispetto della legge e del sistema vincolistico e i responsabili dei governi locali, che erano tenuti a sorvegliare il territorio e pagavano di persona, anche col carcere, qualora non avessero ottemperato al rispetto della normativa (Legge Forestale, 1826).

Gioverà chiarire che la legge interpretava tali questioni nel complicato rapporto tra diritto di proprietà e pubblica utilità, determinando i limiti del primo, fissando

l'obiettivo della conservazione dei boschi e delle selve nei siti montuosi, nelle terre in pendio e nei luoghi piani e valutando con attenzione i rischi determinati da colture improprie e pericolose per i terreni posti a valle.

Infine, occorreva attuare una programmazione scientifica del taglio dei boschi procedendo per sezioni, per ridurre fortemente l'impatto dei disboscamenti e assicurare la progressiva rinascita degli alberi (Legge Forestale, 1826).

La legge forestale, che disciplinò una materia che presentava delle lacune, e gli insegnamenti di Granata verso una formazione dei futuri ingegneri aperta alle problematiche delle scienze silvane, ebbero una forte incidenza nel Regno. Le percezioni in materia di territorio e segnatamente di boschi e selve, l'operatività e la formazione culturale dei giovani, l'idea stessa che nella prima metà del XIX secolo si aveva del rapporto con la natura e la gestione della risorsa boschiva rappresentano un humus di notevole valore storico e tecnico-culturale (De Rivera, 1825).

Da questa filiera della conoscenza, come ho inteso definirla, affiorano taluni tratti imprescindibili che ci danno il senso della modernità dell'interesse per il buon governo dei territori nel Regno delle Due Sicilie, finalizzato alla loro tutela e allo sviluppo economico del paese. Emerge anche una consapevolezza scientifica e culturale sul possibile degrado dei territori e sulle cause che lo avevano determinato, si imponeva, inoltre, un sistema vincolistico per tamponare l'estensione delle colture agricole nelle aree montane e collinari, si adottava il meccanismo del ripristino dei luoghi toccati dalla mano imprudente dell'uomo, in uno ad ammende e a reati penali per i contravventori e per quanti non rispettavano o non facevano rispettare la legge e si lasciava spazio per legittime rivalse a quanti, nei terreni sottoposti, subivano il degrado determinato dalle colture e dal diboscamento nel livello superiore.

Possiamo prudentemente parlare di una progressiva consapevolezza dell'impatto ambientale determinato dalle attività antropiche e di un'attenzione allo sfruttamento agricolo in aree non ritenute idonee. Ancora una volta de Rivera si era reso conto che occorreva preparare per tempo i futuri ingegneri istradandoli ed educandoli al rispetto del bene boschivo, e in senso lato per la natura, che era del tutto propedeutico all'azione di tutela e conservazione prescritta dalla legge.

Si apriva una stagione di sensibilità per i problemi del territorio, basata sulla concretezza, che va senza dubbio apprezzata e che era frutto di contaminazioni con realtà europee già abituate ad affrontare tali questioni. Il rovescio della medaglia fu rappresentato, tuttavia, dal fatto che questa stagione rimase circoscritta agli ingegneri e alla Direzione Generale che li guidava, trovando parziali riscontri nelle comunità locali e ancora meno negli ambienti politici della monarchia. In fondo, l'agronomia e la legge forestale abituavano a contrapporsi alle devastazioni dei territori e questo si rivelava sconveniente non solo per i proprietari fondiari ma anche per una parte non ristretta dei contadini.

Bibliografia

Afan de Rivera C. 1825. *Delle devastazioni prodotte dalle acque a cagione de’ diboscamenti*. Napoli: Reale Tipografia della Guerra.

Afan de Rivera C. 1848. De’ mezzi più efficaci da procacciar lavoro agli operai facendo valere i vantaggi naturali. In: Foscari G. (2018). *Carlo Afan de Rivera. La politica e la modernizzazione conservativa nel regno delle Due Sicilie*. Nocera Superiore: D’Amico editore.

Buccaro A., De Mattia F. (a cura di). 2003. *Scienziati artisti: formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell’Archivio di Stato e della Facoltà di Ingegneria di Napoli*. Napoli: Electa.

D’Angelo F. 2018. *Dal Regno di Napoli alla Francia. Viaggi ed esilio tra Sette e Ottocento*. Napoli: Edizioni Libreria Dante & Descartes.

Foscari G. 1995. *Dall’arte alla professione. L’ingegnere meridionale tra Sette e Ottocento*, Napoli: ESI.

Foscari G. 2009. *Teodoro Monticelli e l’Economia delle acque nel Mezzogiorno moderno. Storiografia, Scienze Ambientali, Ecologismo*. Salerno: Edisud.

Foscari G., Sciarrotta S. 2011. *Il dissesto idrogeologico nella Costiera Amalfitana e nella Valle dell’Irno (1800-1860)*. Salerno: Edisud.

Granata L. 1830. *Economia rustica per lo regno di Napoli*, 2 voll., Nunzio Posca, Napoli.

Granata L. 1839. *Elementi di agronomia e della scienza selvana ad uso della scuola di applicazione di ponti e strade*. Napoli: G. Nobile.

Legge Forestale del 21 agosto 1826, in Collezione delle Leggi e de’ decreti reali del Regno delle Due Sicilie (1826). Semestre II da luglio a dicembre, 97-. Napoli, dalla stamperia reale.

Palazzolo M.I. 1989. I tre occhi dell’editore. Cultura meridionale e mercato librario tra Otto e Novecento. Meridiana, 5, 169-198.

Parisi R. 2003. *Luigi Giura 1795-1864. Ingegnere e architetto dell’Ottocento*. Napoli: Electa.

Piccioni L. 1999. *Il volto amato della Patria. Il primo movimento per la protezione della natura in Italia 1880-1934*. Camerino: Università degli studi di Camerino.

Thaer A. 1818. Principj ragionati d’Agricoltura, t. IV. Firenze: Stamperia Piatti.

Webgrafia

[1] Pionieri ambientalisti nell’Italia dell’Ottocento. G. Perkins Marsh e gli ingegneri idraulici padano-veneti

Emanuele Zamperini

L'insegnamento dell'architettura agli ingegneri a Pavia dall'Unità d'Italia alla fine dell'Ottocento

Abstract
In 1859 the Second Italian War of Independence led to the annexation of Lombardy to the Kingdom of Sardinia, starting the process of Italian unification. In November 1859, the so-called Casati Law was promulgated, reorganizing the entire course of national education, from elementary schools to universities. Until that date the University of Pavia was the only one in Lombardy; in it a degree course in mathematics was held. This course was aimed at the training of engineers, together with the subsequent compulsory traineeship with a professional engineer. With the entry into force of the Casati Law, the training course for the engineers was reorganized: a three-year course to be attended in the Faculties of Sciences preceded a two-year period in the newly established Application Schools. In the University of Pavia this led to the suppression of all application courses, and to the maintenance of the Drawing course only; this course developed over the three years, moving from geometric drawing, to architectural and machine design, and to topography drawing. In 1875 the new regulations of the Faculties of Sciences and of the Application Schools established that the duration of the studies for the aspiring engineers should be two years in the former and of three in the latter. In the University of Pavia in addition to the biennial course in mathematics – in which the teaching of Drawing was preserved, adding ornamental drawing to architectural one – the first year of School of Application was also maintained. Special courses in Graphic statics, Applications of descriptive geometry, Docimastic chemistry and later also in Kinematics applied to machines were then established. On the basis of yearbooks and archive documentation, the paper analyses in detail the architectural and engineering teaching in Pavia with reference to the personalities of the professors and the evolution over time of the educational programs.

Introduzione
Lo studio dei metodi e dei contenuti dell'insegnamento delle materie architettoniche nelle università è fondamentale non solo per meglio comprendere l'idea che della figura del progettista avevano le classi dirigenti, ma anche per poter interpretare il ruolo che gli studi universitari, in concorso o in contrasto con altri canali formativi, hanno avuto sulla definizione della cultura dei professionisti[1].

Se è talvolta possibile reperire informazioni più o meno esaustive sui contenuti dei corsi, è in genere molto più difficile comprendere l'approccio generale con cui tali contenuti erano affrontati. A tal fine è perciò fondamentale approfondire la conoscenza delle figure dei docenti attraverso la loro attività accademica e professionale e, quando possibile, attraverso le loro pubblicazioni, non solo didattiche.

Quelli che si presentano in questo articolo sono gli esiti parziali di una più ampia ricerca sulla formazione degli ingegneri, e più in particolare sull'insegnamento delle materie architettoniche, nell'Università di Pavia tra la fine del XVIII e il XX secolo, che intende estendere o approfondire dal punto di vista dei contenuti tecnici e architettonici studi già condotti da altri ricercatori (Erba, 1984; Erba, 2003; Erba, 2007; Ferraresi, 2007; Ferraresi, 2017; Forni, 2005; Gabba, 2003).

Gli studi per ingegneri prima dell'Unità nazionale

Prima dell'Unità nazionale in Italia non esisteva un sistema di insegnamento comune ai vari territori: scuole e università avevano ordinamenti differenti da stato a stato. Per quanto riguarda la formazione dell'ingegnere, nel Regno Lombardo Veneto era attivo un corso triennale il cui ordinamento risaliva al 1839 e che conferiva la laurea in Matematica[2], che, affiancata a un periodo di praticantato presso un ingegnere professionista, consentiva l'accesso all'esame di abilitazione. La pratica professionale era stata inizialmente prevista di quattro anni, almeno due dei quali successivi alla laurea[3]; successivamente la durata del praticantato venne ridotta a soli due anni, da compiersi interamente dopo il conseguimento del titolo accademico[4]. Chi intendeva ottenere il titolo di architetto avrebbe dovuto frequentare, dopo la laurea, anche un periodo di studio presso le accademie di belle arti di Milano o di Venezia e effettuare un praticantato biennale[5].

Il corso matematico per ingegneri a Pavia prima dell'unificazione nazionale

Nel 1859, al momento dell'annessione delle province lombarde al Regno di Sardegna, l'ordinamento degli studi per ingegneri vigente, in Tabella 1, risaliva al 1839 e prevedeva una compresenza in tutti i tre anni di studio di corsi teorici e applicativi[6]; le conoscenze matematiche propedeutiche venivano quindi acquisite dallo studente in parallelo allo studio delle applicazioni alle quali dovevano dedicarsi.

Questa organizzazione didattica comportava, però, che alcune materie applicative, che necessariamente dovevano essere collocate nel primo anno di studio, dovessero essere svolte utilizzando solo le conoscenze elementari di matematica apprese negli studi liceali[7].

Con il passare degli anni e con il progredire dell'industria lombarda, però, l'ordinamento degli studi stabilito nel 1839 iniziava a essere obsoleto; tra il 1856 e il 1858 furono quindi attivati alcuni corsi liberi destinati a incrementare la cultura scientifica o tecnica degli studenti: Scienza della costruzione delle macchine, Tecnologia, Disegno

Tab.1 – Piano degli studi definito dalla riforma del 1839[9].

Piano degli Studj Matematici instituiti presso le Università di Pavia e di Padova per gl'Ingegneri, Architetti [...]	
Primo corso	1. Introduzione alla Matematica sublime. 2. Economia rurale. 3. Geodesia 4. Idrometria. 5. Disegno di Geometria. 6. Storia Naturale (per gli studenti che non l'avessero già frequentata nel liceo).
Secondo corso	1. Matematica sublime. 2. Architettura Civile e Stradale. 3. Geometria descrittiva, con disegni. 4. Disegno nell'Architettura Civile.
Terzo corso	1. Matematica applicata. 2. Architettura Idraulica. 3. Disegno di Macchine. 4. Disegno Architettonico. 5. Trattati legali.

tecnico industriale, Alta geodesia e Geometria superiore[8]; furono inoltre assunti alcuni assistenti al fine di aiutare i docenti a seguire in maniera più specifica i singoli studenti.

L'insegnamento delle materie architettoniche

Concentrando l'attenzione sui contenuti finalizzati alla progettazione architettonica, si vede che questi erano acquisiti dagli studenti in vari corsi, tutti già previsti dall'ordinamento degli studi del 1839:

- nel corso di *Disegno di Geometria*, tenuto dal 1840 da Ferdinando Agazzi[10], ritratto sulla sinistra in Figura 1, oltre ai fondamenti del disegno geometrico era insegnato il disegno alla scala territoriale e urbana[11];
- nel corso di *Architettura Civile e Stradale*, tenuto dal 1851 al 1859 da Francesco Cattaneo[12] erano trattati i materiali da costruzione, nonché le tecniche costruttive e le teorie sulla resistenza dei materiali applicate all'edilizia civile, nel corso di *Architettura Idraulica* erano invece trattate la progettazione e la costruzione dei ponti;
- nel corso di *Geometria descrittiva*, tenuto dal 1842 al 1863 da Giovanni Codazza erano trattate varie applicazioni, in particolare la stereotomia[13];
- nel corso di *Disegno nell'Architettura civile*, tenuto dal 1841 al 1860 da Giovanni Battista Vergani[14], erano trattati gli elementi componenti gli ordini architettonici classici e gli studenti iniziavano a ridisegnare alcune "*fabbriche de' più accreditati autori"* che venivano illustrate dal professore "*onde lo studio [...] diventi utile e serva d'iniziativa alla composizione*"[15];

- nel corso di *Disegno Architettonico*, tenuto anch'esso da Vergani, venivano trattati gli elementi complementari dell'architettura classica, quali cornici di finestre e porte e balaustre, i caratteri distintivi dei vari stili architettonici storici, i principi generali della composizione architettonica; nel corso dell'anno gli studenti erano inoltre tenuti a redigere vari progetti di complessità crescente[16];
- nel corso di *Disegno di macchine*, tenuto da Agazzi, oltre alla teoria generale delle macchine e degli ingranaggi e alle applicazioni alle macchine locomotrici e di impiego industriale erano trattate alcune macchine impiegate nel cantiere edilizio, come le macchine per il sollevamento dei pesi e le "*macchine palificatorie"*[17].

La legge Casati e la riforma della pubblica istruzione

Nel 1859 la seconda guerra d'indipendenza italiana portò alla annessione della Lombardia al Regno di Sardegna, dando avvio al processo di unificazione nazionale. "*Approfittando dei pieni poteri concessi al governo per la guerra e della chiusura del Parlamento"* nel novembre 1859 fu promulgata la cosiddetta legge Casati, che riorganizzava tutto il percorso dell'istruzione nazionale, dalle scuole elementari alle università. Per definire la nuova organizzazione degli studi universitari, Casati creò una commissione inizialmente composta solo da torinesi, alla quale si aggiunse in seguito anche Francesco Brioschi, professore di Matematica applicata a Pavia, milanese (Ferraresi 2017).

La legge Casati rivoluzionò i percorsi formativi per ingegneri, mantenendo nelle università un corso matematico di base triennale, dal quale erano però escluse tutte le materie applicative, e sostituendo il praticantato con un percorso biennale nelle neo-istituite Scuole di applicazione per ingegneri[18]; già nel 1861, però, un Regio Decreto consentì di continuare a ottenere l'abilitazione all'esercizio della professione svolgendo la pratica ai sensi delle previgenti normative e sostenendo poi un esame in università[19]. Questo duplice percorso rimase in essere, però, solo per pochi anni, dal momento che un Regio Decreto del 1864 stabilì che la possibilità di ottenere l'abilitazione attraverso il praticantato dovesse cessare l'1 novembre 1866, data dopo la quale si sarebbero portate a termine solo le pratiche già precedentemente avviate[20].

Contrariamente alle Scuole di applicazione di Torino e Napoli, la scuola del Regio Istituto Tecnico Superiore di Milano (l'attuale Politecnico), fin dalla sua istituzione nel 1863 ebbe durata pari a tre anni; si potevano iscrivere al primo anno gli studenti che avessero compiuto "*i primi due anni delle Facoltà di scienze fisiche, matematiche e naturali per la laurea in matematiche pure, o per la laurea in scienze fisico-matematiche*", mentre gli studenti che avessero ottenuto la "*licenza per le scienze matematiche*" erano ammessi direttamente al secondo anno[21].

Gli insegnamenti per ingegneri a Pavia dopo la Legge Casati (1859)

A seguito dell'entrata in vigore della Legge Casati, nell'Università di Pavia fu istituito il triennio propedeutico e non variò quindi il numero di anni di corso previsto

in quella università; il sostanziale cambiamento fu però connesso al fatto che furono escluse le materie puramente applicative, in particolare Economia rurale, Idrometria e Architettura civile, stradale e idraulica, che in molte di quelle in cui convivevano parti teoriche e applicative furono mantenute solo le prime[22] e che l'insegnamento del Disegno fu unificato in un unico corso triennale.

La legge Casati prevedeva per l'Università di Pavia un unico corso di Disegno di durata triennale e di conseguenza un solo professore; il Ministero stabilì che l'altro dovesse essere trasferito alla Scuola di applicazione del Regio Istituto Tecnico Superiore di Milano, non appena questo fosse stato istituito, ma che nel frattempo potesse tenere un corso libero ritenuto utile dalla Facoltà[23]. Siccome nel nuovo ordinamento degli studi il corso triennale di Disegno doveva mantenere argomenti precedentemente trattati nei quattro corsi dell'ordinamento previgente[24], la cattedra fu attribuita ad Agazzi, esperto tanto degli aspetti architettonici quanto di quelli meccanici. In attesa di essere trasferito a Milano, Vergani fu invece incaricato temporaneamente di tenere il corso libero di Disegno di architettura civile e stili diversi di *essa*[25].

Per il proprio insegnamento Agazzi poteva usufruire della collaborazione dell'assistente Leopoldo Garavaglia[26], tuttavia il grande carico didattico connesso allo svolgimento dell'insegnamento per gli studenti dei tre anni spinse Agazzi a chiedere un ulteriore collaboratore e fin dal febbraio 1861 Carlo Santamaria[27], non ancora laureato in matematica, fu assunto come coadiutore[28].

Essendo stato ufficialmente istituito nel novembre 1862 il Regio Istituto Tecnico Superiore di Milano e profilandosi ormai imminente l'inizio degli insegnamenti, l'ormai anziano Giovanni Battista Vergani, probabilmente per non doversi trasferire a Milano, dove era destinata la sua cattedra, nel dicembre 1863 chiese la giubilazione, che gli fu concessa a partire dal 1° gennaio 1864[29].

A Milano fu trasferito anche Leopoldo Garavaglia, che assunse l'insegnamento di Disegno d'applicazioni di geometria descrittiva come professore straordinario[30]. Il trasferimento a Milano di Garavaglia rese necessaria la riorganizzazione del personale assistente; accogliendo i suggerimenti di Agazzi, Carlo Santamaria, nel frattempo laureato, fu promosso assistente e Giuseppe Gambirasio, anch'egli ancora studente, fu incaricato fino al termine dell'anno accademico delle funzioni di coadiutore[31]. La scelta cadde su Gambirasio perché era particolarmente versato nel disegno architettonico, per aver prima dell'iscrizione all'università studiato architettura all'Accademia Carrara di Bergamo, riportando vari premi[32].

Il grande carico di lavoro assunto da Agazzi e la sua assiduità nella supervisione del lavoro degli studenti gli avevano causato una graduale, irreversibile diminuzione della vista[33]. Nel dicembre del 1863, quindi, chiese anch'egli il pensionamento, che gli fu concesso a partire dal 1° febbraio 1864[34]; per non sospendere l'insegnamento nell'attesa della nomina di un successore, Agazzi proseguì però nell'insegnamento fino alla fine dell'anno accademico[35]. Come sostituto si pensò inizialmente di ri-

Fig. 1 – Sulla sinistra: ritratto di Ferdinando Agazzi (medaglione funebre in marmo della lastra tombale conservata nel Cimitero Monumentale di Milano). Sulla destra: ritratto fotografico di Ferdinando Brusotti.

chiamare Garavaglia da Milano, nominandolo professore ordinario[36]. Non essendo però andata a buon fine tale proposta, si cercò un altro individuo che fosse "*dotato di distinta abilità nel disegno, colto a sufficienza nelle altre scienze matematiche e capace di tenere la disciplina di una numerosissima scuola*" e fosse disponibile a trasferirsi a Pavia per insegnare disegno[37], optando alla fine per Ferdinando Brusotti, ritratto in Figura 1 sulla destra, il quale iniziò le lezioni nel febbraio 1865[38].

Ancora una volta, l'elevatissimo numero di studenti, in totale circa 390 sui tre anni di corso, confermava la necessità di un coadiutore, che su indicazione del Preside fu nominato nella persona di Carlo Vergani[39], figlio di Giovanni Battista, ingegnere attivo nella progettazione architettonica.

Inizialmente Brusotti mantenne quasi inalterati i programmi dei corsi tenuti dal suo predecessore[40], ma successivamente limitò la parte di disegno geometrico, introducendo fin dal primo anno il disegno delle modanature e degli ordini architettonici, mentre nel secondo anno trattava numerosi argomenti teorici relativi agli aspetti costruttivi dell'architettura e alla loro rappresentazione e nel terzo anno affiancò il disegno topografico alla teoria delle macchine e al relativo disegno[41].

Brusotti affiancava all'attività didattica quella di ricerca teorica e sperimentale in ambito fisico e quella relativa all'innovazione tecnologica, con l'invenzione o il perfezionamento di alcuni strumenti scientifici[42]; inventò un prototipo di lampadina, che non ebbe però successo commerciale a causa della successiva invenzione di Edison. Proprio in virtù della fama ottenuta per queste ricerche, nel 1871 fu comandato a insegnare Fisica tecnologica nell'Università di Roma[43], ai tempi in fase di rinnovamento dopo l'annessione della regione al Regno d'Italia.

Dell'insegnamento del Disegno a Pavia fu quindi incaricato l'assistente Santamaria, che nel frattempo aveva assunto anche il ruolo di professore di Costruzioni e Topografia nel locale Istituto Tecnico[44], venendo nominati provvisoriamente assistente Carlo Vergani e coadiutore l'ing. Marco Forni[45]. Cessato al termine dell'anno il comando presso l'Università di Roma, Brusotti riprese l'insegnamento del Disegno all'Università di Pavia, al quale affiancò anche quello di Fisica nel locale Istituto Tecnico[46].

Sul finire del 1875 furono emanati nuovi regolamenti per le Facoltà di Scienze e le Scuole di Applicazione[47], che stabilivano un nuovo ordinamento di studi il quale limitava a due soli anni gli studi universitari propedeutici ed estendeva a tre quelli applicativi. Nell'Università di Pavia il terzo anno propedeutico fu però mantenuto, mutandolo in primo anno di applicazione con l'istituzione dei corsi mancanti[48].

A questo cambiamento si associò un rinnovamento radicale nei programmi di insegnamento del Disegno; il regolamento stabiliva infatti che nei due anni che lo studente doveva frequentare presso la Facoltà di Scienze il Disegno di ornato fosse insegnato per tutto il periodo e il Disegno di architettura per un semestre soltanto[49]; le proporzioni fra i due insegnamenti furono però immediatamente modificate, limitando il Disegno d'ornato al solo primo anno e dedicando il secondo interamente al disegno di architettura[50]; successivamente, a partire dal 1882, si tornò a dare maggiore spazio al Disegno di architettura portando da sei a dodici le ore di insegnamento del primo anno, ugualmente distribuite tra Disegno d'ornato, al quale erano ora obbligati solo gli studenti provenienti dai licei, e di architettura[51].

Quasi contemporaneamente, Carlo Vergani iniziò a mostrare i sintomi di una malattia neurologica che lo rese inabile all'esercizio delle sue funzioni di coadiutore[52] e a sostituirlo, prima come supplente, poi in via definitiva, fu richiamato Marco Forni. Con il rinnovamento dei programmi, il contributo di Forni si dimostrò fondamentale, tanto che l'insegnamento dell'ornato fu a lui attribuito quasi interamente, dal momento che era particolarmente esperto della materia; nel corso degli anni Forni fu anche incaricato delle esercitazioni di Disegno a mano libera per gli studenti della Scuola normale[53] in Scienze naturali.

Per garantire una idonea formazione anche agli studenti che intendevano dedicarsi all'ingegneria industriale, nel secondo anno di corso Brusotti mantenne in un primo periodo anche l'insegnamento del disegno di macchine[54]; tuttavia la riduzione

del corso di disegno a due soli anni e l'introduzione dell'ornato fece sì che dall'insegnamento fosse esclusa buona parte dei contenuti relativi alle tecniche costruttive e tutta la teoria delle macchine.

Quando nel primo anno della Scuola di Applicazione di Torino, quella alla quale si iscriveva la maggior parte degli studenti licenziati dall'Università di Pavia da quando a Milano era stato istituito anche il biennio propedeutico, fu introdotto l'insegnamento dell'Architettura, Brusotti si rese disponibile a tenere alcune ore di lezione in più rispetto a quelle che gli competevano per istruire gli studenti del primo anno di applicazione pavese e renderne meno gravoso il passaggio al secondo anno nella sede torinese. Questa proposta fu però considerata non risolutiva e la Facoltà chiese, senza successo, che il Ministero concedesse un incarico di insegnamento e un assistente per istituire formalmente il corso di Architettura nel primo anno di Scuola di applicazione dell'Università di Pavia[55].

A partire dall'anno accademico 1895-96 Brusotti ebbe significativi problemi di salute a causa dei quali chiese ripetuti periodi di aspettativa per malattia e fu efficacemente sostituito nell'insegnamento da Santamaria[56]. Con l'inizio dell'anno accademico 1897-98, su sua richiesta Brusotti fu infine collocato a riposo[57]. La Facoltà incaricò di nuovo Santamaria di tenere il corso e contestualmente avviò le pratiche per un concorso per professore straordinario. L'esito del complesso iter burocratico che ne seguì fu la nomina a professore straordinario di Sebastiano Giuseppe Locati a inizio 1899. Egli rinnovò fortemente l'insegnamento dell'architettura a Pavia, ma di questo si tratterà in un prossimo contributo[58].

Conclusioni

La storia dell'insegnamento dell'architettura per gli ingegneri all'Università di Pavia, rapidamente tratteggiata in questo contributo, mostra il susseguirsi delle tendenze didattiche distinte, con il passaggio dalla acquisizione simultanea di conoscenze teoriche e pratiche, tipica dell'insegnamento pavese preunitario, al successivo affermarsi, con la Legge Casati, dell'idea di una netta distinzione tra fase teorico-propedeutica e fase pratico-applicativa, solo in parte mitigata dal riversare nel corso di Disegno, almeno fino al 1875, moltissimi contenuti applicativi. Gli sviluppi dell'insegnamento dell'architettura per gli ingegneri avvenuti nei decenni e nell'intero secolo successivo mostreranno, invece, un graduale ritorno alla acquisizione simultanea di strumenti teorici e pratici[59].

Bibliografia

Cantalupi A. 1855. *Manuale delle leggi regolamenti e discipline intorno alle strade, alle acque ed alle fabbriche*. Milano: Editore Librajo Angelo Monti.

Cantalupi A. 1860. Sulle scuole di applicazione che si potrebbero attivare per gli ingegneri civili in sostituzione del tirocinio pratico prescritto dal decreto 3 novembre 1805. Giornale dell'ingegnere, architetto ed agronomo, 8, maggio 1860.

Erba L. 1984. *Gli studi di Ingegneria nell'Università di Pavia.* Pavia: Università degli Studi di Pavia.

Erba L. 2003. 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), 25-41. Como: New Press.

Erba L. 2007. Dopo la legge Casati. L'ingegneria all'Università di Pavia (1859-1968). In: *Ingegneri a Pavia tra formazione e professione* (a cura di Cantoni V., Ferraresi A.). Milano: Cisalpino. 167-191.

Ferraresi A. 2007. Dalla Facoltà Filosofica alla Facoltà Matematica: la formazione di ingegneri, architetti e agrimensori tra tradizione locale e modelli stranieri. In: *Ingegneri a Pavia tra formazione e professione* (a cura di Cantoni V., Ferraresi A.). Milano: Cisalpino. 49-129.

Ferraresi A. 2017. La Facoltà Matematica. In: *Almum Studium Papiense. Storia dell'Università di Pavia. Volume 2. Dall'età austriaca alla nuova Italia. Tomo II* (a cura di Mantovani D.). Milano: Cisalpino. 961-982.

Forni M. 2005. La didattica del costruire nell'ateneo pavese nella prima metà dell'Ottocento. In: *Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli. Volume 2* (a cura di Mochi G.). Ravenna: Edizioni Moderna. 717-728.

Gabba A. 2003. Scuole e facoltà per gli ingegneri in Pavia (1785-1863). In: *Scuole e Facoltà per gli Ingegneri in Pavia* (a cura di De Lotto I.). Como: New Press. 13-23.

Zamperini E. 2019. La formazione dell'ingegnere e dell'architetto in Italia. In: Id. *Capriate e tetti di legno. Evoluzione tecnologica e tipologica delle strutture lignee di copertura in Italia (1800-1950)*. Pavia: CLU. 85-88.

Zuradelli G. (a cura di) 1845. Leggi e regolamenti principali vigenti nel regno Lombardo-veneto, relativamente alla professione dell'ingegnere architetto e del perito agrimensore. Sezione I. Pavia: Bizzoni.

Abbreviazioni

ASPv: Archivio di Stato di Pavia
ASUPv: Archivio Storico dell'Università di Pavia
ACPMPv: Archivio Civico - Parte Moderna di Pavia

Note

1. Come ovvio, lo studio della cultura dei professionisti non può limitarsi alla conoscenza dei loro studi universitari, dal momento che la loro formazione – in passato, come oggi – non terminava con il conseguimento dei gradi accademici, ma proseguiva con continui approfondimenti e aggiornamenti svolti ad esempio attraverso i rapporti con i colleghi, in particolare in seno alle associazioni professionali, lo studio della letteratura tecnica (saggi, manuali e riviste), i viaggi e le visite di studio all'estero.
2. Fin dal 1786 era stato stabilito che "*essendo la Regia Università di Pavia il centro della istruzione nazionale [...] debbano fare i loro studi a Pavia anche que' Giovani che vogliono esercitare la professione d'Ingegnere o Architetto*" e la durata del corso di studi era stabilita di due anni (Avviso del Regio Imperiale consiglio di Governo del 6 novembre 1786, ASPv, Università – Rettorato 119, fasc. 9), tuttavia già nel 1788 gli anni di studio furono aumentati a tre (Ferraresi, 2007); a partire dal 1787, quindi, l'Università di Pavia iniziò a conferire "*Gradi Accademici di Ingegnere*" agli studenti che avessero compito

tali studi (lettera del Rettore Vincenzo Brunacci al Prefetto del Dipartimento d'Olona del 2 gennaio 1806, ASPv, Università – Matematica 151, Cartella I, fascetto 1mo). Nel periodo successivo alla restaurazione tale corso poteva essere frequentato anche nell'Università di Padova. Per una visione più generale della formazione dell'ingegnere negli stati preunitari si veda (Zamperini, 2019).

3. Articoli 6 e 7 del Regolamento per l'abilitazione all'esercizio delle professioni di Architetti civili, Periti Agrimensori, e Ingegneri civili del 3 novembre 1805.
4. Lettera del preside di Scienze al Rettore dell'Università di Pavia del 19 luglio 1861 (ASUPv – Facoltà di Scienze – Atti della presidenza – 1860-61 (cartella 2313)).
5. Inizialmente la durata degli studi presso un'accademia di belle arti era prevista annuale (Avviso del Regio Imperiale consiglio di Governo del 6 novembre 1786, ASPv, Università – Rettorato 119, fasc. 9), poi fu portata a due anni (Regolamento pel corso biennale degli studj che gl'Ingegneri Architetti, dopo terminato quello dell'Università, dovranno fare presso una delle II. RR. Accademie di belle arti di Milano o Venezia, approvato [...] con venerata Sovrana Risoluzione 2 maggio 1843, ACPMPv, 147, IX, 5, C), con la possibilità di sovrapporsi al praticantato. A partire dal 1852, però, tale periodo tornò a essere di un solo anno, impedendone lo svolgimento in contemporanea al tirocinio professionale, passato a tre anni; nel 1854, però, la durata del tirocinio fu riportata a due soli anni (Cantalupi, 1855). Cantalupi (1860) riporta però che "*Anteriormente al 1843 si consideravano come architetti civili anche coloro i quali, quantunque non avessero percorso gli studj tecnici e ottenuto un diploma qualunque, avessero peraltro conseguito uno dei premj dei grandi concorsi di architettura che si dispensavano annualmente dalle Regie Accademie di Belle Arti. Ma questa pratica venne abolita colla Risoluzione Sovrana 3 maggio 1843, non trovando alcun appoggio nelle veglianti leggi*".
6. Piano degli Studj Matematici instituiti presso le Università di Pavia e di Padova per gl'Ingegneri, Architetti e Periti Agrimensori, 22 dicembre 1839 (Zuradelli, 1845).
7. I corsi applicativi del primo anno erano Geodesia, Idrometria ed Economia rurale; la mancanza di basi matematiche adeguate era problematica in particolare per la geodesia e l'idrometria, materie che però in ogni caso dovevano essere trattate solo con strumenti matematici elementari, in quanto dovevano essere frequentate anche dagli studenti aspiranti al titolo di perito agrimensore. Gli aspetti idraulici erano ripresi e approfonditi nel corso di Architettura idraulica del terzo anno. Per fornire agli ingegneri una formazione migliore nella geodesia, nel 1858 fu istituito un corso libero di Alta geodesia, affidato a Felice Casorati (Ferraresi, 2007).
8. Ferraresi, 2007 e ASPv – Università – Registri 353 – Catalogo degli studenti di matematica 1859-60.
9. Il corso di Trattati legali non era presente nel piano di studi originario, fu però aggiunto fin dal primo anno di entrata in vigore dello stesso con sovrana risoluzione del settembre 1840 (Zuradelli, 1845).
10. Ferdinando Agazzi (Lecco 1811, Milano 1875), laureatosi a Pavia nel 1833 con una tesi di Architettura sull'origine delle volute ioniche e una di Geodesia. A seguito della riforma degli studi del 1839, era stato chiamato a insegnare il nuovo corso di Disegno di Geometria e di Macchine nel 1840 (Scheda biografica di Ferdinando Agazzi, ASPv – Università – Registri 126 bis – Matricola dei dottori inscritti alla Facoltà Filosofica).
11. Argomenti trattati nella Scuola di Disegno Geometrico nell'anno scolastico 1853/54, ASPv – Università – Matematica 227.

12. Francesco Cattaneo (Pavia 1811, ivi 1873), laureatosi a Pavia nel 1830, fu aggiunto alle cattedre di Fisica e Matematica pura; professore di Matematica e Meccanica nel liceo di Como (1839-50), nel 1850 tornò all'Università di Pavia come supplente. Insegnava Architettura civile, stradale e idraulica dal 1852 (Stato di servizio di Francesco Cattaneo, ASUPv – Fascicolo personale di Francesco Cattaneo (fasc. 228C)).
13. La stereotomia era applicata a muri di forme particolari e ai vari tipi di volta (Argomenti [...] di Geometria Descrittiva [...] 1853-54, ASPv – Univ. – Matem. 227).
14. Giovanni Battista Vergani (Verdello 1788, Pavia 1865) si diplomò Architetto nella Accademia di Belle Arti di Milano nel 1811, poi fu per quattro anni alunno pensionato a Roma per perfezionarsi nello studio dell'architettura classica; nel 1819 fu nominato professore di Disegno e di Architettura nel Liceo di Mantova. Insegnava Disegno architettonico e di architettura civile all'Università di Pavia dal 1841 (Stato di servizio di Giovanni Battista Vergani, ASUPv – Fascicolo personale di Giovanni Battista Vergani (fasc. 87V)).
15. Indice delle materie di Disegno nell'Architettura civile [1854], ASPv – Università – Matematica 227.
16. Agli studenti erano riciesti complessiamente quattordici progetti, come deducibile dall'Indice delle materie di Disegno architettonico [1854], ASPv – Univ. – Matem. 227. e dall'elenco di Soggetti o temi di architettura [1853], ASPv - Università - Matematica 110.
17Argomenti trattati nella scuola del disegno di Macchine nell'anno 1853/54, ASPv – Università – Matematica 227.
18. L'eliminazione del praticantato venne in generale accolta con apprezzamento (Cantalupi, 1860). La Legge Casati prevedeva che il preesistente Regio Istituto tecnico di Torino fosse convertito in Scuola di Applicazione per ingegneri (art. 309) e che un'analoga scuola fosse annessa al Regio Istituto Tecnico Superiore da istituirsi in Milano (art. 310).
19. R. Decreto n. 93 del 10 luglio 1861 "*contenente disposizioni circa la pratica e gli esami per l'esercizio delle professioni d'Ingegnere idraulico, d'Architetto civile [...] nella Lombardia, nell'Emilia, nell'Umbria e nelle Marche*" (Gazzetta Ufficiale, 20 luglio 1861).
20. R. Decreto n. 1779 dell'8 maggio 1864 "*relativo agli studi pratici e agli esami pel libero esercizio della professione d'Ingegnere nelle provincie lombarde, parmensi e modenesi*". All'art. 1 il decreto prevedeva inoltre che la sede dell'esame non fosse più una università, ma una delle scuole di applicazione.
21. R. Decreto 13 novembre 1862, art. 3.
22. Ad esempio nel corso di Geometria descrittiva, cui faceva seguito quello di Applicazioni di geometria descrittiva tenuto nelle scuole di applicazione.
23. Lettera del Rettore Brioschi al Ministero del 30 novembre 1860 e lettera del Ministero al Rettore del 13 dicembre 1860, ASUPv – F. di Scienze – Presidenza – 1860-61 (c. 2313).
24. Sebbene non si sia trovato un programma del corso, da varie informazioni si può supporre che gli argomenti dei due primi due anni corrispondessero a quelli precedenti la Legge Casati, mentre nel terzo anno fosse trattato solo il disegno meccanico.
25. Lettera di Vergani al Rettore del 6 dicembre 1861, ASUPv – Fascicolo personale di Giovanni Battista Vergani (fasc. 87V).
26. Leopoldo Garavaglia (Firenze 1834, 1895) laureato in matematica nel 1857, era stato nominato assistente di Disegno di geometria e di macchine e di Geometria descrittiva nel 1858 (ASUPv – Fascicolo personale di Leopoldo Garavaglia (fasc. 70G)).
27. Carlo Santamaria (Milano 1842, Casatenovo 1922) si laureò in matematica nel luglio 1861 con una dissertazione di Meccanica razionale intitolata "Sull'attrazione". Per la

nomina si veda la lettera del Rettore al Preside della Facoltà di Scienze del 23 febbraio 1861, ASUPv – Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1860-61 (cartella 2313).

27. Al coadiutore erano attribuite funzioni analoghe a quelle dell'assistente, ma paga minore.
29. Lettera al Rettore del 13 dicembre 1863 (ASUPv – Fascicolo personale di Giovanni Battista Vergani (fasc. 87V)); l'accettazione della domanda venne comunicata con lettera del Ministro al Rettore del 23 dicembre 1863 (ivi).
30 All'articolo 70, la legge Casati stabiliva il numero di professori ordinari per ciascuna facoltà di ciascuna università e specifiava che «Tutti gli altri insegnamenti delle rispetive facoltà saranno dati da professori straordinari e da incaricati speciali» e nel capo IV del titolo II (articoli 89-92) stabiliva inoltre che i professori straordinari dovessero essere nominati dal Ministro fra persone risultate idonee in un concorso per professore ordinario o che fossero «venute in grido di molta dottrina nelle discipline speciali che avranno a insegnare» per scritti pubblicati o per insegnamenti dati; la nomina a professore straordinario era provvisoria e doveva essere rinnovata di anno in anno, lo stipendio non poteva superare i sette decimi di quello degli ordinari.
31. Giuseppe Gambirasio (1842-1888). Nella lettera alla Presidenza di Scienze del 18 febbraio 1864, Agazzi affermava di aver chiamato fin dal 10 dicembre 1863 Gambirasio ad assumere in prova le funzioni di coadiutore e chiedeva che fosse incaricato ufficialmente (ASUPv – Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1864-70 – cartella 1332). Il preside Cattaneo ritenne però di farne richiesta ufficiale al Rettorato solo a inizio di aprile, estendendo il periodo di prova a quasi quattro mesi (Lettera del preside Cattaneo al Rettore del 4 aprile 1864, ivi). La nomina di Santamaria ad assistente e l'incarico di coadiutore a Gambirasio furono quindi notificati con lettera ministeriale dell'11 aprile 1864 (ivi).
32. Lettera di Agazzi alla Presidenza della Facoltà di Scienze del 18 febbraio 1864, ASUPv – Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1864-70 (cartella 1332).
33. Agazzi era solito permanere in aula di disegno ben al di là delle ore di insegnamento alle quali era tenuto per supportare il lavoro degli studenti, che avevano accesso ai locali al di fuori delle lezioni al fine di proseguire la redazione dei propri elaborati grafici (si veda ad esempio la lettera del Rettore al Ministero del 28 dicembre 1863, ASUPv – Fascicolo personale di Ferdinando Agazzi (fasc. 11A)). Nella sua lettera al Rettore del 28 dicembre 1863, Agazzi afferma di essere ricorso a "*prove tentate più volte e sempre fallite nell'ultimo quadriennio per fermare la crescente debolezza della vista*" (ivi).
34- Lettera del Ministero al Rettore del 4 gennaio 1864, ivi.
35. Lettera del Preside alla Rettore del 17 gennaio 1865, ASUPv – Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1864-70 (cartella 1332)).
36. Lettera del Rettore al Ministero del 10 agosto 1864, ASUPv – Rettorato 1861-82 (cart. 1182).
37. Lettera del Preside al Rettore del 9 dicembre 1864, Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1864-70 (cartella 1332).
38. Ferdinando Brusotti (1839-1899), nativo di Rosasco in Lomellina, allora provincia piemontese, aveva iniziato gli studi nell'Università di Torino, per iscriversi nel 1860 al secondo anno di corso a Pavia, dove ottenne nel 1862 la licenza matematica; tornò quindi a Torino per frequentare la Scuola di Applicazione, dove fu allievo, fra gli altri, di Promis e Richelmy, e nel dicembre 1864 conseguì la laurea discutendo la dissertazione dal titolo "Dell'impiego del gaz luce siccome forza motrice applicabile alla piccola industria". Per la nomina si veda la lettera del Ministero al Rettore del 14 gennaio 1865, ASUPv – Fascicolo personale di Ferdinando Brusotti (fasc. 499B).

39. Carlo Vergani (1828-post 1876) dopo aver studiato matematica all'Università di Pavia e a quella di Padova, si laureò a Pavia nel 1856; dopo il ritiro dalla professione del padre, subentrò a questo in due importanti progetti di edifici pubblici da erigersi a Pavia, il nuovo teatro e il cimitero, che però non furono mai realizzati. La richiesta di nomina fu effettuata dal Preside con lettera al Rettore del 21 marzo 1865 (ASUPv – Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1864-70 (cartella 1332)).
40. Programma per gli esami speciali di Disegno da tenersi nell'anno 1865, ASUPv – Rettorato 1864-70 (cartella 1693). In esso, pur non avendo una chiara suddivisione del programma nei tre anni di insegnamento, si distinguono chiaramente tre gruppi di argomenti: quelli relativi all'uso degli strumenti da disegno, quali compasso, compasso di proporzione, compasso di riduzione, pantografo e acquerelli, e al disegno geometrico; quelli relativi a modanature, ordini architettonici, cornici, nicchie, porte, finestre, balaustre e così via, nonché alle incavallature per i tetti; quelli relativi alle macchine, alle loro componenti e ai relativi principi di funzionamento.
41. Programma per gli esami speciali di Disegno pubblicato nel 1867 (ivi); per la scansione del programma nei tre anni si veda la lettera del Preside al Rettore del 15 dicembre 1867, scritta in risposta a una domanda sull'insegnamento del disegno inviata dall'Università di Parma (ASUPv – Atti della presidenza - 1864-70 (cartella 1332)). Per quanto riguarda le tecniche costruttive, oltre alle incavallature, introdotte fin dal primo anno di insegnamento, Brusotti trattava delle tecniche costruttive dei muri di pietra e di mattoni, del loro dimensionamento in base a regole teoriche o empiriche, della loro ornamentazione, delle fondazioni murarie e su pali, degli archi e della loro decorazione, delle porte, delle finestre, delle cornici marcapiano e di coronamento.
42. Particolare importanza ebbe la modifica apportata da Brusotti all'anemografo Parnisetti, che con il nome di anemografo Brusotti-Parnisetti fu a lungo impiegato in tutti gli osservatori meteorologici italiani.
43. Lettera del Ministero del 7 dicembre 1871, ASUPv – Rettorato 1861-82 (cart. 1182).
44. Oltre a collaborare ad alcune ricerche di Brusotti, Santamaria pubblicò articoli sulla correzione di strumenti geodetici e sulla storia della geodesia; fu inoltre per molti anni membro della Commissione edilizia del comune di Pavia, della quale fu anche presidente per alcuni anni sul finire del secolo.
45. Lettera del Ministero del 26 dicembre 1871, ivi. Marco Forni (1844-1916) nel 1868 aveva ottenuto la licenza matematica all'Università di Pavia; aveva inoltre frequentato la locale Scuola civica di disegno, presso la quale aveva ottenuto un diploma di insegnante di disegno e vari premi a concorsi.
46. Indicazione degli uffici coperti come impiegato dello Stato [senza data ma post 1890], ASUPv – Fascicolo personale di Ferdinando Brusotti (fasc. 499B).
47. Regolamento per la Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali approvato con R. Decreto dell'11 ottobre 1875, Ministero della Pubblica Istruzione. Bollettino Ufficiale, Vol. II, gennaio 1876, pp. 28-32; Regolamento per le Regie Scuole d'Applicazione approvato con R. Decreto 3 ottobre 1875, ivi, pp. 37-39.
48. In particolare Statica grafica, Applicazioni di geometria descrittiva e Chimica docimastica. Fu istituito anche il corso di Cinematica applicata alle macchine per consentire il passaggio al corso di laurea in Ingegneria meccanica dell'Istituto Tecnico Superiore di Milano. Nel corso di Geodesia fu inoltre dato maggiore spazio alle applicazioni pratiche di topografia. Da una lettera del preside Cantoni al Rettore del 30 ottobre 1877 emerge che inizialmente

i corsi che si volevano istituire per garantire una idonea formazione agli aspiranti all'iscrizione alla Scuola di applicazione di Milano nell'indirizzo per Ingegneri meccanici erano Chimica organica, Disegno di macchine e Teoria delle macchine e cinematica pratica; tanto per il corso di disegno quanto per quello di teoria delle macchine si pensava di attribuire l'incarico a Brusotti (ASUPv – F. di Scienze – Presidenza 1874-77 (c. 1333)).

49. Regolamento per la Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali, cit., art. 3.
50. Si veda in proposito l'orario degli insegnamenti riservati agli "*aspiranti alla Scuola d'applicazione per gli Ingegneri*" (Annuario della Regia Università di Pavia. Anno scolastico 1875-76, p. 30-31).
51. Annuario della R. Università di Pavia. Anno scolastico 1882-83, p. 160-161. L'unico programma dettagliato che si è potuto reperire è quello dell'anno 1891-92, dal quale si deducono i seguenti contenuti. Disegno di ornato (solo primo anno): esercizi di suddivisione di segmenti o angoli in parti uguali, tracciamento di poligoni regolari, tracciamento di curve a mano libera a partire da poligoni già tracciati, disegno di rosoni e curve a nastri intrecciati. Disegno di architettura: nel primo anno esercitazioni con il tiralinee, esecuzione di modanature lisce o con ornamenti, disegno di bugnati, di cornici e fasce marcapiano, di finestre, porte, balaustre; nel secondo anno disegno di dettagli di facciate e composizione di facciate in stile fiorentino e palladiano, disegno di piante e sezioni di una casa da pigione (Annuario della R. Università di Pavia. Anno scolastico 1891-92, p. 160-161).
52. La malattia iniziò a manifestarsi all'inizio dell'anno 1875-76, tanto che fin dal dicembre 1875 Forni fu chiamato a supplire Vergani (lettera del Preside al Rettore del 4 gennaio 1876, Facoltà di Scienze – Atti della presidenza 1876-79 (cartella 1334)). Vergani fu collocato in aspettativa a partire dal 30 aprile 1876 (lettera del Ministero al Rettore del 13 giugno 1876, ivi), ma non è stato possibile risalire alla sua data di morte.

53 La scuola normale era un percorso formativo parallelo agli studi universitari destinato alla formazione degli insegnanti di scuola.

54. Lettera del preside della Facoltà di Scienze al Rettore del 30 aprile 1880, ASUPv – Fascicolo personale di Marco Forni (fasc. 158F). Nel programma del corso presente nell'Annuario dell'Università di Pavia del 1891-92 risulta però che non si tenesse più l'insegnamento del disegno di macchine, ma solo quello del disegno a mano libera e del disegno architettonico (Annuario, p. 160-161).
55. Lettera del Preside della Facoltà di Scienze al Rettore del 16 aprile 1886 e Lettera del 17 aprile 1886, ASUPv – Pos. 34 – Scuola di Disegno (Cartella 1338).
56. Relazione annuale del preside di Facoltà al Rettore del 23 luglio 1896, ASUPv – Facoltà di Scienze - Atti della presidenza - 1895-98 (Cartella 1338).
57. Dalla lettera del Rettore al Ministero del 18 ottobre 1897 inerente la richiesta di collocamento a riposo di Brusotti risulta infatti che "*le condizioni di malattia del medesimo sono permanenti e progressive, tali cioè da renderlo assolutamente inabile a proseguire il servizio e senza speranza di guarigione*" (ASUPv – Fasc. pers. di Ferdinando Brusotti – fasc. 499B).
58. Per il ruolo di Locati nel rinnovamento dell'insegnamento dell'architettura a Pavia si veda il contributo di chi scrive nell'ultimo volume dell'opera *Almum Studium Papiense. Storia dell'Università di Pavia* di prossima pubblicazione.
59. Anche su questo argomento si rimanda al contributo citato nella nota precedente.

Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Maria Rosaria Pelizzari,
Daniela Pepe

"Protagoniste invisibili": le donne nell'ingegneria dal XIX secolo a oggi

Abstract
Women in science have, in various fields and across vast geographical areas, faced significant challenges over time; a history marked somewhat by stereotypes and mistrust, themes which continue in part to carry through in today's mentality. Authors, a historian and two engineers, all female, on the one hand seek to revive forgotten historic female figures or those forever in the shadows and on the other hand seek to understand how the female presence in the field of engineering and more generally in STEM can open new fields of research from a gender oriented perspective. How can gender enter into the field of scientific research, enhancing hypotheses and views? Through gender oriented studies, how can hard sciences and humanistic sciences combine their knowledge, instruments and methodologies?

Donne e istruzione: alle radici di un pregiudizio
Lungo, come è noto, è stato il cammino che ha portato le donne alla conquista dell'alfabeto, dell'istruzione e, infine, dell'ammissione a facoltà e a professioni considerate una prerogativa del mondo maschile. Nel corso dei secoli sono numerosi i nomi di donne cancellate dalla Storia perché dovevano pubblicare con il nome degli uomini con cui lavoravano, oppure firmarsi con uno pseudonimo maschile per far accettare e circolare, sotto "mentite soglie", il prodotto del loro ingegno [1].

Infatti, nonostante le pubbliche affermazioni di rispetto e di ammirazione, le donne erano oggetto di stereotipi che avevano antiche radici. Stereotipi e pregiudizi che, ancora in pieno Ottocento, indicavano nel genere femminile non molto più di un mero ornamento, una sorta di fiore bello ma fragile.

La storia delle donne nella vita culturale e civile nonché nel mondo della Scienza, è stata spesso storia di emarginazione, potremmo dire una sorta di storia di confine. Ancora all'inizio del XX secolo, in molti Paesi europei alle ragazze era precluso l'accesso alle università e persino ai licei. Non sorprende, quindi, che le donne, escluse dalle università e allontanate dalla educazione scientifica, siano emerse là dove potevano, nei limiti concessi dal discorso pubblico che, costruito dagli intellettuali, tutti, ovviamente, di genere maschile si è diffuso man mano dall'alta

alla bassa cultura e viceversa, radicandosi, da un'epoca all'altra, nella mentalità. In proposito, va sottolineato che proprio la storia delle mentalità aiuta a comprendere meglio i comportamenti degli uomini e delle donne del tempo presente (Le Goff, 1974). Intrecciando antropologia, psicologia e sociologia, la ricerca storica aiuta a scavare nei comportamenti e nella vita quotidiana per portare alla luce le motivazioni di certi pregiudizi, ancora oggi duri da sconfiggere. Questi ultimi, da una generazione all'altra, imprigionano a lungo la mente e condizionano i comportamenti. I quadri mentali furono definiti "*prisons de long durée*" da Fernand Braudel, che identificò in essi il luogo privilegiato delle evoluzioni lente, delle inerzie, degli immobilismi più tenaci (Braudel, 1958).

In tale scenario va dunque rilevato che la separazione del mondo femminile da quello della conoscenza nel suo complesso ha "antiche" radici. A sancire tale divisione hanno contribuito, in vari modi e tempi, sia fattori religiosi che politici che culturali in senso ampio. Ha influito, inoltre, anche il difficile rapporto tra donne e potere (Pelizzari, 2018). Va pertanto sottolineato che sono proprio gli stereotipi legati alla figura femminile a influenzare, in modo più o meno consapevole, tutti noi, uomini e donne. In primo luogo, pregiudizi e cliché secolari, che ritengono le donne poco portate per natura allo studio scientifico, incombono ancora oggi sulle scelte professionali delle giovani, che tendono a sviluppare, fin dalla tenera età, un senso di insicurezza verso le proprie capacità (Pelizzari, 2020). Del resto, non è un caso che l'Assemblea generale delle Nazioni Unite nel dicembre del 2015, con patrocinio dell'Unesco, abbia istituito la Giornata mondiale per le donne e le ragazze nella scienza, fissata per l'11 febbraio di ogni anno. L'Unesco, inoltre, ha diffuso un manifesto/decalogo in cui si sottolinea come il contributo delle donne alla Scienza sia fondamentale anche per raggiungere gli obiettivi dell'Agenda 2030 sullo sviluppo sostenibile che prevede, tra l'altro, la lotta alla povertà, la difesa dell'ambiente e la parità di genere. Il manifesto, il cui motto è "Il mondo ha bisogno della scienza e la scienza ha bisogno delle donne", indica, tra le azioni fondamentali, quella di far conoscere al pubblico il contributo delle donne scienziate. Togliere dall'anonimato e dall'oscurità il lavoro femminile in questo campo non ha solo lo scopo di riconoscerne il contributo, ma serve anche a dare fiducia alle leve future di "piccole scienziate", a indicare modelli, a valorizzare il sapere e le capacità femminili e ad abbattere i muri di diffidenza e i tanti stereotipi che limitano la fiducia in se stesse delle bambine e delle ragazze verso le materie STEM (Science-Technology-Engineering- Math).

Tra gli stereotipi e i pregiudizi più difficili da estirpare, come si è accennato occupa un posto rilevante quello per cui le donne sarebbero meno portate per la Scienza rispetto agli uomini. Eppure non è così: quando le donne scelgono di studiare discipline scientifiche, infatti, ottengono in media risultati più alti rispetto ai coetanei. Date queste premesse, non si può non riconoscere che ancora oggi, anche se con le dovute differenze ed eccezioni, permangono residui della nota diffidenza del mondo

scientifico verso le donne che si affacciavano, nei secoli passati, a quelle discipline che erano considerate decisamente "contro la loro stessa natura". Si ricordi, in proposito, che Giovanni Keplero, nella prima metà del Seicento, sosteneva che le donne non dovevano assolutamente interessarsi dello studio della Scienza e della Matematica, in quanto per loro completamente innaturali (Lombardi, [2008]). Ma procediamo con ordine, iniziando un percorso per scavare fino alle radici dei pregiudizi.

L'autorità dei trattati dei medici e la loro riflessione sulla fisiologia femminile è stata a lungo utilizzata per trovare una giustificazione al ruolo assegnato alla donna nella famiglia e nella società. Dalle enciclopedie medievali alle antologie rinascimentali, dalle prediche degli autori della Riforma cattolica fino ai ragionamenti dei *philosophes* del XVIII secolo, il discorso medico era perennemente chiamato in causa per definire i fondamenti fisiologici della presunta inferiorità femminile.

Dal Medioevo fino all'Ottocento, la dialettica tra galenismo e aristotelismo continuava a intralciare la medicina della donna, a scapito, indubbiamente, di più veloci progressi nel campo dell'anatomia e della biologia in genere. Il discorso della medicina ha per lungo tempo riprodotto i valori dominanti nella mentalità comune, subendo il peso di una tradizione che è restata per secoli immutata: dagli Antichi, Aristotele o Galeno, fino ai Moderni, Rabelais o Tiraqueau. In effetti, i trattati medici esprimevano perlopiù una visione negativa del sesso femminile (Shorter, 1984, Sorcinelli, 2009). In tale scenario va sottolineato che l'immagine aristotelica della donna era, in effetti, quella di un uomo incompleto, immagine che ha rappresentato a lungo anche un indubbio ostacolo ai progressi della ginecologia. Inoltre, secondo una tradizione che risale, fra gli altri, proprio ad Aristotele, la donna è stata considerata per secoli debole, collerica, gelosa e bugiarda, mentre l'uomo è stato definito coraggioso, giudizioso, ponderato, efficace.

La stessa cultura illuministica, pur essendo impegnata in una sistematica opera di smantellamento dei pregiudizi, faceva fatica a rimuoverne uno dei più diffusi e generalizzati, quello cioè relativo all'inferiorità femminile. Nel corso del XVIII secolo vi era un sensibile scarto fra l'oggettiva crescita intellettuale e, in qualche caso, anche sociale delle donne e l'immagine che la cultura del tempo persisteva a dare di esse. Nonostante un contesto economico-sociale e culturale che sosteneva con convinzione l'uguaglianza umana e i diritti universali, la specificità femminile continuava ad apparire qualcosa di misterioso e inquietante. In particolare, gli intellettuali maschi del tempo erano ancora più convinti di quelli dei secoli precedenti che il legame della donna con la funzione riproduttiva ne facesse un essere legato indissolubilmente alla natura e, di conseguenza, sottratto alla storia. La donna, dunque, rimaneva fuori, perché del tutto incapace di realizzarlo, da quel progresso di cui proprio l'illuminismo era convinto promotore (Godineau, 1992). L'educazione femminile era mirata alla formazione di donne in grado di assolvere al meglio il loro ruolo nella famiglia e soprattutto nella conduzione dell'economia domestica. Il dibattito settecentesco

sull'istruzione delle "educatrici del genere umano" era molto vivace: quale tipo di istruzione e quali donne dovessero usufruirne non era un argomento che trovava tutti d'accordo (Guerci, 1987; Crampe-Casnabet, 1991). Tra gli intellettuali illuminati, coloro che propugnavano fortemente la diffusione dell'istruzione e della lettura presso le donne erano in netto contrasto con quanti, nel corso di tutto il Settecento, si dichiaravano contrari al "filosofismo delle belle", che avrebbe portato le donne a trascurare la casa e la famiglia e a non obbedire più al marito. Gli stessi pensatori illuminati, se non erano contrari agli studi delle donne, indicavano, tuttavia, numerose limitazioni alle loro possibilità di conoscenza; Paolo Mattia Doria, nel 1741, si espresse a favore di una limitazione all'istruzione femminile, sferrando un duro attacco alla moda che imponeva alle dame di "*filosofeggiare*" nei salotti (Pelizzari, 2006). Alla convinzione che le donne non dovessero studiare si accompagnava spesso l'opinione che, a causa delle loro scarse doti intellettuali, non fossero capaci di studi molto approfonditi. Se si consentiva, dunque, alle donne di studiare, si riteneva giusto limitare la loro dottrina alla conoscenza dei propri doveri e al possesso delle tecniche indispensabili al governo della casa. Antonio Genovesi, favorevolmente suggestionato dalla condizione delle donne delle "*case mercantili*" olandesi o parigine, riteneva utile consentire alle giovanette delle "*famiglie mezzane*" l'apprendimento del leggere, scrivere e far di conto, solo perché fossero in grado di provvedere al meglio alla "*interna economia*" familiare (Genovesi, 1783). Gli intellettuali dei Lumi, nel loro complesso, riservavano alle donne, nel migliore dei casi, "*qualche lume di dottrina*", "*qualche tintura di lettere*", così come suggeriva Gasparo Gozzi che consigliava alle donne: "*Leggete pochetto in qualche libro, ma con disamina"* (Pelizzari, 2006). Giuseppe Maria Galanti, all'interno del dibattito sulla opportunità dell'istruzione femminile, era tra coloro che incoraggiavano le donne a studiare. Uno studio che, tuttavia, non doveva essere così intenso da far passare in secondo piano la casa e la famiglia. Quale tipo di istruzione, allora? Secondo Galanti, le donne non dovevano "*occuparsi delle scienze astratte e di studi spinosi*". Al genere femminile erano adatti piuttosto gli argomenti propri della "*curiosità*", o della "*immaginazione*", come la storia politica e naturale, la geografia, la poesia, l'eloquenza, le arti del disegno (Pelizzari, 2006). Non la religione, che contribuiva a soffocare con pregiudizi la personalità femminile; strumento ideale per l'educazione femminile, erano invece i romanzi, in quanto capaci di parlare al cuore e alla sensibilità. Naturalmente le donne cui erano dirette le indicazioni di Galanti appartenevano ai ceti medio-alti, le famiglie "*mezzane*" di cui parlava Genovesi: erano queste, in genere, le destinatarie di tutti i discorsi illuministici sull'istruzione femminile. Alle donne dei ceti subalterni e a quelle povere andava indirizzato un altro tipo di educazione, basato esclusivamente sull'apprendimento dei "lavori donneschi" e su quel minimo di alfabetizzazione, consistente in leggere e far di conto, che poteva essere utile nella vita domestica. Ciò che accomunava tutte le donne, a qualsiasi ceto sociale apparte-

nessero, era il loro naturale destino: il matrimonio. Le giovani più povere e quindi, secondo l'opinione del tempo, in pericolo di perdere l'onore, non dovevano essere segregate nei monasteri, ma preparate per vivere nella società come buone cittadine.

In Italia, dopo l'Unità, lo Stato si pose, tra gli altri, l'obiettivo di diffondere vari gradi di istruzione ai diversi ceti sociali, adottando un piano di alfabetizzazione e istruzione nazionale nel quale furono inserite anche le donne. Sotto l'influenza di modelli educativi europei che miravano a una educazione femminile polivalente, cresceva, in quegli anni, la richiesta di una formazione professionale rivolta non solo agli uomini, ma anche alle donne, che cercavano nuove possibilità di lavoro negli uffici, nei negozi e in piccole imprese, mentre era in corso lo sviluppo manifatturiero della seconda metà dell'Ottocento (Lirosi, 2016). L'accesso al sapere da parte delle donne era però ancora avvertito come una sorta di concessione e contemporaneamente si riscontravano nella donna una invadenza del mondo maschile e un rischio occupazionale per gli uomini. Solo con la Prima Guerra Mondiale, quando la donna iniziò a occupare il posto degli uomini nelle fabbriche, negli uffici e nei servizi pubblici, si sarebbe giunti a una maggiore consapevolezza dei diritti e delle proprie responsabilità in ambito lavorativo, da parte delle donne, almeno di quelle appartenenti alla media e alta borghesia,. La seconda metà dell'Ottocento segnò un momento importante nella storia della divulgazione del sapere quando venne permesso l'accesso alle donne all'università (Sesti e Moro, 2019).

Nel processo di diffusione dell'istruzione, in particolare nell'indirizzo degli studi di Ingegneria, sulla scia delle tendenze europee furono attivate in Italia le prime Scuole di Ingegneria, che successivamente confluirono nelle Facoltà di Ingegneria e di Architettura e nei Politecnici. I modelli francesi di istruzione per l'Ingegneria furono presi come riferimento non solo in Italia, ma anche negli gli Stati Uniti; in particolare, il modello di Gaspard Monge per l'École Polytechnique di Paris nello studio dell'Ingegneria si radicò fortemente negli Stati Uniti d'America, dove divenne un punto di riferimento essenziale per tutte le prime scuole di Ingegneria (Cardone, 2006).

Nell'ambito degli studi ingegneristici in Italia, si può individuare un momento epocale, il 15 settembre del 1908, quando al Politecnico di Torino si laureò in Ingegneria Civile la prima donna: Emma Strada. La laurea di una donna nelle professioni tecnologiche apriva una strada, anche se ancora dura da percorrere a causa del pregiudizio che vedeva il genere femminile poco adatto al tipo di studi impartiti dal Politecnico, dove una parte importante era riservata alle attività di laboratorio (Bongiovanni, 2008). Bisognò aspettare il Secondo dopoguerra, quando per il mondo femminile si sarebbe avviato un grande cambiamento che avrebbe visto le donne sempre più protagoniste, nella sfera pubblica e nel mondo del lavoro. Alla conquista della cittadinanza si sarebbero ben presto uniti altri riconoscimenti: dal mondo delle professioni a quello dei diritti. A partire dagli anni Sessanta, di pari passo con questi

cambiamenti, le statistiche registrano la presenza delle donne nelle Facoltà scientifiche, dove non solo si laureano, ma intraprendono anche percorsi di ricerca e di carriera accademica [2].

Donne pioniere nell'Ingegneria

Il progresso industriale, la spinta tecnologica e la volontà di diffondere ogni innovazione attinente allo sviluppo tecnico-scientifico ha trovato nell'ingegnere una figura che, a partire da una formazione teorica di base e applicativa, ha da sempre saputo affrontare "*l'analisi di complicati problemi [...] di gran numero e grande varietà"* (Cattaneo, 1975). Una figura che spesso viene identificata con il genere maschile, rintracciando una inadeguatezza della donna nello svolgimento di mansioni legate al campo ingegneristico. La storia ci racconta però che sono diverse le donne che hanno superato questi pregiudizi.

Nel contesto americano un'esperienza di particolare interesse ingegneristico è quella di Emily Warren Roebling (1843-1903), che contribuì significativamente al proseguimento dei lavori e alla completa costruzione del ponte di Brooklyn, dopo la malattia del marito, ingegnere capo nella realizzazione dell'opera. *"Back of every great work we can find the self-sacrificing devotion of a woman"*: così si legge sulla targa sul ponte di Brooklyn in memoria di Emily, del marito Washington Roebling e del suocero John A. Roebling, riportata in Figura 1.

Nel campo dell'Ingegneria informatica ci sono diverse figure di donne che vale la pena ricordare: Hedy Lamarr (1913-2000), attrice degli anni Quaranta, inventri-

Fig. 1 – Targa commemorativa di Emily Warren Roebling, New York, Ponte di Brooklyn.

ce dello Spread spectrum, tecnologia oggi usata per le comunicazioni wi-fi (Sesti e Moro, 2019), Ada Lovelace (1815-1852) che sviluppò un nuovo linguaggio di programmazione battezzato con il suo nome (Hénin, 2015), Susan Kare (Ithaca, 6 aprile 1954) designer statunitense pioniera della Pixel Art ha lavorato per la Apple disegnando molti dei font, delle icone e degli elementi grafici (Diotto, 2016).

Nell'ambito aeronautico e aerospaziale non si possono non citare le donne della NASA: dalle famose Dorothy Vaughan, Mary Jackson e Katherine Johnson [3] a tutte le donne che oggi lavorano alla National Aeronautics and Space Administration [4,5], all'italiana Samantha Cristoforetti (Milano, 26 aprile 1977): ingegnere, aviatrice a astronauta, prima donna italiana negli equipaggi dell'Agenzia Spaziale Europea. Nel campo della ricerca italiana va ricordata Amalia Ercoli-Finzi (Gallarate, 1937): prima donna in Italia a laurearsi in ingegneria aeronautica presso il Politecnico di Milano, dove è anche docente, è una delle massime esperte internazionali in ingegneria aerospaziale, consulente scientifico della NASA, dell'ASI e dell'ESA..

E poi ci sono le altre "prime laureate", tra cui Giovanna Gabetta (Voghera, 1953), prima donna laureata in Ingegneria Nucleare al Politecnico di Milano nel 1975 [6].

Un discorso a parte merita Maria Teresa De Filippis (1926-2016), laureata in ingegneria (Liberati, 2018), che in un mondo di soli uomini, come quello dei motori, riuscì a superare ostacoli di ogni genere per imporsi (Canella et al., 2019), quasi in una sfida contro l'altro genere: "*Agli inizi, la mia vita si era tramutata, mio malgrado, in una non sempre divertente sfida agli uomini da battere, solo per poter spegnere quel sorrisino di sufficienza*" [7]. De Filippis è stata la prima donna al mondo a guidare una vettura di Formula 1, nel Gran Premio del Belgio del 1958 con una Maserati.

Questo elenco potrebbe continuare a volontà, perché nelle STEM ci sono tante tantissime donne, che hanno lasciato contributi di elevatissimo valore. Ci fermiamo qui.

Donne e Ingegneria in Europa: dati statistici al 2017

Secondo un rapporto condotto dal Centro Studi del CNI nel 2019 [8], l'Europa presenta una percentuale di donne laureate in Ingegneria che va da 16,4% al 29,1% con la più alta percentuale registrata in Svezia; seguono poi l'Italia e gli altri Paesi europei come si può leggere qui di seguito, come mostrato in Figura 2.

In termini occupazionali il primato resta alla Svezia, con il 28,3% di donne occupate nel settore dell'ingegneria, poi c'è l'Italia che, con il 25%, presenta una buona posizione rispetto agli altri Paesi europei.

La situazione tracciata mostra il ritardo europeo della presenza femminile nel settore dell'Ingegneria. Ciò è ancora una volta conseguenza dell'antica mentalità secondo la quale le materie tecniche e scientifiche sono una prerogativa maschile. Tuttavia, i dati relativi alla presenza femminile sono in continua crescita e si assiste, in taluni casi, a una inversione di tendenza [8].

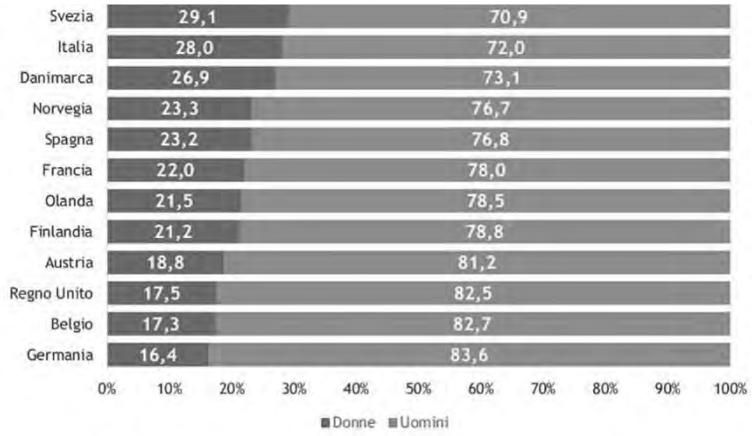


Fig. 2 – Laureati in ingegneria in Europa nel 2017 suddivisi per genere (da [7]).

Donne e Ingegneria in Italia: dati statistici al 2019

In Italia il numero di donne nel settore dell'Ingegneria è in progressivo aumento, con una percentuale di laureate pari al 28% nel 2017 a fronte del 16% nel 2000. Il confronto con i principali Paesi Europei, riportato in Figura 2, evidenzia come l'Italia si trovi ai primi posti in termini di accesso delle donne agli studi in Ingegneria, in linea peraltro con rilevanti progressi in termini di presenza femminile nelle aree disciplinari STEM.

La componente femminile costituisce un quarto degli immatricolati ai corsi universitari di Ingegneria con una maggiore presenza nell'ambito dell'Ingegneria civile ed ambientale. In particolare nei corsi di Laurea magistrale a ciclo unico, le donne costituiscono il 61% degli immatricolati. Risultano invece più basse le percentuali nei corsi del settore industriale (23%) e dell'Informatica (22,1%).

Anche nell'Albo professionale si assiste a una continua crescita delle donne con il 15,3% di iscritte nel 2019 a fronte di 14,8% dell'anno precedente e appare molto più frequente la copertura di incarichi direttivi negli Ordini professionali [8].

Donne e Ingegneria nell'Università degli Studi di Salerno

Le indagini condotte nell'Università di Salerno nel 2017, i cui risultati sono riportati dal primo Bilancio di genere (UniSa, 2017), attestano nei percorsi formativi universitari una presenza femminile attiva che lascia prefigurare cambiamenti nel mondo del lavoro, non ancora visibili attualmente in Italia e in particolare nel Mezzogiorno, ma che in futuro saranno determinanti.

In linea con le tendenze nazionali e internazionali il numero di studenti donne è in generale maggiore rispetto a quello degli uomini e le donne arrivano alla laurea con

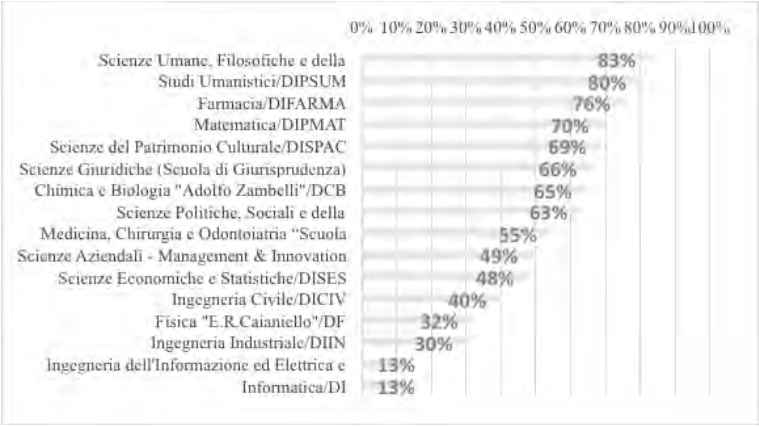


Fig. 3 – Distribuzione delle iscritte per Dipartimento all’Università di Salerno, A.A.2016/2017 (da UniSa, 2017).

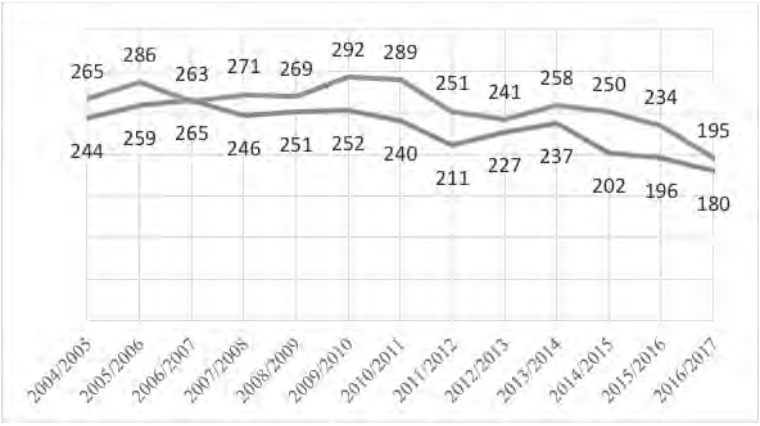


Fig. 4 – Iscrizioni ai Dottorati di ricerca dall’AA. 2004-2005 all’ A.A. 2016-2017 secondo i dati forniti dall’Ufficio Statistico di UniSa.

voti più elevati e in tempi più brevi. Guardando le statistiche relative alle studentesse iscritte a Salerno per Dipartimento, in Figura 3, si rileva che, come prevedibile, la presenza femminile è dominante nei Dipartimenti collegati agli Studi umanistici, con l’83% di iscritte, mentre si mantiene inferiore al 50% per gli Studi ingegneristici.

In Figura 4 è riportata la serie storica degli iscritti ai dottorati a partire dall’AA. 2004-2005, da cui si rileva che, a partire dall’AA 2006-2007 il numero di donne iscritte è sempre superiore a quello degli uomini. In particolare, guardando ai vari settori emerge che, in riferimento all’anno 2015, le percentuali di distribuzione delle

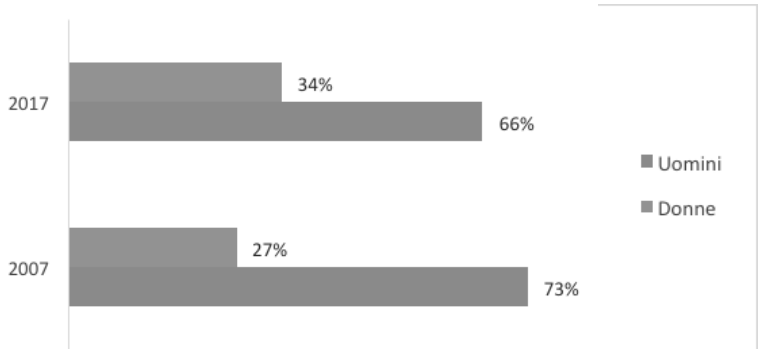


Fig. 5 – Confronto tra laureate e laureati in Ingegneria all'Università di Salerno dall'AA 2006-2007 all'A.A. 2016-2017 (da [8]).

dottoresse di ricerca rispetto a quelle dei dottori risulta superiore nelle aree delle scienze sociali, economiche, giuridiche, umanistiche, artistiche e delle scienze mediche, dove la componente maschile è assente, mentre è inferiore nelle aree dell'ingegneria e delle scienze, delle scienze matematiche e informatiche (UniSa, 2017).

In Figura 5 sono riportati i risultati della elaborazione dei dati statistici eseguita da Alma Laurea [9] relativamente alla percentuale di laureate e laureati in Ingegneria presso l'Università di Salerno negli anni accademici tra il 2006-2007 e il 2016-2017. Dalla Figura emerge che la percentuale di donne laureate è aumentata, anche se solo del 7%.

In particolare, come evidenziato dal Bilancio di Genere e in linea con i dati nazionali, la maggiore presenza femminile si ha nei Corsi di Studi che afferiscono al Dipartimento di Ingegneria Civile, il DICIV, seguiti a ruota da quelli che fanno capo al Dipartimento di Ingegneria Industriale, il DIIN; meno preferiti dalle donne sono i corsi di laurea offerti dal Dipartimento di Ingegneria dell'Informatica ed Elettrica e Matematica applicata, il DIEM). Le percentuali sono mostrate in Figura 6.

Donne e occupazione nell'ambito della progettazione impiantistica: il caso AiCARR

Nell'ambito della progettazione impiantistica, tra il 2018 e il 2019 l'AiCARR, Associazione Italiana Condizionamento dell'aria Riscaldamento e Refrigerazione), ha condotto un'indagine di genere con un duplice obiettivo: determinare i fattori di influenza del ridotto numero di donne all'interno dell'associazione e individuare azioni positive per incrementare la presenza femminile nel mondo delle professioni tecniche riconducibili alle discipline STEM, con particolare riferimento al settore termotecnico.

L'indagine conoscitiva è stata rivolta, in primo luogo, ad analizzare la composizione degli associati e delle associate, valutandone la distribuzione per fasce di età,

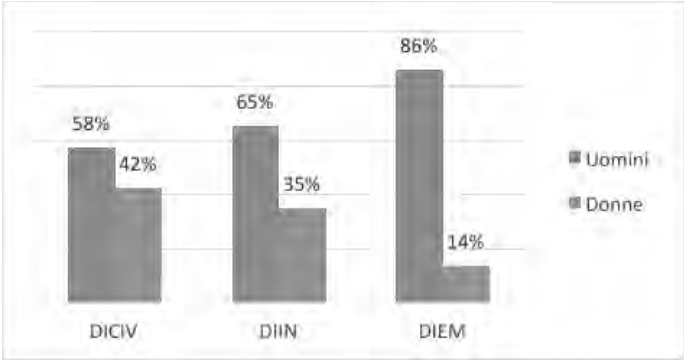


Fig. 6 – Laureate e laureati nei diversi indirizzi dell'Ingegneria all'Università di Salerno nell'AA. 2016/2017 (da [8]).

genere, regione di origine e attuale operatività, tipologia associativa, tipologia di lavoro e di impiego, livello di carriera e storia professionale. Per ciascuna di queste voci è stata valutata la presenza dei due generi e, per ciascun genere, la percentuale di presenza nelle diverse categorie [10].

I risultati dell'indagine mostrano un ridotto numero di progettiste rispetto agli uomini nell'ambito dell'attività professionale. In particolare, l'avvio della libera professione per le donne è preceduto principalmente da esperienze negli studi professionali mentre gli uomini sono giunti all'attività libero professionale a partire da esperienze iniziali differenziate. Inoltre, è da considerare che l'Italia presenta un numero di libere professioniste inferiore rispetto agli altri Paesi europei. Altro aspetto rilevato è che la maggior parte delle donne ha iniziato a lavorare nell'azienda di famiglia e ciò evidenzia la difficoltà che le donne incontrano a inserirsi nel tessuto produttivo.

L'indagine condotta fornisce interessanti risultati che potrebbero costituire la base per un programma di azioni positive, gender oriented, all'interno della diffusione della cultura termotecnica e della progettazione impiantistica.

Conclusioni

Nel corso del Novecento, un secolo che, tra le sue tante denominazioni, è stato anche definito "il Secolo delle Donne", è aumentata la presenza femminile nell'ambito dell'Ingegneria. Le donne infatti, passo dopo passo, sono riuscite a uscire da quella invisibilità cui abbiamo accennato all'inizio di queste pagine, a diventare protagoniste, a rivestire ruoli di prestigio. Donne e scienza non sono più agli antipodi anzi, sempre di più, sul piano globale, viene riconosciuto il ruolo fondamentale che le donne rivestono nell'ambito della ricerca scientifica. Anche se molta strada deve ancora essere percorsa nei prossimi anni.

Non a caso, l'uguaglianza tra i generi costituisce il quinto dei diciassette Sustainable Development Goals che le Nazioni Unite hanno posto al centro dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile. Eradicare le disuguaglianze tra gli uomini e le donne, migliorando, in tal modo, la vita di tutti e di tutte, costituisce infatti una *conditio sine qua non* per la sostenibilità del pianeta, che non è solo ambientale ma anche economica e sociale. Tuttavia, il pregiudizio di genere trova terreno fertile in chi, ancora oggi, ritiene che le donne siano poco inclini alle discipline tecnologico-scientifiche.

Per quanto riguarda il nostro Paese, va evidenziato, per esempio, che nel 1902 l'analfabetismo femminile si aggirava attorno al 50% ma che, alla fine del secolo, nel 1992, il numero delle laureate superava quello dei laureati. Attualmente, i dati statistici attestano che il numero di donne in ambito STEM non è ancora equiparabile a quello degli uomini, ma le percentuali di presenza femminile sono in continuo, anche se lento, aumento. Diversi sono i tentativi di implementare i risultati in questa direzione; a tal proposito, va rilevato che l'Università di Salerno è capofila, con il supporto dell'Osservatorio interdipartimentale per gli studi di Genere e le Pari Opportunità, OGEPO, del Progetto H2020 "R&I PEERS" - Pilot Experiences for Improving Gender Equality in Research Organisations, cui obiettivi sono la promozione della cultura delle pari opportunità nell'ambito della ricerca scientifica e il raggiungimento di una presenza equilibrata dei generi nei processi decisionali delle organizzazioni di ricerca coinvolte. Solo in questo modo si può contribuire al miglioramento della qualità scientifica e, più in generale, al benessere delle società nel loro complesso.

Le donne di genio in Scienza sono ormai presenti sempre di più ovunque. Tuttavia, non è certo scomparsa del tutto lo stereotipo della "virago", residuo tardo ottocentesco di quando si seguivano i pregiudizi pubblicamente manifestati da Gino Loria, il matematico italiano noto per i suoi lavori di Storia della matematica, il quale riteneva che "*soltanto in forza di variazioni patologiche la donna può acquistare qualità diverse da quelle che la rendono amante e madre*". Questa affermazione è falsa e senza senso quanto difficile da estirpare.

Secondo Hermann Weyll, matematico tedesco allievo di Hilbert, vissuto tra gli anni ottanta del XIX secolo e gli anni cinquanta del XX, ci sarebbero state "solo due donne matematiche nella storia, Sofja Kovalevskaja ed Emmy Noether: la prima non era una matematica, la seconda non era una donna". Ecco, dunque, che in questa frase si rivela, proprio nelle convinzioni di uno scienziato, la persistenza del luogo comune secondo cui le donne non sarebbero inclini al pensiero astratto. E ancora, negli ultimi tempi, come circola abbondantemente in rete, Lawrence Summers, ex Rettore dell'Università di Harvard, in un discorso pubblico affermòche le donne non hanno la stessa abilità degli uomini in molti settori, in particolre in quelli riferibili al mondo della Matematica e delle Scienze e non arrivano a occupare posizioni apicali perché non disposte a lavorare con continuità, anche 12 al giorno. La risposta alla

provocazione di Summers c'è stata, dura, da parte delle Professoresse di Harvard. Possiamo quindi concludere dicendo che in quella terra, il Massachusetts, teatro dei processi alle streghe di fine Seicento, oltre tre secoli dopo gli orrori di Salem, sono state le scienziate, le 'discendenti' di 'quelle streghe', a vendicarsi degli uomini mettendo sotto accusa la grande Università creata dai Padri Pellegrini Puritani. E infatti, Lawrence Summers davanti alle ricercatrici di Harvard ha abiurato la sua "eresia maschilista" e ha ammesso che la sua scarsa considerazione per le attitudini scientifiche delle donne è solo sintomo di un "pregiudizio".

Ringraziamenti

Questo contributo è stato svolto nell'ambito del Progetto OGEPO "Genere e Professioni", finanziato da Unisa nell'A.A. 2017-18, e delle attività relative al Task "Il genere nella ricerca" del Progetto Europeo H2020 "R&I PEERS" - Pilot Experiences for Improving Gender Equality in Research Organisations

Le Autrici ringraziano l'Ufficio Statistico dell'Università degli Studi di Salerno per i dati forniti.

Bibliografia

Bongiovanni M. 2008. Donne e tecnologia: il caso del politecnico di Torino tra la fine dell'Ottocento e gli anni Cinquanta. Atti del I Convegno di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 8-9 marzo, II, 915-920. Napoli: Cuzzolin.

Braudel F. 1958. Histoire et Sciences sociales: la longue durée, in "Annales E.S.C.", 13, 4, 731.

Canella M., Giuntini S. Granata I. 2019. *Donne e sport*. Milano: Franco Angeli

Cardone V. 2006. L'avvio degli studi di ingegneria in America. Atti del I Convegno di Storia dell'Ingegneria, Napoli, 8-9 marzo, I, 267-278. Napoli: Cuzzolin.

Casalini B. (a cura di). 2020. *Diversamente Scienza.* Firenze: University Press. (in corso di stampa).

Cattaneo C. 1975. *Dell'agricoltura inglese paragonata alla nostra*. Torino: Einaudi.

Crampe-Casnabet M. 1991. La donna nelle opere filosofiche del Settecento. In: *Storia delle donne - Dal Rinascimento all'Età moderna* (a cura di N. Zemon Davis e A. farge), 314-350. Roma-Bari: Laterza.

Diotto M. (a cura di) 2016. *Graphic and digital designer: Una professione proiettata nel futuro.* libreriauniversitaria.it Edizioni.

Genovesi A. 1783. *Delle lezioni di commercio, o sia d'economia civile da leggersi nella cattedra intieriana, dell'ab. Genovesi, regio cattedratico...* (a cura di M.L. Perna, 2019). Napoli: Istituto Italiano per gli Studi Filosofici.

Godineau D. 1992. La donna. In: *L'uomo dell'Illuminismo* (a cura di M. Vovelle),446-453, 469-473. Roma-Bari: Laterza.

Guerci L. 1987. *La discussione sulla donna nell'Italia del Settecento. Aspetti e problemi*, Torino: Tirrenia Stampatori.

Guerci L. 1988. *La sposa obbediente. Donna e matrimonio nella discussione dell'Italia del Settecento*. Torino: Tirrenia Stampatori.

Hénin S. 2015. Augusta Ada Lovelace 1815-1852. Mondo Digitale, 57.

Lombardi A. M. 2008. *Keplero. Una biografia scientifica*. Torino: Codice.

Le Goff J. 1974. La mentalità: una storia ambigua. In: *Fare storia. Temi e metodi della nuova storiografia* (a cura di J. Le Goff e P. Nora), 239-255. Torino: Einaudi.
Liberati G. (a cura di) 2018. *Le scienziate e la divulgazione scientifica dal secondo Ottocento agli anni Quaranta*. Napoli: Guida Editori.
Lirosi A. 2016. *Libere di sapere. Il diritto delle donne all'istruzione dal Cinquecento al mondo contemporaneo.* Roma: Ed. di Storia e letteratura.
Pelizzari M.R. 2006. Le idee sull'educazione femminile. In: *Un illuminista ritrovato. Giuseppe Maria Galanti* (a cura di M. Mafrici e M. R. Pelizzari), 150-157. Salerno: Laveglia editore, Salerno.
Pelizzari M.R. 2018. Women's History and Governance. In: *Global Encyclopedia of Public Administration, Public Policy, and Governance* (a cura di A. Farazmand). Cham: Springer.
Pelizzari M.R. 2020. Donne e scienza tra età moderna e contemporanea. In: *Diversamente scienza* (a cura di B. Casalini). Firenze: Firenze University Press. (in corso di stampa).
Sesti S., Moro L. 2019. *Scienziate nel tempo: 100 biografie*. Milano: Ledizioni.
Shorter E. 1984. *Storia del corpo femminile*. Milano: Feltrinelli.
Sorcinelli P. 2009. *Viaggio nella storia sociale*. Milano: Bruno Mondadori.
UniSa. 2017. Primo Bilancio di Genere (a cura di O. Malandrino). Salerno: Università degli Studi di Salerno.

Webgrafia

[1] https://www.dols.it/2018/10/12/costrette-a-fingersi-uomini-nella-scienza/
[2] https://www.archiviodonnepiemonte.it/presentazione-ricerca-2/
[3] https://women.nasa.gov/
[4] https://www.nasa.gov/modernfigures/videos
[5] https://www.nasa.gov/content/dorothy-vaughan-biography
[6] https://www.researchgate.net/profile/Giovanna_Gabetta/publication/285596675_Donne_e_scienza_un_percorso_da_tracciare/links/56619f7f08ae4931cd59f338.pdf
[7] http://www.enciclopediadelledonne.it/biografie/maria-teresa-de-filippis/
[8] https://www.fondazionecni.it/ricerche/3507-l-universo-femminile-nell-ingegneria-italiana
[9] https://www.almalaurea.it/
[10] https://www.aicarr.org/Documents/Progetto_Donne/ProgettoDonne_Risultati.pdf

Chiara Belingardi, Claudia Mattogno

Tecniche Sapienti. Una storia al femminile della Facoltà di Ingegneria di Roma Sapienza (1910-1969)

Abstract
The women designers' production in general is not well recognized in Italy. One of the critical points regarding this historic condition reasons could be attributed to the late admission to the high education system. This is particularly evident in the field of Engineering and Architecture. In fact he school of Engineering in Rome was established in 1817, but women were only allowed to enroll in 1910: almost a century later. The first Italian women designers graduated as Engineers. Emma Strada, graduated in 1908 in Turin Polytechnic, was the first one. Her iconic image shows her in a building site wearing a long dress. The Russian Elena Sadowska graduated in Rome in 1910. Four years later Gaetanina Calvi got her Engineering degree in Milan. Unfortunately, she was forced to abandon the professional job cause the prejudice concerning the role of the women in that period; this way she worked after as a Mathematics teacher. This condition was not only an Italian one but it was largely diffused in Europe as in the western world. Many women architect who decided to stay in professional offices frequently had to work in the shadow of their relatives, fathers, husbands or brothers. In 2017, the bicentennial recurrence for the Engineering Faculty's foundation at Sapienza University of Rome, gave the chance to investigate the transformations occurred since the early years. Our interest was to research the presence of women as students, graduated and as professionals, officers, professors and assistants. Among them our first objective consisted in focusing the so-called pioneers: those ones who were the first enrolled, showing their passion for a cultural discipline dominated by the male presence. Their perseverance appears as a long struggle. Sometimes they even faced their own family's way of thinking. As result they were able to conquer the rights to be considered at the same level of their male colleagues. Our topic is addressed to offer a contribution in building a gender genealogy and illuminating those figures left too long in the shadows.

Una breve storia

Lo *Studium Urbis*, conosciuto ovunque e più semplicemente come La Sapienza, viene istituito da papa Bonifacio VIII nel 1303, ma sarà solo nel 1817 che prenderà vita la Scuola di Ingegneria di Roma per iniziativa di papa Pio VII. È lo stesso anno in cui

in Francia l'*Ecole Royale Polytechique* viene rifondata da Luigi XVIII mantenendo quello statuto militare che invece la scuola romana non adotterà mai.

La Scuola, posta in un primo momento sotto le dipendenze della *Prefettura di acque e strade,* viene riunita nel 1826 all'Archiginnasio della Sapienza. Manterrà una propria autonomia dovuta al carattere tecnico-applicativo degli insegnamenti anche dopo l'annessione di Roma al Regno d'Italia, in virtù della quale fu trasformata nel 1873 in Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri e insediata nel convento di San Pietro in Vincoli, uno dei beni ecclesiastici alienati dopo l'Unità. L'ammissione comportava il superamento di alcuni esami fisico-matematici considerati propedeutici a una formazione scientifica come quella dell'ingegneria (Di Gioia, 1985).

Nel 1910 un importante avvenimento, inizialmente quasi impercettibile, viene a scompigliare l'ordine claustrale della Scuola ed è registrato al titolo III del Regolamento che per la prima volta consente l'ammissione alle studentesse. Per diversi anni, tuttavia, le giovani che si troveranno a salire lo scalone monumentale di accesso al chiostro e alle aule di quella che nel 1935 assumerà la denominazione di Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma Sapienza non saranno numerose come lo sono ora.

Diventare ingegnere

La produzione culturale e progettuale delle donne in Italia, come in molti altri paesi, fatica a essere riconosciuta, specialmente per quello che riguarda le discipline tecniche. La parte conoscitiva è ancora alquanto lacunosa e le opere delle donne, a livello sia progettuale, sia di carattere bibliografico, sono spesso tenute nell'ombra (Mesnage, 2012).

Tra fine Ottocento e i primi decenni del Novecento, un esplicito divieto non consentiva alle studentesse di accedere alle scuole di architettura, come testimonia la storia di Julia Morgan. È la prima a laurearsi in Ingegneria civile presso l'UC Berkeley nel 1894 e sarà la prima che riesce ad iscriversi all'*Ecole des Beaux Arts* a Parigi, cui è indirizzata dai suoi docenti per completare una brillante formazione. Siamo nel 1896 e gli atelier dell'accademia parigina non sono aperti all'utenza femminile, per cui dovrà avviare numerosi ricorsi amministrativi e dare prova di grande determinazione per arrivare ad iscriversi nel 1898 e quindi laurearsi nel 1902 (Mattogno, 2014).

Le prime scuole che hanno aperto le porte alle studentesse sono quelle del Nuovo Mondo: è nell'Illinois School of Architecture che si laurea nel 1873 Mary Page, la prima donna a diventare architetta. Così come è statunitense l'organismo professionale che per primo accoglie una donna tra i suoi iscritti: siamo nel 1888 e Louise Blanchard Bethune è accettata all'interno dell'AIA, l'*American Institute of Architects*. In Italia la prima a laurearsi in ingegneria è Emma Strada, che consegue il titolo nel 1908 presso il Politecnico di Torino e subito entra al lavoro nello studio

tecnico di famiglia seguendo le orme paterne. Meno fortunata con la professione sarà, invece, Gaetanina Calvi, che si laurea al Politecnico di Milano nel 1914 ma verrà indirizzata verso l'insegnamento della matematica, ritenuto all'epoca più consono per una donna.

Gli studi di ingegneria comportano scelte di percorsi lavorativi abbastanza inusuali per l'epoca. Testimoniano passione e determinazione e sono frutto di una educazione culturale aperta, agevolata da famiglie colte e progressiste, di provenienza medio borghese, dove spesso padri e fratelli sono già professionisti o comunque impegnati in attività liberali. Molte seguiranno un percorso familiare, come Bice Crova, figlia di un ingegnere funzionario delle Ferrovie, che si laurea in Ingegneria civile a Roma nel 1916, o come Lidia Ganassini, che si laurea in Ingegneria elettrotecnica nel 1934 a Roma dopo aver lavorato nell'ufficio brevetti di Adelina Racheli, sua parente e prima laureata in Ingegneria industriale del Politecnico di Milano nel 1920.

Alcune percorreranno questa strada per contrasto con la famiglia e per affermare una scelta controcorrente, come Beatrice Gulì che, non avendo ricevuto l'assenso paterno per seguire gli studi in medicina, si laurea nel 1927 a Roma in Ingegneria civile. Altre, come Maria Artini, laureata in Ingegneria elettrotecnica nel 1918 a Milano, sono figlie di docenti universitari che sostengono senza pregiudizi gli interessi scientifici di queste giovani donne. Qualcuna, come Maria Bortolotti, laureata a Bologna nel 1918, sarà ricordata per essere stata la prima a poter esercitare la libera professione subito dopo l'entrata in vigore della legge Sacchi, che nel 1919 abolisce l'autorizzazione maritale e consente alle donne l'esercizio delle professioni liberali.

La gran parte dei loro nomi, delle loro storie e dei loro lavori rimane ancora da indagare poiché il loro contributo è stato spesso omesso o dimenticato. Le ragioni di questo vuoto di memoria sono molteplici e possono essere individuate nel tardivo accesso delle donne alla istruzione universitaria, nella difficoltà di inserimento in professioni ritenute di prestigio e proprio per questo di tradizionale appannaggio maschile, come quelle progettuali, nei metodi di analisi, ancora oggi volti a indagare prevalentemente i grandi eventi e con essi le figure dei protagonisti, piuttosto che lo svolgersi della vita quotidiana e le figure di sfondo.

Nominare, ricordare, tracciare ritratti, approfondire l'operato, costituiscono tappe fondamentali di un processo di conoscenza che non deve essere limitato a coprire le lacune di una storiografia declinata solo al maschile, ma deve prendere atto di spostamenti sostanziali di tipo simbolico volti al riconoscimento delle capacità di prendere la parola, acquisire autorevolezza, praticare il progetto come modalità di immaginare il futuro.

Il lavoro che presentiamo costituisce un primo passo per restituire visibilità alle donne che si sono formate o che hanno insegnato nella facoltà di Ingegneria della Università Sapienza di Roma. La ricerca intrapresa prevede alcune sequenze temporali per meglio declinare le differenti modalità attraverso cui si connota la progres-

sione della presenza femminile. Dapprima studentesse e laureate, poi anche docenti, in seguito anche incaricate di impegni accademici di rilievo. Il cuore del lavoro è incentrato su indagini statistiche presso archivi e segreterie di facoltà ed è stato accompagnato da interviste dirette o fatte a familiari e conoscenti per ricomporre memorie e fonti orali in merito ad alcune protagoniste i cui lavori o esperienze didattiche si sono rivelati degni di approfondimento. La ricerca proseguirà con indagini presso gli Ordini professionali e campagne fotografiche per documentare i luoghi costruiti dalle progettiste. Le sequenze temporali individuate inquadrano il contesto storico sociale e si articolano in cinque scansioni, che rappresentano date significative corrispondenti a riforme legislative nazionali o modificazioni nell'assetto istituzionale dell'Ateneo.

- 1910-1935. *Le pioniere*. Il punto di partenza della ricerca non coincide con la fondazione dell'Ateneo, né con il 1817, anno di istituzione della Scuola di Ingegneria, ma con il 1910, quando la Scuola apre l'iscrizione alle donne come studentesse o uditrici. La prima fase si conclude con il 1936, anno in cui la Scuola si trasforma in Facoltà: le donne iscritte sono solo qualche unità.
- 1935-1946. *Le madri*. La seconda scansione si conclude nel 1946, quando, con la nascita della Repubblica Italiana, il diritto di voto viene esteso alle donne assieme all'obbligo dell'istruzione primaria. La presenza femminile nella Facoltà sale lentamente a una decina per anno.
- 1946-1968. *Le intraprendenti*. I movimenti del Maggio '68 portano alla liberalizzazione dell'accesso all'università e l'ingresso delle studentesse subisce una decisa impennata.
- 1968-1980. *Le affermate*. Il DPR 382/1980 riordina l'assetto delle docenze e l'istituzione dei dottorati di ricerca, determinando un incremento della presenza femminile anche nell'insegnamento universitario.
- 1980-2000. *Le innovatrici*. La legge 30/2000 segna un'ulteriore importante riforma universitaria, introducendo le lauree triennali e quelle specialistiche.
- dopo il 2000. *Le giovani*. Viene istituito il corso di laurea specialistica quinquennale Ingegneria edile-architettura U.E. destinato ad accogliere una percentuale di studentesse pari o anche superiore al 50% degli iscritti e modificando di fatto l'assetto di una facoltà in cui la presenza maschile era rimasta preponderante nel tempo.

La ricerca Tecniche Sapienti

La ricerca ha riguardato la presenza femminile nella scuola di Ingegneria di Roma, all'interno dell'Ateneo Sapienza, e ha inteso indagare le docenti, così come le assistenti e le studentesse che si sono laureate nell'arco temporale compreso tra la fondazione della Scuola nel 1872 e gli anni 2000. I risultati qui presentati prendono in esame le prime tre scansioni termporali individuate, iniziando con l'anno accademico 1910-11, quando la Scuola apre le iscrizioni anche alle donne, per conconcludersi

nel 1968-69, quando la riforma conseguente ai movimenti studenteschi liberalizza l'accesso all'Università e fa impennare le nuove iscrizioni.

L'indagine ha preso avvio con la consultazione degli annuari della Scuola, in seguito trasformata in Facoltà di Ingegneria che, con importanti variazioni di anno in anno, rendono conto di orari e corsi, di assistenti e docenti; segnalano le pubblicazioni scientifiche prodotte dal personale docente; in alcuni casi riportano i nominativi degli iscritti e dei laureati, specificando a volte anche il titolo della tesi. Nei quasi settant'anni coperti dalla ricerca, gli annuari cambiano di consistenza, spessore, grandezza, qualità della pubblicazione, impaginazione. Un cambiamento consistente avviene nel 1935, quando la Scuola di Ingegneria diventa Facoltà e si unisce all'ateneo Sapienza: l'annuario viene incorporato in quello generale riguardante l'intera Università, scompaiono alcune informazioni dettagliate e i dati riportati diventano più sintetici. La collezione degli annuari purtroppo non è completa: non tutte le annate sono state pubblicate, in particolare quelle in concomitanza con le due Guerre Mondiali, e alcune sono andate disperse oppure versano in condizioni tali da non poter essere consultabili. In alcuni casi gli annuari pubblicati dopo una sospensione, contengono informazioni riguardanti anche gli anni mancanti per coprire almeno in parte le lacune statistiche.

Le prime studentesse di Ingegneria a Roma

Anche se non è stato possibile consultare l'intera collezione degli annuari, la ricerca ha portato alla scoperta di alcune significative notizie riguardanti le prime studenti.

Così abbiamo scoperto che la prima a iscriversi, nel 1910, è stata Maria Sadowska, l'unica donna a frequentare la Scuola per Ingegneri per tutto il suo corso di studi, fino alla laurea in ingegneria civile nel 1913, ottenuta con un punteggio di 96/100. Non viene annotato il titolo della sua tesi, ma in seguito risulta iscritta per un altro anno come uditrice[1]. Partirà poi per la Russia, tornerà in Italia ma non eserciterà mai la professione (Casalino, 2018). Intanto, nel 1912-13 si erano iscritte Bice Crova e Gerardina Gerardi che si laureano entrambe nel 1916. L'anno successivo si laurea Luce Galantara, figlia del bolognese Gabriele Galantara, a quel tempo noto illustratore satirico. Le laureate fino al 1921 annoverano Concetta Meo Colombo, iscritta nel 1915 e laureata nel 1919, Jole Tavolaccini laureata nel 1920, Maria De Marco e Adriana Prò laureate nel 1921, per un totale di 8 donne che concludono il loro corso di studi tra gli anni 1912-13 e il 1921-22.

La promulgazione della legge 1176 del 1919, detta legge Sacchi, che disciplina nuove "Norme circa la capacità giuridica della donna", sembrerebbe aprire nuovi orizzonti. Essa consente infatti l'ingresso delle donne nelle professioni e la possibilità di firmare i progetti in prima persona. Negli anni successivi, tuttavia, le iscritte non saranno particolarmente numerose, superando appena la decina di unità. Saranno dieci nel 1920-21, quindici nel 1921-22 e poi tredici. Nel 1923-24 subiscono una

brusca contrazione con una sola iscritta, contro 221 presenze maschili. La riforma Gentile, varata nel 1923 e in vigore fino al 1962, attribuisce grande importanza agli studi classici, destinati alla formazione della classe dirigente. Il risultato più immediato ed eclatante si segnala l'anno seguente, il 1924-25, con un picco negativo delle iscrizioni maschili a Ingegneria pari a sole 139 presenze, la quota più bassa di tutto il Novecento. Le donne nello stesso anno accademico sono quattro.

Né le leggi razziali, né la legge che escludeva le donne dai pubblici uffici e dalle imprese pubbliche o private con meno di dieci addetti (Re d'Italia, 1938) sembrano avere influenza sul numero già alquanto esiguo delle iscrizioni femminili, pari sempre a poche unità. Il numero degli studenti conosce una ripresa, risalendo dai 139 del 1924-25 ai 570 già nel 1925-26 e mantenendosi in costante aumento. Quello delle studenti, invece, rimane costantemente basso fino al 1945-46, quando si raggiungono le sedici iscritte, che nel 1946-47 saliranno a trentadue e l'anno successivo a trentaquattro, con un aumento probabilmente da attribuire alla fine del conflitto bellico e alla legge che estendeva alle donne il diritto di voto e l'istruzione obbligatoria.

Il numero delle iscritte negli anni Cinquanta cala di nuovo a poche unità e prosegue con andamento altalenante fino al 1962-63, l'ultimo anno accademico per il quale l'annuario riporta le statistiche riguardanti le iscrizioni.

Nelle Figure 1 e 2 sono riportati i diagrammi che illustrano l'andamento delle iscrizioni rispettivamente femminili e maschili. La differenza degli ordini di grandezza caratterizzante l'andamento delle iscrizioni di studenti appartenenti al sesso maschile o femminile è tale da non consentire un confronto grafico diretto: le presenze maschili si muovono negli ordini delle centinaia, fino alle migliaia, mentre quelle femminili non supereranno mai le quaranta unità nel periodo preso in esame. Gli andamenti sono sostanzialmente sovrapponibili, con un minimo nel biennio 1923-25, seguito da un aumento fino all'anno accademico 1948-49, quando le iscrizioni ricominciano a scendere fino a registrare un altro minimo nel 1951-52, per poi ricominciare a salire. I numeri confermano la grande disparità fra i due generi: nel 1947-48, quando si registra la presenza massima per le donne, queste sono appena 34 contro 2861 uomini.

Le motivazioni sottese alla scarsa presenza femminile sono per lo più di carattere sociale: la difficoltà di accesso alla formazione universitaria; la scarsa considerazione assegnata al lavoro femminile, giudicato subalterno, accessorio e temporaneo, in attesa della formazione di una famiglia; l'immaginario e i pregiudizi che assegnavano alle donne scarse capacità di progettazione, organizzazione, leadership[2]. Questi sono alcuni dei fattori che portano le donne a disertare, più che animare, le facoltà tecniche e progettuali. I piccoli numeri che sono stati riportati consentono in maniera molto limitata di collegare l'andamento delle iscrizioni a ragioni di carattere politico e legislativo. Aumento e diminuzione delle presenze sembrano piuttosto risultare condizionabili da situazioni personale e familiari.

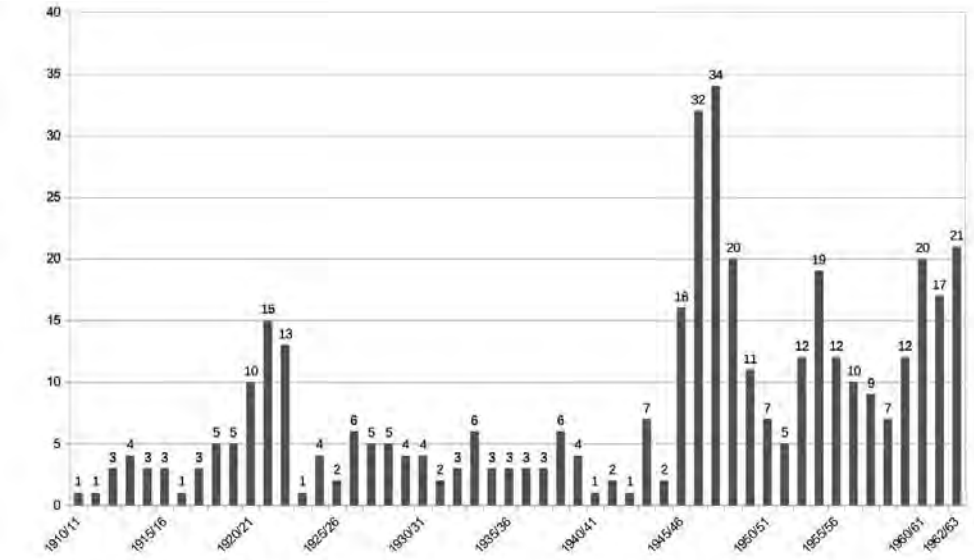


Fig. 1 – La presenza femminile tra gli studenti di Ingegneria tra il 1910 e il 1963,

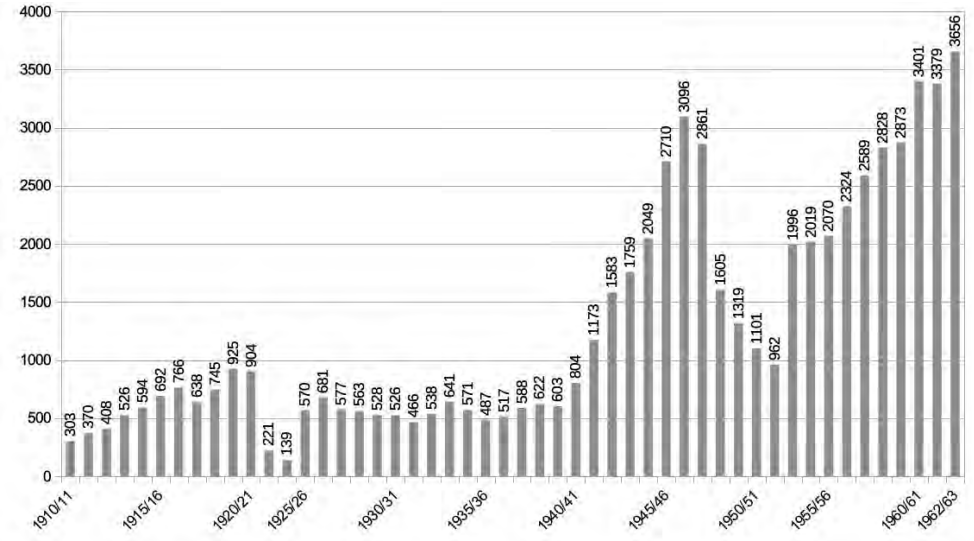


Fig. 2 – La presenza maschile tra gli studenti di Ingegneria tra il 1910 e il 1963.

Assistenti e docenti dalla Scuola alla Facoltà

Negli annuari è possibile anche rintracciare notizie relative a laureate che hanno continuato la loro vita universitaria come assistenti o docenti. Dapprima ad esse sono riservati esigui ruoli secondari, per lo più come assistenti volontarie. Con l'aumento della loro presenza aumenta anche la qualità e stabilità dei contratti di lavoro, sebbene il loro operato sia comunque ancora considerato accessorio e subalterno a quello maschile, come risulta da alcune testimonianze raccolte[3]. Le prime assistenti nominate nel 1928-29 sono Anna Cantarini per la cattedra di Diritto aeronautico e Lidia Monti per quella di Tecnologia dei materiali di aviazione. Maria De Marco, laureata nel 1921-22, entra a far parte nel 1931 del gabinetto di Elettrotecnica generale e applicata. La sua presenza sembra avere tuttavia un carattere discontinuo: non viene riportata negli anni tra il 1934 e il 1937 e risulta poi essere assistente volontaria o straordinaria fino alla sua morte nel 1941. La prima donna con un incarico di docente ordinario insegna Matematica: siamo nel 1974 e lei si chiama Ida Cattaneo Gasperini, dimostrando come sia più facile diventare professoresse e assistenti nelle cattedre non puramente ingegneristiche.

La Figura 3 riporta l'andamento di assistenti e docenti di sesso femminile tra il 1910 e il 1968: si tratta di incarichi di libera docenza o di insegnamenti su incarico che non determinano rapporti stabili e continuativi. Anche le assistenti ordinarie sono poche. L'aumento della presenza che si può apprezzare negli anni Sessanta è in parte dovuto all'unificazione del percorso di studi, a ciclo unico e non più composto da biennio propedeutico nella facoltà di Scienza e specializzazione (Di Gioia, 1985). Si aprono in questo modo all'interno della facoltà corsi, come quelli di Matematica e Disegno, che registrano una presenza femminile più consistente.

Appare interessante seguire le carriere accademiche di alcune di esse. fra le assistenti e docenti che sono rimaste a lungo impegnate nella Facoltà. Tra queste, la prima è Nella Fongi che consegue la laurea in Chimica il 29 dicembre 1934 a Roma con voti 105/110. Il suo primo incarico come assistente volontaria presso la cattedra di Metallurgia e metallografia segna il suo ingresso nell'ambito della ricerca scientifica sulle caratteristiche dei materiali. Successivamente sarà assistente straordinaria a titolo retribuito, assistente incaricata, fino a essere nominata, a seguito di concorso, assistente Ordinaria alla Cattedra di Tecnologie speciali chimiche dal 16 luglio 1951. Dal 1940 al 1945 è anche ricercatrice presso il centro studi per la chimica dei silicati dipendente dal CNR. Nel 1953 riceve un premio per l'Operosità scientifica. Dall'1 ottobre 1957 ottiene un posto di ruolo come insegnante media presso gli istituti magistrali e conclude la sua collaborazione con la Facoltà di Ingegneria.

Maria Lerchental Serra inizia la sua carriera di assistente nel 1956-57 nell'ambito della cattedra di Fisica tecnica e ottiene un incarico di libera docenza in Tecnologie speciali chimiche nel 1968-69. Ha al suo attivo numerose pubblicazioni scientifiche[4].

Attilia Serafini è specializzata in Cemento armato. Appena laureata diventa assistente di Carlo Cestelli Guidi nella facoltà di Architettura per spostarsi poco dopo

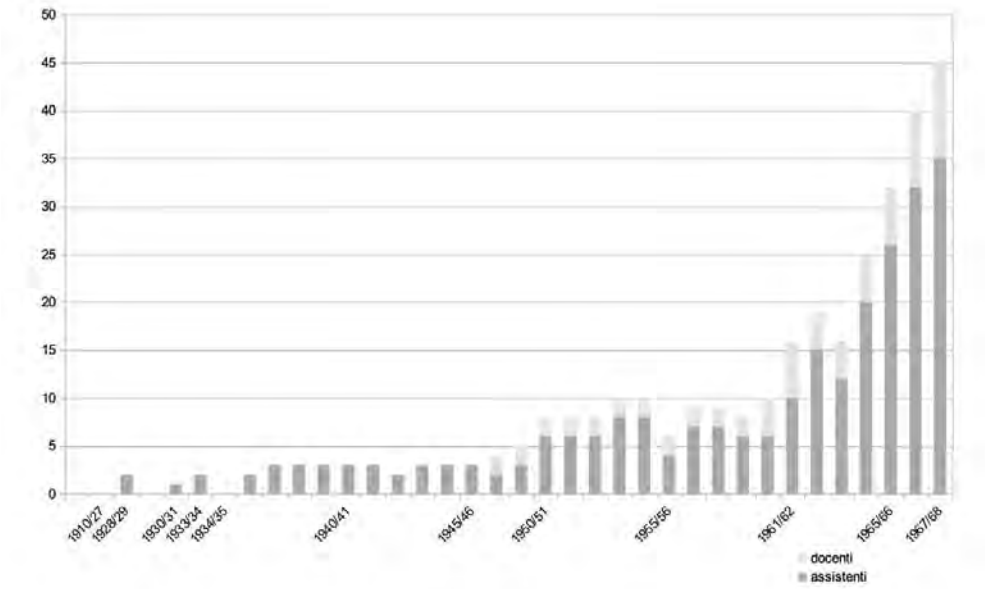


Fig. 3 – Donne assistenti e docenti nella Facoltà tra il 1910 e il 1968. Gli anni non presenti in figura corrispondono ad annate mancanti negli annuari.

a Ingegneria, con una presenza documentata negli annuari già a partire dal 1945. Presso l'istituto di Scienza delle Costruzioni svolge attività di ricerca, tra cui sperimentazioni sul comportamento del cemento armato precompresso a cavi aderenti. Ai suoi lavori fa riferimento Cestelli Guidi nel libro *Cemento armato precompresso: teoria, esperienze, realizzazioni* (1952). Fino al 1975 è assistente alla cattedra di Tecnica delle Costruzioni. Negli ultimi anni di attività universitaria si interessa anche ai materiali compositi. Ricopre inoltre alcuni incarichi professionali ed è insegnante di ruolo di Costruzioni negli Istituti per geometri.

Una figura di rilievo è quella di Bice Crova, che avevamo vista matricola nell'1912-13 e seconda laureata nel 1916. Dopo la laurea, svolge un'ampia attività scientifica anche all'esterno dell'università: del 1926 è la sua prima partecipazione a un convegno e nel 1934 pubblica il primo libro: *Case rurali attraverso i secoli*. I suoi temi di ricerca spaziano dall'igiene ambientale e sociale, alle abitazioni urbane e rurali, alla storia dell'architettura, il suo libro più importante, L'Abitazione nei suoi riflessi sociali. Conduce anche scavi archeologici per conto del Ministero degli Esteri nel corso del fiume Uaadi Cam (in Cirenaica). Bice Crova prende servizio come libera docente nel 1948 e mantiene la nomina a lungo, anche oltre il pensionamento.

Chiara Valente si laurea nel 1963-64 con una tesi dal titolo "Progetto di un'antenna per sistema di radionavigazione Consol". Nel 1968-69 è assistente incaricata all'Istituto di Matematica applicata. In seguito diventa docente di Meccanica razionale e Meccanica del volo spaziale. La sua attività scientifica si è sviluppata nei campi classici della Fisica matematica e ha poi affrontato molti aspetti tecnici e teorici dei problemi del volo spaziale. Colpita da una lunga malattia, muore nel 2005. Nello stesso anno e in sua memoria viene pubblicato dall'Editrice Sapienza un volume che raccoglie i suoi lavori scientifici e didattici.

Le biografie molto diversificate e i numeri esigui delle Tecniche Sapienti non permettono generalizzazioni su figure e percorsi di vita, né per le motivazioni alla base della scelta dell'ingegneria, né per il tipo di carriera che queste donne hanno avuto la possibilità di seguire. Il sostegno della famiglia ha una certa rilevanza[5] nella scelta della facoltà, come indicano le storie di Bice Crova e di Lidia Ganassini. Le carriere professionali, nell'arco di tempo analizzato, risentono dei pregiudizi dell'epoca e sono apertamente osteggiate durante il fascismo. Anche la possibilità di un'affermazione accademica si concretizza solo a partire dagli anni Settanta e fino ad allora gli incarichi all'interno della facoltà rimarranno sporadici, limitati, precari e poco riconosciuti.

La gran parte delle laureate ingegnere preferirà rivolgersi a settori che garantiscono maggiore stabilità o sono consolidati più consoni perché permettono la conciliazione con le esigenze famigliari. Molte saranno insegnanti in istituti superiori, come Gianna Saporiti o Nella Fongi. Altre preferiranno un impegno nelle amministrazioni pubbliche, come Anna Maria Leone, o in enti privati, come Iole Tavolaccini e Beatrice Gulì. Pochissime fonderanno imprese, come Marina Alfonsina Buyatti. Solo poche lavoreranno presso studi e imprese di famiglia. Alcune durante la loro carriera riusciranno a registrare brevetti, come Liliana Rampazzo. Le loro storie sono narrate più estesamente nel sito della Facoltà di Ingegneria [1].

Studiare e riscoprire queste storie non vuole solo colmare un vuoto che riguarda il passato, ma contribuire a costruire un ambiente professionale e scientifico più accogliente e ricco per le giovani generazioni.

Bibliografia

Abati E., Barozzi A., Toschi V. 1988. L'ultimo capitolo della storia di una conquista: la facoltà di Ingegneria. In: *La presenza femminile del XVIII al XX secolo. Ricerche sul rapporto donna/cultura universitaria nell'Ateneo bolognese*. Alma Mater Studiorum. Bologna: CLUEB.

Casalino P. 2018. *Beni nemici e posizione degli Apolidi russi a Sanremo, dopo la dichiarazione dello stato di guerra dell'Italia fascista alla Russia sovietica nel 1941.* Sanremo News, 18 maggio.

Cestelli Guidi C. 1952. *Cemento armato e precompresso: teoria, esperienze, applicazioni*, Hoepli, Milano.

Di Gioia V. 1985. *Dalla Scuola di Ingegneria alla Facoltà di Ingegneria di Roma*, Roma: Edizioni dell'Ateneo.
Galbani A. 2001, *Donne Politecniche,* Milano: Libri Scheiwiller.
Mattogno C. 2014. Casa, città territorio: da scena inospitale a progetto di genere. In: *La scena inospitale. Genere, Natura, Polis* (a cura di S. Chemotti), 245-260. Padova: Il Poligrafo.
Mesnage S. 2012. Eloge de l'ombre. In: Ce que les femmes font à l'architecture, Criticat*,* 10, 40-53.
Re d'Italia. 1938. Disciplina di assunzione di personale femminile agli impieghi pubblici e privati. R.D.L. 1514 del 5 settembre 1938 – XVI. Gazzetta Ufficiale n. 228 del 5 ottobre 1938.

Webgrafia

[1] https://www.ing.uniroma1.it/news/tecniche-sapienti

I paragrafi *Una breve storia, Diventare Ingegnere* e *La ricerca Tecniche Sapienti* sono stati scritti da Claudia Mattogno; i paragrafi *Le prime studentesse di Ingegneria a Roma, Assistenti e docenti dalla Scuola alla Facoltà* e *Percorsi di lavoro* da Chiara Belingardi.
Si ringraziano le ingegnere Sivia Cioci e Luna Kappler per le ricerche sugli annuari.

Note

1. La figura dell'uditore corrisponde a quella di un neolaureato che decide di seguire alcuni corsi come approfondimento.
2. Per una disanima delle possibili cause, cfr. (Galbani, 2001); (Abati et al., 1998).
3. Tra le interviste raccolte, quella alla professoressa Maria Cappelli fa esplicito riferimento alle difficoltà incontrate durante la sua carriera universitaria, quando colleghi maschi venivano privilegiati, con la motivazione che "loro avevano una famiglia da mantenere".
4. Per approfondimenti su questa e altre Tecniche Sapienti, si rimanda a quanto pubblicato sul sito della Facoltà di Ingegneria https://www.ing.uniroma1.it/news/tecniche-sapienti
5. È possibile un confronto con quanto riportato in Galbani, 2001.

Umberto Ruggiero, Francesco Ruggiero

Università, ingegneria e quadri tecnici: 60 anni di politica incerta con ritardi e carenze nel Mezzogiorno. Quale formazione nel futuro?

Abstract

This article traces the historical events, inconsistencies, delays and critical issues for the education of engineers in Italy, in the South of Italy and in Puglia. Sixty years of events that characterized university life in Italy, the education of young people in view of the technical profession, especially in the engineering sector. While technological progress began that formidable acceleration that, in less than 25 years, led man from the propeller plane to reach the moon, today it is possible to see that the action of the Ministries for university and intermediate education, indispensable for the advent of the technological society of the future, was slow, never timely and strategic and only partially illuminated, It is well known that: a country that does not have prestigious schools and universities is not a great country! It is complicated to summarize, schematically, an objective history capable of representing facts, results and its development conditioned by the many regrettable laws and regulations. This reconstruction will therefore take place by looking at the topics, which, from one's own academic experience, are of greater importance, and giving priority to the still valid profession of engineer, especially in the South and Puglia. Unfortunately, today, political stimuli and encouraging signs to pursue valid national initiatives aimed at educating the most suitable human resources for a near future are not visible.

Le condizioni sociali e le istituzioni universitarie in Italia e al Sud

In Italia tutti ricordano la stagione di riforme e di realizzazioni eccellenti del dopoguerra, fino al "miracolo" economico degli anni '60-'70**:** includendo riforma agraria, IRI, CASMEZ, sistemi idrico-fognanti e grandi invasi, centrali termiche e nucleari, elettrificazione ferroviaria, rete autostradale, reindustrializzazione diffusa e così via.

La stagione finita negli anni '70 fu caratterizzata, purtroppo, da un intervento pubblico, mai coerente, che aveva il fine di unificare l'Italia mediante infrastrutture indispensabili per l'integrazione fisica e sociale Sud-Nord e ancor più delle Regioni meridionali rendendole più vicine fra di loro, favorendo simbiosi culturale ed economica e interscambi che sicuramente producono ricchezza, oggi ancora carenti.

Non si può tacere l'incidenza risultata fortemente nociva dell'istituzione delle Regioni, che comportò l'influenza delle loro autonomie, nonché la raddoppiata burocrazia e gli ostacoli posti dai localismi e dalla pluralità dei responsabili.

Infatti, pur con la consapevolezza che la distanza porta all'isolamento delle regioni del Sud fra loro, ai nostri giorni si constata che da Brindisi per raggiungere Gioia Tauro ci vogliono forse 12 ore di treno; che sarà ancora lenta e negletta la ferrovia Taranto-Sibari-Catanzaro; che da Taranto a Reggio Calabria ci sono ben 391 km e che l'autostrada A14 terminò a 25 km da Taranto senza proseguire da Mottola almeno fino a Sibari, circa 120 km, integrando la pericolosissima Statale 106 metapontina. Finalmente dopo 50 anni si avrà una SS 96 "veloce" Bari-Altamura-Matera (75 km) e un ammodernato trenino a scartamento ridotto delle FAL, le Ferrovie Appulo Lucane, ma non la ferrovia dello Stato! Aspetteremo però altri 10 anni (2026-27?) per la Bari-Napoli "ad alta capacità", non velocità, e forse sull'Adriatico sarà realizzato anche il tratto di 20 km a doppio binario oggi mancante, mentre rimane un sogno la Freccia Rossa Milano-Lecce. E si tralascia l'elenco delle numerose altre gravi insufficienze e delle promesse innovative mai mantenute.

Premesso questo, al declino piuttosto che allo sviluppo del Sud, ha contribuito sicuramente la inadeguatezza delle Scuole certamente indispensabili, nonché delle Università con le essenziali infrastrutture sociali.

Prima degli anni '70, seguendo idealmente una verticale da Trieste in giù, in Italia quasi tutte le conosciute e complete Università erano ad Ovest. Al Sud soltanto due, Napoli e Palermo, erano complete con le Facoltà di Ingegneria e Architettura. A Est, sull'Adriatico, c'era Bari, nata con Medicina nel '25, che solo nel dopoguerra (1943-44) acquisì altre Facoltà insieme al Biennio d'Ingegneria e che nel 1947 diventò Facoltà, ma con il solo corso di Laurea in Ingegneria Civile.

Era la decima Facoltà di Ingegneria in Italia. Nel 1955 si ebbe l'Ateneo a Lecce con Economia e Giurisprudenza. Altre Università, con Ingegneria, nacquero solo dopo 30-40 anni dal dopoguerra. Nel 1960 si discusse molto di riforme. L'allora Ministro Gui elaborò un articolato Disegno di Legge, n. 2314, che considerava già i Dipartimenti, il ruolo delle Facoltà, l'accreditamento di incentivi finanziari e altro, ma non fu mai approvato in Parlamento. In tema di ordinamenti didattici, almeno per le lauree in ingegneria, a cinque anni, fu basilare la Legge n. 53 del 1960 anche nota come la Riforma *Capocaccia* che razionalmente istituì 9 diversi corsi di laurea, poi diventati 11 e più tardi 18, con un biennio di materie scientifiche e un triennio di quelle applicative, in gran parte obbligatorie sul piano nazionale e delle singole Facoltà, aggiungendone altre facoltative per indirizzo, a scelta dello studente.

I moti studenteschi europei e italiani provocarono sia la liberalizzazione degli accessi alle Facoltà sia quella dei curricula didattici, provocando la Legge n. 910 del 1968 che causò notevoli squilibri, specialmente per l'aumento traumatico degli iscritti nelle Università e alcune dovettero utilizzare, per aule da 200 e 300 posti, le

vicine sale cinematografiche. La Legge 910, riducendo o annullando la frequenza obbligatoria e le discipline fondamentali delle singole Facoltà, autorizzò l'aggiunta di altre discipline facoltative per indirizzo, a scelta dello studente. La possibilità per gli studenti di sostituire materie a carattere fondamentale con altre più gradite, o di indirizzo, comportò, specialmente in Ingegneria, l'assenza nel curriculum di laurea di insegnamenti già obbligatori, ad esempio la Scienza delle Costruzioni, ad Elettronica o in altri corsi. Da qui le incertezze per gli esami di abilitazione professionale e le opposizioni degli Ordini degli ingegneri alla iscrizione negli Albi professionali, opposizioni vanificate dopo anni di vertenze legali da una sentenza della Corte Suprema di Cassazione.

Nello stesso periodo, inoltre, con la Legge 924 del 1970 fu eliminata la *Libera Docenza*, già istituita nel 1959 che dava il titolo di Professore e autorizzava ad un insegnamento. Fu chiaramente una decisione errata**:** bastava escludere dalla Docenza la sola Facoltà di Medicina, ove i medici liberi docenti, chiamati Professori, erano autorizzati a raddoppiare o triplicare le parcelle. Eliminando la libera docenza si è annullata purtroppo la utilità di sviluppare forme idonee di insegnamento parallelo a quello di ruolo, che permettevano di coprire validamente gli insegnamenti minori o senza cattedra ma ancor più la possibilità di potenziare le capacità di ricerca e didattica, nonché di rendere stabile il ruolo di Assistente Ordinario altrimenti limitato a dieci anni, indirizzando l'Assistente, ormai Professore libero docente, alla carriera universitaria.

Il Ministero dovette fare leggi successive, ancora oggi discutibili: sostituire il più razionale ruolo dell'Assistente, che, pena decadenza, in 10 anni doveva dimostrare le sue qualità universitarie superando la Libera Docenza, con i Ricercatori, precari e non, e quindi creare il necessario ruolo, intermedio tra Ricercatori e Ordinari, dei professori Associati, per i quali il concorso ripete quello della libera docenza. Si evitava di mantenere a vita Assistenti, oggi Ricercatori, senza garanzia di qualificazione accademica.

La laurea di Ingegneria meccanica a Bari

Negli anni '60 lo Stato si era impegnato a industrializzare anche il Sud, investendo, con i finanziamenti della Cassa per il Mezzogiorno, BEI, CEI, centinaia di miliardi in varie Regioni, per grossi insediamenti come a Gela in Sicilia, per la grande Raffineria ENI, e nel triangolo pugliese, creando a Taranto la più grande acciaieria integrale d'Europa, l'Italsider, a Brindisi il Petrolchimico, Montecatini-ENI e a Bari industrie metalmeccaniche, quelle statali incluse nell'IRI-Istituto di Ricostruzione industriale, nonché di Breda, INSUD e Pignone. È noto però che per la costruzione, l'avviamento e la gestione degli impianti, per decenni furono utilizzati centinaia di tecnici e dirigenti del Centro-Nord, per i limiti e la carenza di cultura industriale della risorsa umana meridionale. Era ed è evidente**:** non basta il capitale per creare

lavoro! In quel periodo a Bari si maturò la certezza che al Sud fosse indispensabile, proprio per le esigenze di industrializzazione e d'innovazione, la formazione di tecnici qualificati e in particolare di ingegneri e architetti.

Il più anziano tra chi scrive, appena in Cattedra nel 1967, dopo l'esperienza problematica dei 20 anni di Ingegneria Civile e la nascita di Ingegneria Elettrotecnica nel 1962, rivoluzionò la Facoltà di Bari introducendo dall'A.A. 1969/70 l'Ingegneria Meccanica. Ebbe la fortuna di condividere le idee moderne e le esperienze dei giovani colleghi Franco Jovane, tecnologo, formato in Inghilterra e al MIT-USA e Gianni Billia, dirigente dell'IRI e informatico, Phd di Harvard-USA, per innovare la didattica con moderni contenuti, aggiungendo tra l'altro calcolo numerico, automazione, tecnologie robotiche, economia aziendale, ricerca operativa, nonché l'uso del computer, terminale e nastro perforato, in aula, unico corso di laurea in Italia. Ci procurammo anche il contributo entusiasta di giovani e validi universitari e docenti scelti da Torino e da Napoli e la docenza, per incarico, di almeno quindici esperti dirigenti industriali provenienti da IRI, ENEL, FIAT, Alfa Romeo, SNAM, OLIVETTI e non solo. Fu per decenni il più innovativo corso in Italia e i cambiamenti didattici coinvolsero le altre lauree. Risultato? Partendo dai primi anni, si creò una valida Scuola di almeno trenta cattedratici che ancora oggi si riproducono anche in altre sedi. Così pure si formarono a centinaia dirigenti industriali e imprenditori di alto livello operanti in Puglia, in Italia e all'estero.

Naturalmente l'impegno e le responsabilità di formazione adeguata dei giovani professionisti non poteva fermarsi alla laurea, ma esigeva che laureati e tecnici posttitolo, anche occupati, fossero continuamente aggiornati e indirizzati in una realtà professionale in continua innovazione. Fu realizzata a Bari nel 1975 una istituzione finalizzata al "lifelong learning", qualcosa più delle Business School di altri Atenei, limitate all'economia e al management, creando il CSEI (Centro Studi di Economia applicata all'Ingegneria) in Facoltà, poi trasformato in Consorzio interuniversitario UNI@VERSUS-CSEI, coinvolgendo le altre tre Facoltà pugliesi. Si crearono sedi attrezzate e accreditate nelle sei Province, realizzando studi e ricerche nonché Corsi, Master e Seminari finanziati anche dalla UE mediante la Regione Puglia. I risultati in 40 anni sono stati eccezionali specie a Bari, ove su suolo del Politecnico fu costruita persino una Sede dedicata di 1.500 m^2, attrezzata con sistemi multimediali.

Le precedenti citazioni delle iniziative a Bari e in Puglia nell'area ingegneristica non mirano ad esaltare virtù mai possedute ma, come forse è avvenuto anche altrove, vogliono dimostrare che i successi, conseguiti nel costituire Facoltà e istituzioni moderne sono sicuramente conseguenza del ricorso "strategico" alla mobilità dei docenti, esperti e scienziati acquisiti da varie sedi, ciascuno con competenze ed esperienze diverse, innovando e arricchendo l'accademia. Già oggi ci si accorge in Italia quale danno enorme sia per le Università la scarsissima mobilità di professori e ricercatori, richiesta invece all'estero, che non permette di mescolare culture di Scuole

diverse, garantendo il nuovo. Da tempo infatti si favoriscono carriere e concorsi in sede locale e c'è autarchia nella produzione dei docenti.

Sviluppi e riforme universitarie

Nel febbraio 1980 venne varata la Legge n. 28 di delega sul riordinamento della docenza universitaria e con il successivo DPR n. 382 del luglio 1980 si istituì un doppio ruolo di professori universitari, Ordinari e Associati, distinguendo il loro impegno accademico in tempo pieno e in tempo definito, nonché il ruolo dei Ricercatori al posto degli Assistenti. Altra novità fu la creazione di una rete di Dipartimenti anche tematici per assorbire gli Istituti, nonché l'idea di creare nuovi piani di sviluppo, prima triennali e poi quadriennali, per programmare gli interventi negli anni successivi e le competenze di merito del CUN.

Il DPR 382/80 fu integrato dalla Legge 590/1982 con la quale, anche per ridurre l'affollamento delle Università maggiori, si fissò il tetto massimo di 40.000 studenti, poi superato da più di 13 Atenei, Roma tra i primi. Sorsero così 26 nuove Università che raccolsero 250.000 nuovi iscritti, il 15,2% del totale. Per fortuna la distribuzione fu quasi uniforme in Italia, 11 al Nord, 9 al Centro e 7 al Sud, nelle città ancora prive di Atenei come Verona, L'Aquila e Campobasso, che si aggiunsero alle altre di Salerno e Cosenza, avviate tra il 1968 ed il 1970, senza l'Ingegneria. Nel 1967 erano nate Chieti-Pescara con l'Architettura e per fortuna Reggio Calabria con l'Architettura e con l'Ingegneria. Per le ataviche carenze di sedi attrezzate anche al Sud, specie nell'Ingegneria, la penuria di docenti e i mancati finanziamenti, aumentò il pendolarismo dei docenti dalle sedi maggiori alle nuove sedi da consolidare, determinando la incapacità di produrre un numero notevole di laureati, in Italia sempre in difetto nei confronti con le sedi europee. Rispetto alle 35 Facoltà tradizionali esistenti, solo 13 erano quelle d'Ingegneria e 8 quelle di Agraria, riducendo così le scelte per le iscrizioni e favorendo gli abbandoni ovvero la migrazione verso il Centro Nord, mai cessata ed evidente anche oggi. Fu un periodo abbastanza critico per l'Università.

Non stupisce, come risulta dalle indagini ISTAT 1987-88, che la spesa per la ricerca della Pubblica Amministrazione risultava del 91% al Centro Nord e solo il 9% al Sud, e che la spesa del settore privato era rispettivamente del 97% e del 3% con ridotta innovazione nei prodotti e nei processi.

Il nuovo Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica (MURST) e l'autonomia delle Università

È stata sicuramente importante la Legge 168/1989 del Ministro Ruberti che istituì il nuovo Ministero per l'Università e la Ricerca, MURST, e sanzionò l'*autonomia della Università*, riconoscendone la *personalità giuridica*, con l'obiettivo di separare il momento delle scelte assegnate alle Università e agli Enti di ricerca, come previsto dall'Art. 33 della Costituzione, dalla gestione scolastica generale.

Che il Ministero, tenuto conto delle razionali raccomandazioni del CUN, negli anni di elaborazione del Piano ’86-’90 sul riassetto delle Università, fosse finalmente intenzionato a sostenere l’autonomia delle Università e a potenziare anche finanziariamente vecchi e nuovi Atenei del Mezzogiorno, lo dimostra proprio l’art. 15 della Legge 245/90 che disponeva “*Al fine di assicurare un elevato sviluppo del sistema universitario (Art, 2, comma 1 lett. c della Legge 168/89), una quota non inferiore al 40 per cento delle risorse finanziarie complessive destinate ai piani di sviluppo delle Università è riservata alle Università che hanno sede nelle aree del Mezzogiorno, approvato con DPR 6/3/1978 n. 218 …*”.

Ma contro le risorse economiche essenziali per gli Atenei meridionali è risultata evidente la prevalenza dei poteri forti del Nord, anche in campo accademico. Il Governo, con il DPR n. 25 del 1998 ha abrogato quell’Art. 15 della Legge 245/90 eliminando quel 40% delle risorse finanziarie previste per il Sud, in seguito sempre penalizzato.

Purtroppo per le vicende politico-parlamentari e le crisi economiche nazionali specie negli ultimi decenni per le Università non è stato ancora definito quel progetto unico e generale per un reale, dovuto, riconoscimento della personalità giuridica così come dell’autonomia didattica, scientifica, organizzativa, finanziaria e contabile, già inclusi in quella Legge 168/89. Nei fatti queste prerogative, costituzionali, passarono quasi inosservate dai successivi criteri imposti dal Governo, dal MURST e dall’Organo di valutazione, ANVUR, che più tardi, con la Legge 240/2010, a cui seguì il DM 279/2014, contro la tradizione italiana abolirono le Facoltà e disposero nuovi ordinamenti didattici affidati ai Dipartimenti; introdussero la ripartizione del Fondo di Finanziamento Ordinario, F.F.O., con criteri discutibili e punitivi e, persino, inventarono **i *Punti organico* che** ancora oggi impediscono le assunzioni dirette di docenti e personale sui posti lasciati dai pensionati. Perché i Comuni, giuridicamente autonomi, sì e le Università no? Le Università ridotte a Scuole secondarie!

Il Piano quadriennale di sviluppo 1986-1990 della Università – Il Poltecnico di Bari

Già col primo piano 1982-‘86 emerse l’esigenza della revisione delle procedure e con il nuovo Piano ‘86-’90 si intese provvedere ulteriormente al riequilibrio in favore degli Atenei di minori dimensioni per incrementare i laureati. Sulla Bozza del Piano, elaborata dall’allora Ministero della Pubblica Istruzione, fu espresso un duplice parere del CUN e, con DPCM del 12.5.1989, in Parlamento fu approvato quel Piano che, nonostante le remore del CUN, accentuò la disuniformità territoriale delle sedi.

Infatti autorizzò i nuovi *Poli universitari* di cui il 64,3% al Nord, il 14,3% al Centro, il 21% al Sud e nessuno nelle Isole, raddoppiando quasi le sedi universitarie e accentuando il divario Nord-Sud.

In questo panorama storico e operando senza interventi finanziari straordinari, era cresciuta, in 40 anni, la Facoltà di Ingegneria di Bari forse settima in Italia, superan-

do negli anni ’89-’90 Genova e Palermo, pur vivendo nell’ambito di una struttura complessa quale quella della grande Università di Bari con 60.000 studenti, quarta o quinta in Italia. Per fortuna tra le tante richieste incentivate dal Piano di Sviluppo ’86-’90, l’Università di Bari, già nel 1986 aveva chiesto l’istituzione della Facoltà di Architettura la quale, dopo quella di Napoli, Reggio Calabria e Palermo, soddisfava una sicura esigenza dei territori del meridione così ricchi di storia e archeologia, arte, monumenti e costruzioni innovative.

L’accettazione della nuova Facoltà di Architettura da parte del CUN nel primo parere espresso, portò il più anziano degli scriventi con autonoma iniziativa a coinvolgere parlamentari amici e il Direttore Generale del Ministero, proponendo l’idea di poter creare un Politecnico, come Università autonoma, anche a Bari, ispirato dall’esperienza dei Politecnici del Nord.

Nel Piano di Sviluppo, l’Università di Bari fu contraria alla proposta – del resto nessuna Università ha mai rinunciato a due Facoltà importanti e qualificate – però la proposta innovativa di realizzare un Politecnico al Sud fu ben vista e approvata dal Ministro Galloni, il quale pur senza l’assenso dell’Università la fece inserire, d’ufficio, nel Piano, che venne poi approvato, come già detto, con DPCM 12-5-1989 dal Parlamento. Il Politecnico di Bari, terzo d’Italia, fu istituito con Legge 245/90, con le due Facoltà d’Ingegneria e Architettura a Bari, una seconda Facoltà d’Ingegneria a Taranto e corsi gemmati a Foggia.

Tale istituzione, a 1.000 km dagli omologhi di Torino e Milano è stato senza dubbio un atto politico inusuale, il più importante evento universitario di fine secolo, di eccezionale valenza scientifica, culturale e sociale per perseguire in Puglia e nelle Regioni vicine l’auspicato progresso, nella produzione e nei servizi.

Nessun politico, giornalista o meridionalista e nemmeno l’opinione pubblica a Bari e in Puglia ha mai rilevato ed esaltato, come merita, l’eccezionalità e l’originalità della istituzione del Politecnico a Bari, isolato nel Sud, ottenuto sottraendo d’ufficio, cosa mai avvenuta, ben due Facoltà, Ingegneria e Architettura, all’Università di Bari per ottenere un secondo Ateneo specializzato nella stessa sede.

In quel tempo altri Politecnici avrebbero potuto essere costituiti con altrettanta visione strategica di politica universitaria, ad esempio a Roma e a Napoli, troppo grandi quelle Università, e in tal senso erano stati sollecitati i rispettivi Presidi, che però si dimostrarono contrari. Purtroppo sia la chiusura delle Università al nuovo, sia i tradizionali interessi di proliferazione di sedi e di posti-docenza, avallati dal Ministero, mai aperto al futuro, fecero sorgere a Roma quattro Facoltà di Ingegneria, oltre Cassino, e a Napoli altre due, oltre Benevento e Salerno.

Per la interrelazione fra i diversi insegnamenti dell’Ingegneria, la qualità degli stessi, la necessità di laboratori attrezzati e l’essenziale connubio fra didattica e ricerca, si lascia immaginare, almeno ai colleghi ingegneri, la dissipazione iniziale di competenze dalle Facoltà madri per la distribuzione e il pendolarismo dei docenti e

tecnici per la moltiplicazione dei Corsi d'ingegneria, nonché l'esigenza ex novo di uomini, laboratori, mezzi e tempi.

Quanto sopra dimostra che, per superficialità e accidia dei responsabili, è stata persa una irripetibile grande occasione per rilanciare al meglio, con pochi grandi Politecnici regionali, la formazione superiore tecnica specializzata indispensabile per l'imprenditorialità diffusa al Centro Sud e in grado di primeggiare in ricerca e innovazione, management e pubblica amministrazione.

Ingegneria e tecnici intermedi: Diplomi e Lauree professionalizzanti. Proposte formative.

Riprendendo il discorso storico, sin dalla fine degli anni '50 fu riconosciuta in Italia la carenza di laureati rispetto alle nazioni europee e ancor più la necessità di figure professionali chieste dal mercato a vari livelli, non laureati, ma tecnici capaci di interpretare e trasmettere tecnologie innovative e prassi nelle diverse aree e con competenze certificate, specializzati. Ciò in tutte le professioni ma specialmente nei settori produttivi manifatturieri e nei servizi, per cui già nel '58-'59, con l'allora Ministro Medici, l'idea del Diploma intermedio prima della laurea venne auspicata nei programmi ufficiali.

Negli anni '62-'63 un'apposita Commissione d'indagine presieduta dall'On. Ermini elaborò un approfondito documento in cui, nell'area dell'ingegneria, si proponeva una articolazione a 3 livelli: un primo di 3 o 4 anni di Diploma a carattere esclusivamente professionale da realizzare anche fuori dall'ambito universitario, un secondo, la Laurea a 5 anni, un terzo il Dottorato di ricerca a carattere esclusivamente scientifico.

Un esperimento in corso era in atto all'Istituto Feltrinelli di Milano, che in due o tre anni qualificava a livello superiore i maturati degli Istituti professionali. Si potevano incentivare analoghe iniziative in Italia sostenendo altri Istituti di Tecnologia, magari aggregati alle Facoltà o ai Politecnici per creare Tecnologi o i cosiddetti Ingegneri di fabbricazione o di officina.

Al 12° Congresso degli Ingegneri di Foggia, nel 1963, nella relazione del Prof. Capocaccia, si confermava la crisi dei quadri tecnici e l'inadeguatezza delle Facoltà a produrre più ingegneri, proponendo la formazione di tecnici intermedi o superiori, per qualificare i periti e i geometri. Soltanto nel '65-'66 il Ministero istituì le Scuole speciali di Tecnologie industriali e meccaniche aggregate agli ITIS di Napoli e Milano, di Tecnologie edili, industriali e prefabbricate a Udine, di Tecnologie chimiche a Roma, di Tecnologie meccaniche ed elettromeccaniche a Genova. Erano finanziate in parte dal Ministero e in parte da Camere di Commercio e Industrie. Si ricordano anche altre iniziative simili dell'IRI, dell'ENI e delle grandi industrie negli anni '60, l'IFAP-Istituto di formazione dell'IRI coinvolse i docenti dell'Ingegneria di Bari per alcuni anni, organizzando corsi di *Tecnici superiori*, con 800-1.000 ore di formazione, destinati a coprire i posti di Capo reparto nella grande acciaieria di Taranto.

Nell'agosto del '72, in ritardo, la Corte dei Conti respinse il Decreto istitutivo di quelle Scuole che funzionarono fino al 1973-'74 e poi furono sciolte. Per la Corte dovevano essere aggregate all'Istruzione Superiore, Università, e non a quella Tecnica, evidentemente per carenza di legislazione idonea precedente. Rimase infatti soltanto l'Istituto Superiore per le tecnologie industriali, ISTIM, nello Statuto del Politecnico di Milano, operativo come Scuola diretta a fini Speciali.

Passarono 10 anni e soltanto nel 1982 il DPR n. 162 statuì che "*erano incluse nell'ordinamento universitario le Scuole dirette a f.s. per il conseguimento di diploma post-secondari per l'esercizio di uffici o professioni*". Ma l'istituzione fu a costo zero, infatti il Decreto dava facoltà alle Università "*di istituire le Scuole dirette a f.s. nei limiti del personale docente e non docente nonché di idonee strutture ed attrezzature, acquisite anche a seguito di convenzioni stipulate in conformità dell'Ordinamento universitario*". Senza finanziamenti, nel 1987-88 nelle poche Scuole nate in Italia risultavano solo 7.800 iscritti.

Nel 1984 in un Convegno a Roma, organizzato dal Consiglio Nazionale Ingegneri e dalle Università con Rettori e Presidi di Ingegneria, fu giudicata razionale ed utile l'istituzione di un titolo intermedio, anche sotto forma di diploma di specializzazione, quale completamento naturale dei titoli della Scuola Superiore tecnica. Venivano citati, esemplarmente, gli ordinamenti tedeschi con le Fach Hochschulen di 3 anni e Tecnische Hochschulen autonome, che conferiscono a un gran numero di allievi un titolo di Diploma in Ingegneria e venivano ricordate anche le diverse soluzioni francesi con il Diplôme universitarie de Tecnologie, DUT, o il Brevet de Tecnicien Supérieur conseguito dopo due anni di studi successivi alla Scuola Secondaria, anche fuori del sistema universitario. Altre strutture erano attive nel Regno Unito con tre livelli diversi di titolo.

Il quel Congresso il Prof. Augusti e il Prof. Benfratello del CUN, mantenendo valide le Scuole dirette a fini speciali, presentarono un progetto di riforma dell'ingegneria, ipotizzando un Corso di laurea portato a 3 o 4 anni, magari con il 1° anno in comune con la laurea, e un corso di laurea portato da 5 a 6 anni, comprensivo di due anni di *indirizzo* per ogni settore di laurea; si proponeva come ordinamento sia (1+3+2) sia (4+1 o 2).

Fu il Ministro Ruberti, già Preside d'Ingegneria e Rettore a Roma, che decise di rendere competitivo a livello internazionale il nostro sistema formativo, mediante l'istituzione con la Legge 341/1990, del Diploma Universitario: un titolo intermedio a tre anni, rispetto alla laurea, così come diffuso in Europa e altrove. Nonostante l'ottima impostazione fino alla definizione dei curricula nonché dei compiti e limiti professionali, inspiegabilmente il Diploma Universitario fu imposto con tre gravi handicap quali: la sua introduzione in tutte le Facoltà, l'avvio a costo zero con ogni onere alle Università e, persino, il mancato inserimento, per legge, dei diplomati nei concorsi dei ruoli e nelle qualifiche d'impiego, per valorizzarne le competenze.

È rimasto inveterato il vizio di fondo, dei politici ministeriali e di certi accademici, di rendere qualsiasi provvedimento sempre obbligatorio per tutto il sistema universitario e senza finanziamenti per garantirne l'attuazione. Si pretese di creare corsi di Diploma a 3 anni nelle Facoltà con lauree a quattro anni, come Giurisprudenza, Scienze, Matematica. Persino il Ministro Umberto Colombo, subito nel 1993, in un Convegno sull'attuazione dei diplomi, ebbe il coraggio di riconoscere perché scienziato e non politico:

"*Credo sia stata a suo tempo un'ipocrisia sostenere che il diploma universitario potesse essere attuato a costo zero. Non si può tendere all'efficienza, ossia alla riduzione del costo – che in ogni caso non può essere nullo – senza perseguire simultaneamente l'obiettivo dell'efficacia, ossia del valore reale del diploma nel mercato*". E inoltre: *"Se realizzassimo diplomi inutili*, ad esempio in tutte le Facoltà, *per il paese accresceremmo lo spreco di risorse pubbliche e private e metteremmo a rischio l'avvenire professionale dei giovani*".

Purtroppo quel Ministro durò poco e non ci furono i rimedi attesi.

I fatti dimostrarono che l'interesse e l'utilità dei Diplomi (in Italia nel 1993 risultavano istituiti soltanto n. 297 con 13.000 iscritti) riguardò quasi esclusivamente Ingegneria per oltre il 50% e Medicina, Facoltà dove già si organizzavano Scuole Speciali ad esempio Tecnologi, Ostetriche, Infermieri.

Dopo otto anni, nemmeno tre cicli completi di Diploma, il progetto, pur chiaramente inapplicabile in tutte le Facoltà, fu stravolto in peggio e fu il Ministro Berlinguer ad inguaiare ancor più il nostro sistema universitario, già compromesso dai Diplomi. La sua riforma contenuta nel DM 3.11.1999 n. 509, detta del 3+2 che, secondo il sistema anglosassone, metteva in serie 3 anni di corso per un 1° livello di laurea e altri 2 per un 2° livello, specialistica o magistrale, ha portato come eclatante conseguenza, per esempio ad Ingegneria – per la quale inspiegabilmente non si volle confermare l'esperienza dei Diplomi e tanto meno conservare la Laurea qualificata a 5 anni, come Architettura – all'assurdo di laureare ingegneri junior a tre anni e magistrali a cinque, entrambi col titolo di Dottor Ingegnere. Perché in Italia tutti dottori se in Germania il titolo forse aulico di dottore si ha soltanto con il Dottorato di ricerca?

L'obiettivo dichiarato era di accorciare gli studi agli studenti e di metterli sul mercato a 22 anni**:** niente di più fallace. Quel 3+2 è diventato spesso 4+3 perché i programmi non alleggeriti, le 2 lauree, le scadenze e le iscrizioni obbligano a un percorso a ostacoli, con 1 o 2 anni di tasse in più. I giovani entrano nel mercato del lavoro più tardi.

E' vero che sono aumentati i laureati. Negli anni '90 in Italia il numero dei laureati era cresciuto da 90.000 a 160.000. Con la laurea breve negli anni è raddoppiato fino a 300.000 unità. Nel 2012 erano 302.000 e un po' meno negli ultimi anni di minore affluenza. Ma sono aumentati i titoli, non gli uomini.

Tra l'altro si obbligarono le Università a mettere in piedi un sistema di cumulo o trasferimenti dei crediti tipo ECTS utilizzati negli scambi Erasmus, di tipo elefantiaco**,** barocco e ragionieristico con la revisione dei curricula, con un gioco al massacro tra le discipline "per un credito in più", asservito alla necessità della docenza rispetto al bisogno degli studenti.

Nonostante il giudizio corale d'inutilità culturale e professionale, sia l'ordinamento con i Diplomi, sia l'organizzazione didattica 3+2, pur modificata negli anni in varie Facoltà, come Veterinaria, Farmacia, Giurisprudenza e così via, diventarono per molte Università persino fattore di convenienza, sfruttando la duplicazione o triplicazione dei corsi e degli insegnamenti, anche con i titoli più fantasiosi.

Un Preside, unendosi alla generale condanna per l'abrogazione delle Facoltà, aggiungeva che andrebbe fatta "*una strage*" se si guarda anche allo

> "*scandalo degli anni '90 con la proliferazione delle sedi universitarie e delle gemmazioni in tutte le Province a 50 o a 100 km di distanza. Visione miope volta esclusivamente alla ricerca di consenso politico e dei posti di docenza. Ridicolo!!! Nel 2008 si contavano ben 241 Comuni con almeno 1 corso di laurea, ma c'erano 369 corsi di laurea con meno di 10 iscritti e diventarono 180.000 gli insegnamenti di varia denominazione. Invece di investire utilmente nelle infrastrutture e servizi, Campus, laboratori, biblioteche, diritto allo studio, viabilità, mobilità, residenze attrezzate, docenza qualificata, e così via, di cui dispongono i sistemi universitari più accreditati, si è preferito dissipare risorse economiche in Università comunali e gemmate, clonate dal capoluogo di riferimento raccattando le seconde, terze scelte di una mediocre docenza. Tutte le città hanno voluto il titolo di città universitaria*".

Oggi si contano 96 Atenei di cui 11 telematici, senza considerare le sedi gemmate come in Puglia, con le diverse lauree universitarie di Foggia e di Taranto, e in totale 1.681.146 iscritti di cui 1.057.079 ai corsi triennali, 342.412 a ciclo unico e 299.656 lauree specialistiche. Il 4% studia e dà esami all'estero. Ma i laureati ingegneri restano i 2/3 dei francesi e quasi la metà dei tedeschi.

Con fantasia tutta italiana, incluso l'obiettivo di scimmiottare i sistemi universitari, Dipartimenti, dei Paesi più avanzati o presunti tali, sono anni che si insiste a distruggere le nostre strutture secolari tra cui le Facoltà. Riforme senza un progetto strategico e senza l'imprescindibile supporto di mezzi finanziari, riforme che ignorano l'evoluzione del mondo produttivo e l'esigenza di investire in ricerca e sviluppo – la Germania investe il 3% del PIL, mentre siamo ancora all'1,38% – pur sapendo che senza R&S non c'è sviluppo. A fronte di un numero di iscrizioni del 9,3% negli ultimi anni, dal 2003 il nostro sistema universitario ha perso 40.000 matricole, registrando una contrazione del 13% con punte del 26% proprio nelle regioni del Sud.

Recentemente risulta che solo 3 diciannovenni su 10 si immatricolano all'Università. Al Sud è peggio: ha la più bassa percentuale di laureati 18,9%. In Puglia negli ultimi 5 anni, nonostante le ottime Università, si sono persi 19.000 iscritti e oltre 6.000 giovani, più del 30%, si iscrivono fuori Regione. Servizi agli studenti? Per quasi 100.000 iscritti ci sono soltanto 1.600 posti letto e il resto, mense, mobilità, borse di studio e così via, è ancora più scarso.

Si condividono e si sostengono le riflessioni del Prof. Paolo Prodi, Emerito dell'Università di Bologna e già Rettore a Trento, il quale sul Corriere di Bologna dell'8.4.2012 scriveva:

"*Con il 3+2 e con il sistema dei crediti non produciamo né cultura né preparazione professionale.…L'accettazione passiva da parte dei Rettori italiani della politica universitaria nazionale che si è sviluppata negli ultimi quindici anni in una linea di continuità sostanziale dalla sinistra alla destra, significa a mio giudizio la fine dell'università, non una sua evoluzione: sia nella subordinazione funzionale al potere politico ed economico – nella concezione dell'Università come impresa – sia nella costruzione di un enorme apparato burocratico e di controllo che sotto la maschera delle nuove authorities e dei comitati di valutazione, ANVUR, toglie ogni autonomia e paralizza completamente una più efficace organizzazione didattica adeguata ai territori, insieme allo sviluppo della ricerca nel suo nucleo più intimo e creativo".*

Il Prof. Prodi aggiungeva:

"*Occorre guarire l'Università dalla bulimia che la affligge da alcuni decenni, patologia per la quale tende ad ingoiare al suo interno funzioni per le quali non ha la competenza né gli strumenti adatti: è necessario invece creare strutture parallele di formazione professionale superiore esterne all'università da organizzare in modo consortile insieme alle strutture produttive territoriali, dalle Camere di commercio alle organizzazioni degli imprenditori e dei lavoratori. Credo quindi che si possano e si debbano creare strutture concorrenti per l'istruzione superiore:*

- *una, l'università, caratterizzata dalla simbiosi tra didattica e ricerca per creare lauree qualificate e dottorati di ricerca".* Occorre una preparazione ad altissimo livello in grado di primeggiare nella ricerca, nel management e nella pubblica amministrazione. Ciò che molti studenti vanno a cercare all'estero.
- "*l'altra* [per istituire il titolo intermedio fuori dell'Università] *dedita invece soprattutto alla formazione professionale (scuole tecniche superiori autonome sul modello tedesco ecc.), caratterizzata dalla prevalenza della didattica, dalla frequenza obbligatoria degli studenti e da un forte legame*

con le strutture sociali e produttive locali". Serve infatti una manodopera media, di discreto livello e cultura, con elasticità nell'apprendimento e una discreta capacità di aggiornarsi nel mondo del lavoro che cambia inesorabilmente.

È giusto ricordare che da tempo, indipendentemente dalla scuola secondaria e dall'Università, utilizzando i fondi europei, si è sviluppata la formazione professionale affidata alle Regioni che, con bandi mirati, finanziano numerosi Enti e Centri di formazione, per offrire ai giovani quelle competenze operative, che la scuola non dà, utili per l'inserimento immediato nel lavoro dell'impresa, dell'artigianato, dell'alberghiero, dei servizi, dell'informatica e così via. Purtroppo solo in 14 Regioni su 20 risulta che la formazione professionale sia più utilmente organizzata ed efficace.

Urge prevedere l'inserimento della formazione professionale delle Regioni, nell'ordinamento del sistema nazionale dell'istruzione, perché non può essere trattata, spesso, come il fanalino di coda o per distribuire i fondi avuti dall'UE a Comuni, Centri scuola e Sindacati, senza garantirsi i risultati.

Dovrebbe essere prioritario per il Governo concepire un programma serio, ad esempio, per migliorare, con risorse opportune in tutte le Regioni, la formazione di livello superiore e quindi di finanziare e sostenere quella, avviata con la Legge 144/99, dei corsi *IFTS*, con un anno di specializzazione, e ancor più dei corsi biennali o triennali ITS, gli Istituti Tecnici Superiori, introdotti finalmente con il DPM 25/1/2008, che già oggi soddisfano la diffusa domanda dell'alternanza scuola-lavoro utile all'occupazione. Finalmente si è creato un altro titolo intermedio utile anche a livello europeo. Per fortuna in questi anni vista l'utilità e la richiesta, i pochi corsi ITS dei primi anni si sono moltiplicati. Ci si accorge però che non c'è limite alla irrazionalità di certi progetti ministeriali.

Negli ultimi 20 anni ogni Governo, trascurando le nuove richieste di ricerca e di formazione superiore, ha imposto le sue invenzioni di riforma, sempre a costo zero e genericamente dirette sempre a tutte le Università nonostante i precedenti poco esaltanti esiti e ignorando la diffusa e poco utile laurea junior di tre anni. Infatti recentemente nel 2016-17, alla scadenza del Governo Renzi, la Ministra Stefania Giannini ha voluto imporre un nuovo corso di Laurea professionalizzante di tre anni, un solo Corso sperimentale per Ateneo, uno solo, il cui titolo di studio sarà valutato e certificato fra 3 o 4 anni sulla base di un indicatore di occupazione. E, naturalmente, a costo zero. Il giudizio è impronunciabile.

Conclusioni. Quale Formazione nel futuro?

Occorre riflettere che non basta una buona Scuola né una buona Riforma di programmi se non ci sono i buoni insegnanti preparati e disponibili, proprio ciò che si riscontra nelle Università che dipendono dal livello di qualità dei docenti.

Infatti grazie all'azione intelligente di molti qualificati docenti, l'Università è riuscita a dare alcune buone risposte, per lo meno nella più ricca offerta formativa. Statisticamente quest'anno si contano 4.854 lauree, 2% in più del 2018-19, di cui 2.293 di primo livello, 2.221 di secondo livello e 340 a ciclo unico, tipo Medicina e Architettura, e 298.000 laureati. E avanza pure la contaminazione digitale dei programmi didattici**:** almeno il 26,1% dei laureati dimostra competenze informatiche.

Almeno per Ingegneria è essenziale e indispensabile che si ripristini al più presto la laurea a 5 anni, con didattica innovativa per le tante specializzazioni e si abolisca definitivamente l'ordinamento 3+2, verificata l'inutilità della laurea breve o junior a 3 anni, bocciata dagli Ordini degli ingegneri, che crea disagi organizzativi e sicuramente danni per chi vuol fare seriamente l'ingegnere. Dovrebbero essere potenziati anche i Dottorati di ricerca e moltiplicati i Master per l'aggiornamento e le nuove specializzazioni, per le nuove esigenze produttive.

Dobbiamo tutti renderci conto che in un mondo di grattacieli alti mezzo chilometro, migliaia di satelliti, robot nell'industria e nella medicina, treni a 500 km/h e tante altre innovazioni, serve una preparazione qualificata e multidisciplinare che guardi alla continua evoluzione delle scienze per una figura nuova di ingegnere, idonea nel mercato globale in dinamica evoluzione.

Dove e come potrà essere formato questa figura se non in un Politecnico o in una eccellente Università, ove la ricerca scientifica deve condizionare la didattica e indirizzare a una professione di qualità? Il nuovo benessere civile impone un modo di produrre, integrato spesso in gruppi specialistici e condizionato dai servizi ormai finalizzati.

Abolendo con il 3+2 l'inutile laurea breve, forse è il caso di restituire, con tutti gli effetti giuridici, la completa autonomia alle Università affinché, soltanto ove è possibile e necessario almeno all'Ingegneria, si riprenda l'idea dei Diplomi. Si potrebbe affidare, per esempio, alle piccole Università, come strutture autonome, il compito di formare i Diplomati a tre anni, per adeguarci realmente ai sistemi europei. Su circa 96 Università in Italia almeno il 20% hanno meno di 5-6.000 iscritti e potrebbero sicuramente essere dedicate a formare i Diplomati e non i laureati junior. Ma l'esperienza per le Lauree professionalizzanti non è e non dev'essere compito delle Università.

Qui in Italia, si legge che nei prossimi 5 anni l'industria avrà bisogno di 489 mila tra tecnici, ITS e laureati nelle tante materie scientifiche e nuove tecnologie e non sarà facile crearli su due piedi. Ricordiamo che i sistemi formativi sono zavorrati da un modello pedagogico centrato esclusivamente in aula, trascurando la pratica in azienda. Le trasformazioni della tecnologia hanno accentuato un problema strutturale, preoccupante sicuramente nel futuro.

Si osserva che nell'industria oggi è aumentata la richiesta di competenze digitali e si allarga il divario tra domanda e offerta specie di laureati ICT che nel 2018 era di 12.000 unità, il 58% del fabbisogno. Bisogna raddoppiare i laureati in Informatica e comunque almeno triplicare da 11.000 a 33.000 i diplomati ITS, qualificati e spe-

cializzati per le esigenze produttive locali, sempre troppo pochi contro gli 800.000 tedeschi, i 270.000 inglesi e i 140.000 spagnoli.

Come già detto, se l'Italia vuole rivendicare giustamente di essere un grande Paese deve subito investire per avere grandi scuole e grandi Università. Incombono Cina e India e tra qualche decina di anni anche molte nazioni affollate più evolute dell'Africa.

Ciò che è avvenuto così come la fuga di cervelli, dimostra che la scuola e specialmente l'istruzione superiore, in primis Ingegneria, sono state considerate un costo e non un investimento: ricordate il *costo zero* di tante riforme? Altrettanto vale per la ricerca scientifica, delle Università, dei Politecnici e dei Centri di ricerca, mai sostenuta come risorsa strategica della Nazione. Ma sono anni, molti anni che tutti dicono e scrivono le stesse cose che noi ripetiamo. Secondo gli indicatori OCSE, rispetto all'Italia, le risorse reali destinate alle Università sono in Francia e Spagna maggiori del 71%, in Germania del 100%, in Svezia del 130%.

Tutti concordano, forse solo a parole, sulla verità di un argomento che ormai costituisce un assioma: *Cultura, capitale umano, università: motori dell'economia*. Ma alle idee seguono i fatti? Se capitale umano e Università devono essere *motori*, è necessario renderli funzionali e assicurare a loro adeguate *fonti di energia*. E' qui che l'onda delle belle idee si scontra contro gli scogli della politica finanziaria di ogni Governo, che non è mai riuscito a convincersi che è possibile, mediante Scuole e Università di eccellenza, ottenere un successo insperato e persino il benessere. I vari Governi, senza strategia, guardano altrove. Certamente non al Mezzogiorno e alle sue risorse umane.

Non sappiamo cosa ci riserva il futuro. Un ingegnere però non può dimenticare ciò che diceva Robert Kennedy:

> *"C'è chi guarda le cose come sono e si chiede: perché? Io penso alle cose come potrebbero essere e mi chiedo: perché no?"*.

History of Engineering

International Conference on History of Engineering
Atti del VIII Convegno di Storia dell'Ingegneria

Naples, 2020 December 11th

volume II

Cuzzolin

History of Engineering
Storia dell'Ingegneria

Proceedings of the 4th International Conference
Atti dell'8° Convegno Nazionale

Naples, 2020, December 11th

Volume II

Editors

Salvatore D'Agostino, Francesca Romana d'Ambrosio Alfano

Cuzzolin

First edition: October 2020
Prima edizione: ottobre 2020

© 2020 Cuzzolin S.r.l.
Traversa Pietravalle, 8 - 80131 Napoli
Telefono +39 081 5451143
Fax +39 081 7707340
cuzzolineditore@cuzzolin.it
www.cuzzolineditore.com

ISBN 978-88-86638-87-6

All rights reserved
No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, including recording or photocopying, without permission of the publisher

Tutti i diritti riservati
Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta o trasmessa in alcuna forma o con alcun mezzo, compresa la registrazione o le fotocopie, senza il permesso dell'editore

Editorial Office / Redazione:
Maurizio Cuzzolin

Printing / Stampa: Giannini - Napoli

a *Vito Cardone*
Gennaro Improta

Scientific Committee / Comitato Scientifico

Salvatore D'Agostino (Presidente)
Università di Napoli Federico II
Michele Brigante
Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno
Alfredo Buccaro
Università di Napoli Federico II
Vito Cardone
Università di Salerno
Mario Como
Università di Roma Tor Vergata
Edoardo Cosenza
Università di Napoli Federico II
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano
Università di Salerno
Luciano De Menna
Università di Napoli Federico II
Giulio Fabricatore
Università di Napoli Federico II
Giovanna Greco
Università di Napoli Federico II
Vittorio Marchis
Politecnico di Torino
Giuseppe Marrucci
Università di Napoli Federico II
Luigi Nicolais
Università di Napoli Federico II
Lia Maria Papa
Università di Napoli Federico II
Giuseppe Riccio
Università di Napoli Federico II
Luciano Rosati
Università di Napoli Federico II
Piero Salatino
Università di Napoli Federico II
Bruno Siciliano
Università di Napoli Federico II
Andrea Silvestri
Politecnico di Milano
Giuliana Tocco Sciarelli
Già Soprintendente Archeologica delle Province di Salerno, Avellino e Benevento
Carlo ViggianI
Università di Napoli Federico II
Luigi Vinci
Fondazione Ordine Ingegneri Napoli
Armando Zambrano
Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Organizing Committee / Comitato Organizzatore

Rossella Del Regno
Università di Salerno
Andrea Lizza
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli
Boris Igor Palella
Università di Napoli Federico II
Giovanni Pastore
Università di Napoli Federico II

Scientific and Organizing Secretariat / Segreteria Scientifica e Organizzativa

CIBeC
Centro Interdipartimentale di Ingegneria per i Beni Culturali
Università degli Studi di Napoli Federico II
e-mail: cibec@unina.it
Tel: +39 081 768 2101
Fax: +39 081 768 2106

c/o Facoltà di Ingegneria
Piazzale V. Tecchio, 80
80125 Napoli

Supporting Parties / Enti Sostenitori

CIBeC
Università degli Studi di Napoli Federico II
Consiglio Nazionale degli Ingegneri
Ordine degli Ingegneri - Napoli
Ordine degli Ingegneri - Salerno

Graphic Organization and Layout / Organizzazione Grafica e Impaginazione

Giovanni Pastore

Special thanks to / Speciali ringraziamenti a
Giuseppe Miranda
for the valuable collaboration /
per la preziosa collaborazione

For the images published Publisher remains available to potential beneficiaries

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

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI SALERNO

CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI

Ordine degli Ingegneri della provincia di Napoli

Il Consiglio Nazionale degli Ingegneri e i Consigli degli Ordini degli Ingegneri di Napoli e Salerno partecipano, fin dalla prima edizione, alla organizzazione di questo importante evento di grande interesse scientifico e culturale, giunto alla ottava edizione e che anche quest'anno è "Convegno Internazionale".

Al Comitato Scientifico, al Comitato Organizzatore, ai Relatori, agli Ospiti stranieri e ai partecipanti ai lavori giungano i nostri saluti, anche a nome di tutti i Colleghi che abbiamo l'onore di rappresentare.

Il presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri
ing. Armando Zambrano

Il presidente dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Napoli
prof. ing. Edoardo Cosenza

Il presidente dell'Ordine degli Ingegneri della provincia di Salerno
ing. Michele Brigante

La grave pandemia che ha colpito il mondo ha costretto a rinviare il Convegno AISI, programmato per aprile 2020. Si sperava di poterlo tenere a settembre, ma con il passare delle settimane questa speranza è diventata sempre più flebile fino a scomparire del tutto.

Abbiamo dovuto adeguarci alla realtà, ma AISI non si ferma: come consuetudine, gli Atti saranno inviati agli Autori e resi disponibili sul sito *www.aising.eu* e il tradizionale appuntamento napoletano sarà suddiviso in una serie di appuntamenti da remoto, che inizieranno con la sessione inaugurale e che continueranno con seminari tematici periodici. In attesa di tempi migliori, ma la storia è fatta anche di momenti terribili come questi che stiamo vivendo.

I Curatori

Summary / Sommario

Volume I

Preface/Prefazione
Salvatore D'Agostino *XV*

Ricordi

In ricordo di *Vito Cardone*
Salvatore Barba, Barbara Messina *XIX*

In ricordo di *Gennaro Improta*
Giuseppe Bruno *XXI*

Invited lectures / Relazioni a invito

La sfida dell'energia del futuro: Clean Energy For All. Riflessioni su energia e democrazia
Livio de Santoli 3

20 luglio 1969: il primo uomo sulla Luna. L'evento e le sue ricadute
Mario Calamia, Giorgio Franceschetti, Monica Gherardelli 15

HISTORY AND SCIENCE OF ENGINEERING
STORIA E SCIENZA DELL'INGEGNERIA

La Collaborazione Internazionale in Campo Scientifico: il caso della F.T.C.
Luciano De Menna 31

Pozzuoli: terremoti e fenomeni vulcanici nel lungo periodo. Limiti della definizione attuale di pericolosità
Emanuela Guidoboni 45

Ingegneria strutturale e conservazione del patrimonio architettonico
Salvatore D'Agostino 63

Sostenibilità del vincolo geotecnico nella storia dei monumenti
Ruggiero Jappelli, Valentina Jappelli 77

Duecento anni di chimica nella Scuola d'Ingegneria di Napoli. Parte seconda: Dalla chimica degli "assaggi" alla scienza e tecnologia dei materiali
Carmine Colella 89

Mathew Baker (1530–1613) e la nascita dell'ingegnere navale
Claudia Tacchella 101

Storia del termometro per le misure ambientali: dai termoscopi ai sensori elettronici
Matteo De Vincenzi, Gianni Fasano 113

Le camere anecoiche acustiche: albori e sviluppi
Carmine Ianniello 127

Dagli archivi in rete al museo diffuso dell'ingegneria: il fondo del Genio Civile di Verona e la sua valorizzazione
Angelo Bertolazzi, Luigi Stendardo 137

Tecniche costruttive storiche diffuse nelle Quattro Province: un progetto colto di organizzazione del territorio
Valentina Cinieri, Giacomo A. Turco 147

Storia dell'industria del gas a Napoli
Andrea Lizza 159

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION
EVOLUZIONE SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Le reti di distribuzione di acqua potabile in epoca romana. Fistule ritrovate e quantità d'acqua erogata in due case pompeiane
Maria Carmela Monteleone 173

Antichi testi di Meccanica, nuovi ritrovamenti. La Majmu'a (Raccolta) n° 197 di Tehrān
Giuseppina Ferriello 189

Sir Robert Seppings (1767–1840): l'invenzione nella tecnica e l'arte della costruzione navale
Massimo Corradi 203

Appunti per l'arte del costruire: postille ai quattro libri dell'Architettura di Andrea Palladio
Salvatore D'Agostino 219

L'evoluzione dei sistemi di copertura a grande luce in Italia dal XVII al XIX secolo
Luca Guardigli, Davide Prati 237

"Sketchbook on military art". Un compendio tra cultura tecnica e ibridazione artistica nell'Europa del XVII secolo
Consuelo Gomez Lopez 251

Ingegneria dell'emergenza: ponti portatili "made in Italy" (1876-1945)
Ilaria Giannetti 265

The double-curvature shell of the Musmeci's bridge
Francesco Marmo, Cristoforo Demartino, Davide Pellecchia, Massimo Paradiso, Nicolò Vaiana, Salvatore Sessa, Luciano Rosati 277

Storia della Statica dello Strallo e sua interazione con la costruzione dei ponti strallati in acciaio
Mario Como 287

Rigidezza dello strallo in c.a.p.
Mario Como 299

La sicurezza antincendio negli edifici pregevoli per arte e storia
Anna Natale, Ettore Nardi, Gabriella Valentino 309

Macchine e uomini della refrigerazione
Carmine Casale 319

I nuovi materiali da costruzione prodotti e diffusi in Italia negli anni Trenta
Francesco Spada 333

La costruzione a secco nel dibattito sulle tecniche costruttive in Italia nel secondo dopoguerra. Note sull'attività della rivista "Cantieri" (1946-50)
Laura Greco 345

Some considerations about the role of the historical drawings on the modern design
Carlo E. Rottenbacher, Edoardo Rovida 355

ORIGINS AND TRAINING OF ENGINEERS
ORIGINI E FORMAZIONE DELL'INGEGNERE

Alluvioni, esondazioni, impaludamenti: costruire e coltivare in paesaggi fragili. Alcuni esempi dall'antichità: Paestum e Velia
Giovanna Greco 367

Lagune e agricoltura. Vivere e coltivare in paesaggi fragili: tra Cuma e Metaponto
Giovanna Greco 383

Archimede e il sistema di caricamento della balista da un talento utilizzata nella fortezza dell'Eurialo di Siracusa
Umberto Di Marco, Pier Gabriele Molari 393

Terme di Caracalla, misura e calcolo per la conservazione
Maria Letizia Conforto 409

Le opere di ingegneria nell'antichità. L'esempio dell'Appia
Giuliana Tocco Sciarelli 421

Le scale impiegate nell'arte bellica per superare le mura nemiche: dai Romani al Rinascimento
Pier Gabriele Molari, Rosanna Di Battista 435

Il paesaggio a nord di Neapolis: la necropoli ellenistica e l'acquedotto del Serino. Il racconto con le moderne tecnologie
Federico Capriuoli, Francesco Colussi, Carlo Leggieri 449

Un criterio di classificazione di imbarcazioni di interesse archeologico, storico o etnografico
Luigi Ombrato, Claudio Pensa, Vincenzo Sorrentino, Chiara Zazzaro 463

La carpenteria litica nell'Hawrān siro-giordano
Luigi Marino, Massimo Coli 475

Analogie fra i ceri di Gubbio e alcune antiche macchine belliche, in particolare con quella che produceva il fuoco greco: lume della fede e spirito guerriero
Vincenzo Ambrogi, Pier Gabriele Molari 487

Il 'Codice Tarsia' nella Biblioteca Nazionale di Napoli: metodi e linguaggi per l'architettura e l'ingegneria del Mezzogiorno nel Cinquecento
Alfredo Buccaro 499

Cultura e formazione degli ingegneri. Studi ottocenteschi intorno a Leonardo da Vinci
Elena Gianasso 511

La formazione "ambientalista" dei giovani ingegneri nell'Ottocento borbonico
Giuseppe Foscari 523

L'insegnamento dell'architettura agli ingegneri a Pavia dall'Unità d'Italia alla fine dell'Ottocento
Emanuele Zamperini 531

"Protagoniste invisibili": le donne nell'ingegneria dal XIX secolo a oggi
Francesca Romana d'Ambrosio Alfano, Maria Rosaria Pelizzari, Daniela Pepe 545

Tecniche Sapienti. Una storia al femminile della Facoltà di Ingegneria di Roma Sapienza (1910-1969)
Chiara Belingardi, Claudia Mattogno 559

Università, Ingegneria e quadri tecnici: 60 anni di politica incerta con ritardi e carenze nel Mezzogiorno. Quale formazione nel futuro?
Umberto Ruggiero, Francesco Ruggiero 571

Volume II

WORKS AND PROTAGONIST BETWEEN ANCIENT AND MODERN
LAVORI E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Concrete bridge heritage in Italy: the role of Riccardo Morandi
Enzo Siviero, Michele Culatti, Alberto Zanchettin 589

Sir Nigel Gresley e la leggenda del Flying Scotsman
Andrea Lizza 601

Francesco Del Giudice, ingegnere Direttore della Compagnia dei Pompieri di Napoli nel 1800. Comandante, scienziato, innovatore e docente
Michele Maria La Veglia, Carmine Piccolo 611

L'ingegnere Ernesto Besenzanica e la Ferrovia Adriatico-Sangritana
Caterina Serafini, Vincenzo Di Florio 621

Itinerari digitali tra carte e disegni del patrimonio dell'archivio Porcheddu. Le pratiche delle opere torinesi nel periodo 1894-1927
Giuseppa Novello, Maurizio Marco Bocconcino 633

Gli ingegneri Inverardi nell'edilizia scolastica nel corso del Novecento in Abruzzo
Simonetta Ciranna, Francesca Geminiani, Marco Felli 647

Gli ingegneri e la rappresentazione grafica dei territori nell'Ottocento
Lia Maria Papa 661

Il Castello di Ischia nel disegno dell'ingegnere regio Benvenuto Tortelli. Architettura e ingegneria al servizio delle difese del Regno di Napoli alla fine del Cinquecento
Francesca Capano 671

Da bóveda estrellada a cupola di rotazione. Le peculiarità della grande volta della Sala dei Baroni in Castel Nuovo
Maria Teresa Como 681

Il restauro della Cappella della Sindone di Torino
Gennaro Miccio 691

I "mulini reali" di Caserta. Nuove acquisizioni e strategie di conservazione e riuso
Raffaele Amore, Mariangela Terracciano 705

Lo sviluppo dei bacini idroelettrici in Alta Valtellina (1906-1960)
Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio 719

Protagonisti politecnici di AEM in Alta Valtellina
Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio 733

Gli "edifici baraccati" nel territorio di Cosenza dopo il terremoto del 1905
Valentina Guagliardi 743

Il Magazzino juta e cotone nel Porto di Napoli. Uno dei primi edifici in cemento armato realizzati a Napoli
Giacomo Rasulo, Alessandro Rasulo 755

1905: l'arrivo dell'energia elettrica a Pavia e la centrale realizzata sulla riva del Naviglio Pavese
Francesco Bianchi 767

Tra ingegneria militare e architettura: la sala d'armi di Capua
Maria Gabriella Pezone 777

Recupero e riuso delle tipologie specialistiche dell'architettura italiana del Novecento. Il caso dell'Orfanotrofio Don Minozzi ad Antrodoco
Alessandra Bellicoso, Alessandra Tosone, Federica Tedeschini 791

La gestione delle risorse idriche nelle città di Cusco e Lima in epoca coloniale
Claudio Mazzanti, Adriana Nora Scaletti Cardenas 803

Linee ferrate dismesse. La ferrovia del Vallo di Diano Sicignano degli Alburni-Lagonegro
Federica Ribera, Pasquale Cucco 817

Le case dell'Opera Valorizzazione Sila, patrimonio edilizio storico della Calabria del Novecento
Alessandro Campolongo 829

Gli edifici scolastici a Catania dall'Unità nazionale alla seconda guerra mondiale: schema distributivo, stili architettonici e tecniche costruttive
Domenico Giaccone 843

Per la nuova sede del Politecnico di Torino: studi, progetti, realizzazione (1939-1958)
Margherita Bongiovanni, Marianna Gaetani 855

Variations on the theme of Plattenbau Heavy prefabrication and total industrialisation in the experience of the Göhner housing estates in Switzerland (1966-1979)
Giulia Marino 869

Un'opera di Samu Pecz: la Boiler House dell'Università di Tecnologia ed Economia a Budapest
Federica Ribera, Rossella Del Regno, Flora Arrichiello 881

I grattacieli italiani. La trasposizione di una tipologia
Simona Talenti, Annarita Teodosio 895

Street architecture: l'infrastruttura come spazio della città e del paesaggio
Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta 905

Il Nucleo NBCR dei Vigili del Fuoco: una storia recente
Michele Maria La Veglia 915

Author Index / Indice degli Autori 921

WORKS AND PROTAGONISTS BETWEEN ANCIENT AND MODERN

OPERE E PROTAGONISTI TRA ANTICO E MODERNO

Enzo Siviero, Michele Culatti, Alberto Zanchettin

Concrete Bridge Heritage in Italy: The Role of Riccardo Morandi

Abstract
The realization of concrete bridges in Italy in the last century started with a certain delay in comparison to other European countries such as Germany and France, due to a lack of research and technology in our country. However, the work of important designers such as A. Danusso, E. Miozzi, G. Krall gave a huge impulse to bridge engineering, reducing the gap with leading countries. Most of all, however, the role of Riccardo Morandi was quite exceptional, due to his innovative design criteria and his continuous research regarding concrete behavior. The recent tragedy of the collapse of Polcevera viaduct in Genova is instrumental in discussing the different approaches needed when dealing with important existing bridges and the most appropriate retrofitting techniques.

Introduction

Today's particular interest in environmental protection, combined with durability issues have contributed to a reappraisal of design concepts, building methods of existing structures. Looking into the bridge's history constitutes an appropriate way to govern the scientific and technological progress and to decide how to deal with existing infrastructures which need to be refurbished.

The introduction of concrete as a building material, at the end of the XIX Century, represented a significant step forward in construction history. The potential of this new material, such as the freedom to adopt any structural shape and the capability of withstanding flexural loads was not immediately recognized.

This paper presents a brief history of concrete bridge design in Italy, describing the work of some of the most representative and influential designers in XXth Century. In particular, the paper focuses on the figure of Riccardo Morandi, amongst the greatest designers in Italy, and to the recent collapse of a bridge designed by him in Genova.

The pioneers of experimentation and of the theory of concrete structures

The first theoretical studies and applications of reinforced concrete were made in France and Germany, where François Hennebique (1842-1921) and Emil Mörsch

Fig. 1 – Colombaro Bridge, Hennebique, Turin, 1902.

(1872-1950) respectively were the main actors in the development and success of reinforced concrete. They designed and built elegant and advanced structures and deeply influenced the next generation of designers. Arturo Danusso (1880-1968), manager of the technical office of the Giovanni Antonio Porcheddu Company (1860-1937), was among the first to realize innovative works in structural conception. He was the Italian representative of the 'Hennebique' system and was responsible for spreading the method from 1895 to 1933.

The Astico bridge in Calvene, designed by Danusso in 1907, is composed of a structural arch 34,50m long with a 2m rise. The arch is connected to the deck in the central part and sustains the upper slab with two vertical walls. The structure is light and harmonic and is one of the more interesting lowered arch bridges of that time (Fig. 2).

It was therefore most probably a source of inspiration for the realization, in 1911, of the Risorgimento bridge in Rome by Hennebique (Fig. 3).

For a long time, the Risorgimento bridge, made of a single arch with a particularly slender section, spanning 100 m and with a 10 m rise, has been the longest reinforced concrete bridge with such lowered arch. It was extremely innovative in the technical solutions it adopted as it overcame the limits imposed at the time for the capacity of the materials, considering the fact that the plastic phenomena were not known and only the elastic theory was accepted.

Fig. 2 – Astico Bridge, Danusso, Calvene, 1907.

Fig. 3 – Risorgimento Bridge, Rome, 1911.

Fig. 4 – Scalzi bridge, and provisional formworks, Miozzi, Venice, 1932-34.

The period between the two wars

In the years following the first world war, rapid economic reconstruction and the shortage of raw materials, due to war and autarchy in Italy, led contractors to often favour the use of reinforced concrete instead of steel.

One of the most eminent figures in the reconstruction period was Eugenio Miozzi (1889-1979). Towards the Thirties, Miozzi realized many audacious arch bridges, changing for good the technology of reinforced concrete (Fig. 4).

Other designers such as Miozzi, Danusso, Santarella and Krall, tried to avoid standardization of form and current knowledge was adapted to achieve new innovative results. To make the architectural line aesthetically pleasing, designers didn't hide but emphasized its structure, combining elegance with stability and resistance.

In the period following the First World War it had already become clear that the theory of elasticity was not sufficient to fully describe the behaviour of reinforced concrete.

Eugène Freyssinet (1879-1962) was the first to define the technique of pretension, which required an intuition far beyond the knowledge of his times. In Italy, the first comprehensive study on pretension was performed during the Thirties by Arturo Danusso and Gustavo Colonnetti. The first prestressed concrete bridge was built in Vallesella in 1949, but many others followed, such as the one over the Samoggia river by Giuseppe Rinaldi (1910-1977) and the bridge over Elsa in Canneto, spanning 40 m and designed by Riccardo Morandi (1902-1989) in 1949.

The Institute of Structural Mechanics at the School of Naples, and particularly Adriano Galli and his co-operators, can mainly be credited for the diffusion of prestressed concrete in the southern part of the country.

The Second Afterwar and the reconstruction of Italian infrastructural network

Following the Second World War, opening the country to various progressive innovations proved to be a challenge. The high-paced building activities due to the

Fig. 5 – Storms river bridge, South Africa, 1953.

reconstruction efforts which called for the rebuilding of roads, infrastructures and industrial fittings greatly facilitated the evolution of technology of reinforced concrete. As the use of the pretension system spread in prefabricated construction, its success in the construction world was due to more economic products and greater speed of erection, often favoring the simply supported beam structures.

Riccardo Morandi (1902-1989) was one of the leading figures of modern engineering and of reinforced concrete design, as he experimented vastly with the potential of reinforced concrete. Morandi was a technician of great intuitive ability and great ambition. From 1935 to 1950 he dedicated his research to the obtainment of artificial states of stress in concrete as opposed to the ones due to dead load.

He was also extremely successful as a designer. His first achievements were arch bridges like the Storms River in South Africa of 1953 (Fig. 5 and Fig. 6). In this case it is interesting the erection method: two semi arches were built vertically and then rotated to the final position, employing a technique quite innovative for the time.

Fig. 6 – Storms river bridge during construction, South Africa, 1953.

Fig. 7 – The bridge over the river Arno in Incisa by Silvano Zorzi, 1963.

Fig. 8 – The Fiumarella bridge, Catanzaro, 1958.

In 1962 Morandi realized the Fiumarella viaduct which constitutes one of the last main examples of arch bridges realized in Italy. Also worth noting in this respect are the S. Giuliano bridge of 1958-61attributed to Carlo Cestelli Guidi and the bridges over the Arno river on the motorway "del Sole" at Incisa and Levane of 1962-63 designed by Zorzi (Fig. 7).

The Fiumarella Viaduct in Catanzaro has a span of 231 m, and the arch was realized with the classic system of concrete cast over a big formwork (Fig. 8).

Morandi also designed numerous unconventional cable stayed bridges, thereby contributing to their success, through a continuous efforts in reinterpreting different interpretations of structural themes.

Fig. 9 – Maracaibo lagoon bridge, Venezuela, 1962.

The bridge over the Maracaibo lagoon built in 1957-62, probably constitutes one of the most famous realizations of an Italian engineer abroad (Fig. 9). As one of the first cable stayed bridges realized in the world, it has a single cable per each vertical element and is completely realized in prestressed concrete. The steel cables are also covered in concrete. The entire structure is about 8.650 m long and has 5 central spans of 235 m each. The considerable length of the bridge required a strong capacity of moment absorption by the beams and successively the number of cables has been raised to reduce the stresses both in the deck and in inclined elements.

In the Polcevera viaduct of 1962-67, Morandi tried to obtain the maximum simplification of lines, thereby realizing a structure with strong aesthetic impact (Fig. 10). The structure covers a length of 1300 m, with an average height of 60 m with respect to the valley it overpasses. It gives a strong sense of contrast with the surrounding environment.

The heritage of concrete existing bridges and how to deal with them

On August 14th, 2018, during a strong summer storm, one portion of the Polcevera bridge collapsed. The death toll of the tragedy raised to 43 deaths. Up to now, the causes of structural failure and the elements that caused the collapse are still unknown (Fig. 11 and Fig. 12).

Fig. 10 – Polcevera bridge, Genova, 1962-67.

Fig. 11 – Polcevera bridge. In red the portion that has collapsed.

The reasons that led to the collapse of the bridge are not aim of this paper and still need to be fully clarified.

However, an important public debate has spread across the world of bridge designers, as well as among the civil society in Italy, concerning the future of the infrastructure, and in particular how to rebuild the bridge, and wether or not to maintain the portion of the bridge that was not collapsed.

Some proposals, such as the one in the Fig. 13 designed by Enzo Siviero and his partners, suggested to maintain the existing portion of the bridge with a solution that aesthetically blends with it.

Fig. 12 – One of the most iconic images of Polcevera bridge after collapse, Genova, August 2018.

Fig. 13 – Design proposal for the refurbishment of Polcevera Bridge by Siviero & partners.

The proposal aimed at developing a debate over the possibile refurbishment of the existing structure, as well as the possibility to maintain the existing portions, reducing the amount of debris due to demolition, stress to the infrastructrual system and preserving a ”monument” to Italian engineering history.

The new part is proposed in steel, in order to reduce the time of erection on one side, but also to have a light structure which can cope with the existing foundations. The final decision, however, was to demolish the bridge (Fig. 14), and to propose an entirely new structure.

Fig. 14 – Full demolition of the bridge.

A tender for the design and realization of a new bridge was won by Arch. Renzo Piano as a designer and a group of contractors (Fincantieri, Italferr and Impregilo).

The structure is quite simple but evocative (Fig. 15). The bridge is entirely realised in steel and has 22 spans, with 43 lampposts, a number that matches the number of casualties that happened during the collapse of the bridge.

Works are under way and are scheduled to be completed by Spring 2020.

Conclusions

The realization of concrete bridges in Italy started at the beginning of the XXth Century, thanks to the work of some representative figures in the national technical community such as Arturo Danusso and Miozzi. In this period the revolutionary techniques that were born led to unexpected perspectives in structural engineering.

In a century of great changes and challenges, the success of new theories and methodologies was instrumental in overcoming the previous, traditional building mentality of the XIX Century, and led to the remarkable developments of contemporary Engineering.

Looking back at the work of outstanding bridge designers such as Riccardo Morandi, with their commitment in innovation, give a new perspective for the future of bridge construction and for structural architecture and design in general.

Fig. 15 – The new bridge which will be realized in Genova. Arch. Renzo Piano Design.

A tragedy such as the collapse of the Polcevera viaduct in Genova, which happened in 2018 with an high death toll, should be an occasion for an open discussion on how to deal with existing concrete structure, quite old in the Italian infrastructural network.

The refurbishment of existing bridges should be investigated, and, when the lyfe cycle assessment of restoration works proves to be too high, new structures should be realized.

Dealing with this topic is probably one the most important tasks that bridge engineers will face in the next future in Italy, and in general in all developed countries.

References

AA.VV. 2004. *The world of bridges.*Bologna: Editrice Compositori. Bologna.

Culatti M. 2018. *Bridgescaping. Ponti del paesaggio.* Roma: Aracne Editrice.

Farinati V. (a cura di). 1997. *Eugenio Miozzi, 1889-1979*: *inventario analitico dell'archivio*. Venezia: Istituto Universitario di Architettura.

Lodigiani V. 1991. *Sperimentazione e cantiere*, *R. Morandi*. Roma: Gangemi.

Nelva R., Signorelli B. 1990. *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*. Milano: Edizioni di Scienza e Tecnica.

Siviero E. 1994. *Arch bridge of modern design*. Proceedings of International Bridge Conference, Warsaw

Siviero E., Zampini I 2003. I protagonisti dell'ingegneria strutturale italiana del Novecento. In: *Architettura nelle opere di ingegneria* (a cura di V. Kucera). Rome: Sapere.

Siviero E., Zampini I., Zanchettin A. 2008., Italian concrete bridges of the twentieth century between tradition and innovation. Studi e Ricerche, 27, 281-305.

Andrea Lizza

Sir Nigel Gresley e la leggenda del Flying Scotsman

Abstract
The memory traces the life and works of Sir Nigel Gresley, one of the main pioneers of British railway engineering, this multi-talented Scottish engineer designed the most beautiful steam locomotives of all time and among them a true legend The Flying Scotsman who connected and still connecting London King's Cross and Edinburgh Waverley stations. This legendary train has been providing rail connections between Scotland and the capital of the United Kingdom since 1862, thanks to the work and ingenuity of Sir Nigel Gresley the steam locomotives have substantially improved both in terms of technology, thanks to particular constructive innovations both in terms of aerodynamics and their speed.

Premessa
La memoria ripercorre la vita e le opere di Sir Nigel Gresley uno dei principali pionieri dell'ingegneria ferroviaria britannica, un poliedrico ingegnere scozzese che ha progettato le più belle locomotive a vapore di tutti i tempi e tra queste una vera e propria leggenda, il Flying Scotsman, che collegava le stazioni di London King's Cross ed Edinburgh Waverley e che assicurava i collegamenti ferroviari tra la Scozia e la capitale del Regno Unito sin dal 1862. Grazie all'opera e all'ingegno di Sir Nigel Gresley le locomotive a vapore hanno avuto degli importanti miglioramenti sia in ambito tecnologico, grazie a particolari innovazioni costruttive, sia per quanto concerne l'aerodinamica e la velocità.

Breve storia del trasporto ferroviario in Gran Bretagna
Prima di descrivere la vita e le opere di Sir Nigel Gresley è necessario parlare brevemente del contesto storico in cui questi ha operato e quindi del trasporto ferroviario, che si è sviluppato a partire dagli inizi dell'Ottocento.

Il progetto della prima locomotiva sperimentale a vapore si deve all'ingegnere Richard Trevithick (1771-1833), che realizzò vari motori per il settore dell'industria mineraria e che nel 1804, montando un motore con alimentazione a carbone su un carrello minerario, costruì la Locomotiva Coalbrookdale la cui velocità massima omologata era di 4 km/h.

Successivamente, grazie all'opera dell'ingegnere George Stephenson (1781-1848) si ebbe la nascita e lo sviluppo delle ferrovie nella Gran Bretagna; si deve a questo pioniere dell'ingegneria ferroviaria la realizzazione della prima locomotiva a vapore per il trasporto di passeggeri, la Locomotion n.1, su una linea ferroviaria pubblica, la Stockton e Darlington Railway, realizzata nel 1825. La Locomotion era in grado di raggiungere una velocità di 24 miglia all'ora, corrispondenti a 39 km/h. La realizzazione della linea ferroviaria Liverpool and Manchester Railway, completata nel 1829, vide anche la nascita della Locomotiva Rocket, progettata ancora da George Stephenson e da suo figlio Robert (1803-1859), che diede un contributo non indifferente alla sua costruzione, utilizzando una caldaia a tubi di fumo che consentì di migliorare notevolmente lo scambio termico e quindi le performance tecniche. Nel 1830 George Stephenson firmò un contratto per studiare la realizzazione della tratta per la London & Birmingham Railway, cui collaborò attivamente anche il figlio Robert. Lo scartamento standard utilizzato da Stephenson è ancora utilizzato nella maggior parte delle ferrovie di tutto il mondo.

Nello scenario dell'industria ferroviaria un altro importante protagonista fu l'ingegnere Isambard Kingdom Brunel (1806-1859), personaggio molto influente, autore di opere memorabili in vari campi dell'ingegneria (ponti, gallerie, navi, ferrovie, etc.) era particolarmente apprezzato a corte ed in particolare dalla Regina Vittoria.Nel 1833, Brunel fu nominato ingegnere capo della Great Western Railway, la GWR, una compagnia ferroviaria fondata appunto nel 1833 a Bristol, a opera di alcuni imprenditori, e riconosciuta dal Parlamento nel 1835. Uno dei sogni di Brunel era quello di realizzare un collegamento tra Londra e New York: i viaggiatori potevano acquistare un biglietto alla stazione Paddington di Londra, quartier generale della compagnia e, passando da Bristol, salire sul piroscafo Great Eastern in partenza dal porto di Neyland. nel Galles. Il piroscafo era stato progettato sempre da Brunel, che tra l'altro controllò personalmente anche la realizzazione dell'intera tratta ferroviaria da Londra a Bristol. Brunel fu una figura di spicco dell'ingegneria britannica; in aperto contrasto con le idee di Stephenson, sostenne e dimostrò attraverso dei calcoli che adottando uno scartamento largo si potevano ottenere velocità più elevate, rendendo i viaggi più sicuri e confortevoli per i passeggeri oltre che consentendo il passaggio di carri merci più larghi e quindi con una maggiore capacità di trasporto. Le locomotive inizialmente richieste su indicazione di Brunel furono, a parte la North Star, del tutto insoddisfacenti; Brunel e il giovane ingegnere Daniel Gooch, nominato sovrintendente per il settore locomotive della GWR, decisero quindi di impiantare delle officine per la costruzione delle locomotive e del materiale rotabile presso il villaggio di Swindon, sede dell'attuale Steam Railway Museum, il Museo della Great Western Railway. La conseguenza di tutto ciò fu che a causa della differenza adottata negli scartamenti ferroviari, il materiale rotabile delle linee nella parte occidentale della Gran Bretagna non poteva essere utilizzato nel resto del Paese e che solo dopo la morte di Brunel

fu possibile procedere alla unificazione nelle ferrovie che adottarono lo scartamento standard inizialmente utilizzato da George Stephenson.

Il Governo era molto favorevole allo sviluppo ferroviario nel Paese, sia per migliorare la ripresa economica che per facilitare anche il movimento delle truppe in un periodo di potenziali disordini civili, e quindi, per garantire l'ordine pubblico, era necessario che ogni nuova linea venisse autorizzata da un atto specifico del Parlamento. Gli anni del boom dello sviluppo ferroviario si registrarono nel 1836 e poi nel 1845-1847, quando si ebbe una notevole espansione delle linee. In questo contesto giocò un ruolo molto importante George Hudson (1800-1871), un imprenditore noto anche come The Railway King, il re delle ferrovie, che dal 1842 si interessò alla razionalizzazione del servizio ferroviario introducendo metodologie standardizzate. Negli anni 1840-1850 prevalevano gli interessi commerciali che portarono a una vera e propria frenesia speculativa: le azioni ferroviarie iniziarono ad aumentare sempre di più fino all'inevitabile crollo dei prezzi. Gli interessi commerciali erano quasi sempre di interesse locale e non esisteva un piano nazionale per consentire lo sviluppo logico di una rete ferroviaria.

Nel racconto della storia di Sir Nigel Gresley ha una grande importanza la compagnia ferroviaria britannica, la Great Northern Railway, la GNR, costituita nel 1846 con l'obiettivo di collegare Londra e York, che dopo la chiusura della stazione temporanea di Maiden Lane a partire dal 1852 ebbe il suo quartier generale a Londra King's Cross. I collegamenti anglo - scozzesi sulla East Coast Main Line diventarono commercialmente molto importanti e la GNR, che aveva acquisito molte ferrovie locali, controllava la linea da Londra a Doncaster., Nel 1850 iniziarono a circolare i treni tra Londra e York; il primo treno diretto per Edimburgo partì il 2 settembre 1850, La compagnia nel 1873 era la più redditizia di tutto il sistema ferroviario della Gran Bretagna grazie alla gestione di un intenso servizio di treni espresso, effettuato con le locomotive di Patrick Stirling realizzate nelle Officine di Doncaster. I treni della GNR erano tra i più veloci del mondo. Malgrado ciò, nel 1875 l'aumento delle entrate fu superato dagli investimenti che si erano resi necessari per i sistemi di segnalamento a blocchi e di interblocco, nonché per i miglioramenti alle stazioni e a i binari di raccordo merci. Fortunamente, ben presto la situazione rientrò.

Oltre alla GWR e alla GNR vi erano anche altre importanti società ferroviarie, tra cui la Great Central Railway, la Great Eastern Railway, la Lancashire and Yorkshire Railway, la London and Noth Western Railway, la London and South Railway, la London, Brighton and South Coast Railway, la Midland Railway , la North Eastern Railway e la South Oriental and Chatam Railway (SE &CR). In Scozia invece erano presenti la Caledonian Railway, la Glasgow and South Western Railway, la Great North of Scotland Railway, la Highland Railway e la North British RailwayA seguito del Railways Act del 1921 del governo britannico, le quattro grandi compagnie ferroviarie, dette anche "big four" che gestirono i treni dal 1923 al 1947 in Gran Bretagna

furono la Great Western Railway, la London, Midland and Scottish Railway, la London and North Eastern Railway e la Southern Railway. L'1 gennaio 1948, i big four furono nazionalizzati per dare origine alla British Railways, che in seguito divenne British Rail e che è stata la ferrovia nazionalizzata fino al 1997, anno in cui fu privatizzata.

Sir Nigel Gresley: la vita e le opere

Parlare della figura di Sir Nigel Gresley non è facile. Come riporta (Hugues, 2004), cui questo paragrafo fa riferimento, Gresley è stato indiscutibilmente uno dei più grandi ingegneri ferroviari del Regno Unito e uno dei principali pionieri dell'epopea della trazione a vapore, riuscendo a far conseguire alle locomotive da lui progettate delle velocità davvero incredibili.

Herbert Nigel Gresley nacque a Edimburgo, in Scozia, il 19 giugno 1876, in una importante famiglia del Derbyshire, di antiche tradizioni: il padre era il Rev. Nigel Gresley, rettore di Netherseal. Dopo aver studiato nel Sussex fu allievo del prestigiosissimo Marlborough College, dove mostrò una particolare propensione al disegno e alla progettazione meccanica; all'età di 14 anni disegnò fedelmente una locomotiva a vapore progettata da Patrick Stirling, apportandole importanti modifiche costruttive e mostrando così sin da giovanissimo una particolare inclinazione per la progettazione meccanica e ferroviaria in particolare.

Gresley iniziò giovanissimo il suo apprendistato presso le Crewe Works della London and North Western Railway nella città di Crewe, nel Cheshire, conosciuta per essere uno dei più importanti snodi ferroviari britannici, nonché sede di stabilimenti per la costruzione e manutenzione di locomotive e per la produzione di materiale rotabile. Successivamente fu a Horwich, nella Lancashire and Yorkshire Railway, la L&YR, dove fu allievo di Sir John Aspinall, un importante ingegnere meccanico progettista di locomotive. Nel 1899 conobbe a un ballo la signorina Ethel Frances Fullagar che sposò nel 1901 e che gli diede quattro figli. Dopo diversi incarichi, nel 1902, sempre nella L&YR, fu nominato prima Assistant Work Manager del deposito di Newton Heat e l'anno successivo, a soli 27 anni, Direttore delle Officine. Nel 1904 diventò vice sovrintendente e un anno dopo si trasferì alla Great Northern Railway, la GNR, come sovrintendente, incarico prestigioso ricoperto a 29 anni. Nel 1905 la famiglia Gresley si trasferì a Doncaster, e nel 1911 Nigel fu nominato Ingegnere Meccanico Capo della GNR, succedendo a Henry A. Ivatt, che aveva occupato quella posizione dal 1896.

Durante le vicende belliche della prima guerra mondiale Gresley fu nominato tenente colonnello nel Corpo Ferroviario e in seguito a ciò nel 1920 fu insignito del ruolo di Comandante dell'Ordine dell'Impero Britannico. Nel 1923, con il passaggio della GNR nel raggruppamento che diede origine alla London and North Eastern Railway, il ruolo di Ingegnere Meccanico Capo fu proposto a John G. Robinson che non accettò l'incarico e propose Gresley, che divenne così uno dei più importanti e famosi inge-

gneri ferroviari britannici. Nello stesso anno Gresley si trasferì a Londra nel suo ufficio della stazione di King's Cross. Il primo luglio del 1925, durante i festeggiamenti per il centenario della prima ferrovia accompagnò i duchi di York a visitare la mostra allestita a Darlington per l'occasione, illustrando alla coppia reale il funzionamento di un tornio di George Stephenson, come raccontato nei cinegiornali dell'epoca.

La vita privata di Nigel Gresley fu molto tranquilla, era una persona molto affabile e disponibile con tutti, fumava con passione e piacere la pipa, era sempre pronto alla battuta e soprattutto era sempre disponibile nell'ascoltare gli altri. Sul lavoro era molto paziente e non esitava a essere sempre preciso nel dare spiegazioni circa le cose da realizzare. Sin dai tempi di Doncaster trascorreva sempre le vacanze con la famiglia in Scozia, amava andare a caccia, a pesca, fare escursioni e soprattutto giocare a tennis e a golf, passione che condivideva in Scozia con degli amici con cui si concedeva una settimana all'anno a North Berwick. Nel 1929 la Signora Gresley dovette subire una grave operazione a seguito della quale il chirurgo Sir Maurice Cassidy informò Gresley che non c'era speranza di guarigione; la tensione generata dagli eventi dovuti alla malattia e alla dipartita della moglie, in agosto, lo invecchiarono considerevolmente. Durante gli anni trenta del secolo scorso, Sir Nigel visse a Salisbury Hall, vicino a St. Albans, nello Hertfordshire e iniziò a sviluppare interesse nell'allevare uccelli selvatici e anatre, in un fossato adiacente alla sua abitazione, con particolare attenzione per il germano reale. Nel 1936 fu nominato cavaliere da Re Edoardo VIII, a seguito dei riconoscimenti dei suoi servizi e nello stesso anno ricevette il titolo di Dottore in Scienze dall'Università di Manchester e divenne anche Presidente della prestigiosissima Institution of Mechanical Engineer. L'anno seguente, in occasione della costruzione della centesima locomotiva della Classe Pacifico, costruita su suo progetto, i direttori della London and North Eastern Railway, la LNER, decisero che questa portasse il suo nome. La cerimonia si svolse il 26 novembre 1937, presso la stazione di Marylebone, alla presenza del Presidente della compagnia, William Whitelaw, che a fine cerimonia regalò a Sir Nigel anche un piccolo modello in scala della locomotiva appena inaugurata, realizzato in argento.

Già nel 1935, il suo medico Sir Maurice Cassidy, gli disse di ridurre drasticamente i ritmi di lavoro per non affaticare il cuore che iniziava ad avere dei seri problemi; agli inizi del 1941 lo avvertì nuovamente, intimandogli di non lavorare eccessivamente e di ridurre il lavoro a quattro giorni settimanali. Sir Nigel gli rispose che non era possibile rallentare il lavoro in un periodo di guerra, durante il quale tutti gli altri stavano lavorando e dando il meglio di se stessi. Sir Nigel Gresley morì di infarto il 5 aprile del 1941, a Watton-at-Stone, nella contea dello Hertfordshire, a soli 64 anni.

La progettazione e la costruzione delle locomotive

Sir Nigel Gresley introdusse una serie di miglioramenti nella trazione a vapore, anzitutto con le valvole coniugate di Gresley, che migliorarono notevolmente i rendi-

menti delle locomotive grazie a un ingegnoso sistema di distribuzione del vapore, ma anche attraverso notevoli miglioramenti delle caldaie utilizzate, con superfici di scambio maggiori e con materiali innovativi messi a disposizione dall'industria meccanica e metallurgica. L'esigenza di collegamenti sempre più veloci fu soddisfatta con la progettazione di nuove e veloci locomotive. Per rendere minime, se non addirittura nulle, le soste nelle lunghe percorrenze, soprattutto per il cambio del personale addetto alla guida che era costituito in genere dal macchinista e da un fuochista, Gresley progettò un particolare tender. ovvero il vagone dove veniva stivato il carbone e accumulata l'acqua necessaria al funzionamento della caldaia, con un corridoio di passaggio che consentiva l'accesso nel primo scompartimento del treno dove il personale di servizio poteva trattenersi e rilevare a fine turno quello in servizio, garantendo così un funzionamento continuo del treno. Tra il 1911 e il 1922 progettò e realizzò ben 11 locomotive diverse per la Great Northern Railway; altre 16 locomotive diverse, di cui l'ultima di tipo elettrico, progettò tra il 1925 e il 1941 per conto della London and North Eastern Railway.

Le Officine di Doncaster

La costruzione delle locomotive dapprima della GNR e successivamente della LNER ha avuto luogo in questa città inglese sin dai primordi dell'epopea ferroviaria dell'Ottocento in Gran Bretagna. Tra i direttori delle Doncaster Works prima di Gresley appaiono le figure di Patrick Stirling, figlio di Robert Stirling inventore dell'omonimo motore, e dell'ingegnere Henry Alfred Ivatt, predecessore e maestro di Gresley. Queste officine, dove venivano prodotte sia le locomotive che il materiale rotabile e venivano eseguite le manutenzioni e le riparazioni del materiale rotabile in esercizio, erano e sono tutt'ora adiacenti alla stazione di Doncaster, che costituisce ancora oggi un importante passante ferroviario britannico. I capannoni sono attualmente utilizzati da una multinazionale ferroviaria che si interessa di costruzione, manutenzione e riparazione di materiale rotabile. Queste officine e il loro indotto hanno da sempre costituito una importante risorsa in termini occupazionali. Da queste officine sono uscite le più belle locomotive a vapore di tutti i tempi, degli autentici capolavori dell'ingegneria meccanica.

Le locomotive Flying Scotsman, Mallard e Sir Nigel Gresley: i record di velocità

Le locomotive prodotte dalle Officine di Doncaster sono state innumerevoli, grazie alla fervida e attenta opera progettuale di Sir Nigel Gresley che curava e sorvegliava con attenzione anche tutte le fasi realizzative dei suoi capolavori. Una delle locomotive più famose del mondo è indubbiamente la Flying Scotsman, appartenente alla Classe Pacifico, costruita nel 1923 per la LNER dalle Doncaster Works. La locomotiva 4472, fortemente innovativa nel suo genere, nella sua inconfondibile livrea verde, fu presentata con grande successo all'esposizione dell'Impero Britannico nel

1924 e successivamente fu utilizzata lungo le linee della East Coast collegando con regolarità Edimburgo e Londra. La locomotiva detiene ben due record mondiali per la trazione a vapore: il primo è quello di essere stata la prima locomotiva a essere ufficialmente arrivata a raggiungere 100 miglia/h, 160 km/h, il 30 novembre 1934; il secondo fu raggiunto l'8 agosto del 1989, durante un tour in Australia, quando percorse continuativamente ben 422 miglia, corrispondenti a 679 km. La locomotiva fu ritirata dal servizio regolare nel 1963, dopo aver coperto oltre 2,08 milioni di miglia, diventando una vera e propria leggenda di cui parleremo più avanti e della quale fa parte il record stabilito nel 1989.

La Mallard è una importante locomotiva a vapore appartenente sempre alla Classe Pacifico A4, nota anche come Germano Reale, che rappresenta un'altra indiscussa icona dell'ingegneria ferroviaria. Considerata un vero e proprio monumento nazionale non solo dai britannici ma da tutti gli appassionati e dagli specialisti del settore della trazione a vapore, la locomotiva n. 4468 Mallard fu così denominata da Nigel Gresley per le sue particolari forme aerodinamiche ispirate al Germano Reale, animale che insieme alle anatre selvatiche era allevato nella sua tenuta dello Hertfordshire. La Mallard, la cui costruzione iniziò nel 1936, il 3 luglio 1938 stabilì il record assoluto di velocità raggiunta da una locomotiva a vapore, record ancora oggi imbattuto: 126 mph, 202 km/h. Questa locomotiva restò in servizio regolare fino al 1963 percorrendo nella sua vita operativa oltre 2.400.000 km, con la sua elegante livrea blu giarrettiera, dello stesso colore del nastro dell'Ordine della Giarrettiera.

Altra celebre locomotiva, sempre della Classe Pacifico A4 è la Sir Nigel Gresley, che come detto fu così denominata in omaggio al suo progettista , iniziò a operare regolarmente il 30 ottobre 1937 nella sua elegante livrea blu e fu ritirata dal servizio il primo febbraio 1966. La Sir Nigel Gresley era dotata di particolari innovativi accorgimenti costruttivi sia per quanto concerne il camino che la caldaia, ed è detentrice del record di velocità della trazione a vapore nel dopoguerra, conseguito il 23 maggio 1959, con 112 miglia/h, 180 km/h, raggiunte con un treno pieno di passeggeri, a differenza del record della Mallard, riferito alla velocità della sola locomotiva.

Il National Railway Museum e lo Swindon Steam Railway Museum

La conservazione della memoria ferroviaria del passato e in particolare della LNER è affidata al National Railway Museum di York, un bellissimo museo adiacente alla stazione ferroviaria della città, in cui sono conservati gli esemplari restaurati delle locomotive appena descritte e che rappresenta un vero punto di riferimento per i cultori e gli appassionati del settore ferroviario. L'opera di Sir Nigel Gresley è ampiamente documentata, in particolare la storia del Flying Scotsman viene presentata in modo molto dettagliato ed è possibile ammirare i grafici di progetto originali della locomotiva, firmati dall'autore, per non parlare della Mallard che colpisce per la sua caratteristica forma e per le sue straordinarie performance raggiunte. Nel corso

dell'anno si svolgono innumerevoli manifestazioni che attirano un folto pubblico di esperti e di curiosi. Nel museo è anche ripercorsa la storia delle ferrovie britanniche, a partire dalla locomotiva Rocket di George Stephenson fino ai modernissimi e ultraveloci treni giapponesi a levitazione magnetica.

La conservazione della memoria storica della Great Western Railway, altra importante compagnia ferroviaria della costa occidentale, è affidata a un altro museo particolare: lo Steam Railway Museum di Swindon, ospitato in un edificio ferroviario opportunamente restaurato e adattato, che faceva parte delle vecchie Officine di Swindon (Swindon Works) dove la compagnia costruiva locomotrici e materiale rotabile.

La Gresley Society Trust e le targhe commemorative

La memoria di Sir Nigel Gresley è tramandata ai posteri mediante una serie di iniziative che ne ricordano la vita e le opere, soprattutto attraverso la Gresley Society Trust, che si occupa di diffondere le invenzioni e le innovazioni di Gresley mediante conferenze e cicli di seminari in materia di ingegneria ferroviaria. La società si è fatta promotrice della installazione di diversi monumenti a ricordo di questo grande ingegnere. Nel 1992 fu collocata una targa nel pavimento della Great Hall presso il National Railway Museum di York nel punto esatto dove una locomotiva Gresley A4 Classe Pacifico, la Sir Ralph Wedgwood, il 29 aprile 1942 fu distrutta da una incursione aerea. La targa fu svelata da Sir Martin Wedgwood, nipote di Sir Ralph. Nel 1998 fu installato un grande cartello nel punto in cui, il 3 luglio 1938 la Mallard conseguì il record mondiale di velocità per la trazione a vapore, di cui si è detto. Il 3 luglio 2001 fu svelata una bella targa nella Waverley Station di Edinburgh, in ricordo della vita e del lavoro di Sir Nigel Gresley nato in quella città; alla cerimonia partecipò Tony Roche, Presidente dell'Istituto degli Ingegneri Meccanici, la stessa carica di questa prestigiosa istituzione che fu ricoperta nel 1936 da Gresley. In occasione del 75° anniversario della morte di Gresley, il 5 aprile 2017, nella stazione ferroviaria di London Kings Cross, in un punto adiacente agli uffici dove l'ingegnere aveva lavorato, Sir Peter Hendy, Presidente di Network Rail, innanzi a una folla entusiasta inaugurò una statua che raffigura Gresley, opera di Hazel Reeves.

Nel giugno 2017 fu infine installata una targa commemorativa sulla facciata dell'edificio in cui Gresley era nato in Dublin Street 32, a Edinburgh nella New Town.

La leggenda del Flyng Scotsman

Con il nome di Flying Scotland si può intendere non solo la locomotiva progettata da Sir Nigel Gresley, ma anche un collegamento ferroviario tra London Kings Cross ed Edinburgh Waverley già in essere, a partire dal 1862, prima a cura della GNR e successivamente dal 1923 dalla LNER, , sul quale la locomotiva progettata da Gresley contribuì ulteriormente a ridurre i tempi di percorrenza grazie anche all'utilizzo del tender di cui si è detto. Questo collegamento ferroviario dal 1923 al 1927 pre-

vedeva una sola fermata a Newcastle, che dal 1928 fu soppressa e non ci fu alcuna interruzione tra le due città Dopo il 1963, quando la leggendaria locomotiva Flying Scotsman fu ritirata dal servizio, il collegamento Londra – Edimburgo fu mantenuto dapprima con treni Diesel e successivamente con treni elettrici.

Nel corso del tempo, la locomotiva4472 titolare del record di velocità nel 1934 fu ulteriormente migliorata; in particolare le vecchie locomotive A1 furono ricostruite in classe A3 e la versione modificata uscì dalle Doncaster Works il 4 gennaio 1947 con la caldaia che presentava la lunga cupola che porta ancora oggi. A seguito della nuova numerazione introdotta dalla LNER, la locomotiva dapprima diventò 502 nel 1946 e poi 103. Con la nazionalizzazione delle ferrovie, avvenuta come detto l'1 gennaio 1948, i numeri delle locomotive LNER furono aumentati di 60000 e quindi la 103 diventò cosi 60103 nel dicembre del 1948. A partire dal suo ritiro nel 1963, il Flying Scotsman fu venduto e iniziò a godere di notevole fama sotto la proprietà rispettivamente di Alan Pegler, William Mc Alpine, Tony Marchington e infine del National Railway Museum. La locomotiva viaggiò molto negli Stati Uniti e nel Canada dal 1969 al 1973 e successivamente in Australia dal 1988 al 1989. Nel 2004 il Flying Scotsman fu acquistato dal National Railway Musem di York, che ne ha curato la sistematica revisione dal 2006 al 2016 rendendolo di nuovo perfettamente funzionante e disponibile alla vista dei visitatori in una sezione appositamente predisposta, che ne racconta la storia esponendo anche cimeli e oggetti vari a esso appartenuti.

Il collegamento Flyng Scotsman

Il Flying Scotsman è stato da sempre il collegamento ferroviario con la velocità commerciale più alta nel Regno Unito, basti pensare che il tempo di percorrenza tra Londra ed Edimburgo era nel 1901 di 8 ore e 15 minuti, nel 1927 di 8 ore e 8 minuti e nel 1937 di 7 ore. Le particolari unità della British Rail Class 800 vengono attualmente utilizzate tra Londra ed Edimburgo, in particolare la LNER ha introdotto i suoi convogli AZUMA, parola che in giapponese significa Est, di classe 800, realizzati dalla Hitachi, sulle rotte anglo-scozzesi. Si tratta di velocissimi treni ultramoderni, entrati in servizio dall'1 agosto 2019, che coprono la distanza tra Londra ed Edinburgh in appena 4 ore, con solo una breve fermata a Newcastle. In ogni giorno feriale il collegamento Flyng Scotsman parte alle 05.40 del mattino da Edinburgh Waverley per arrivare alle 09.40 precise a London Kings Cross e quindi riparte alle 17.30 per Edinburgh.

Conclusioni

Ripercorrere la storia di Sir Nigel Gresley, che ha scritto una delle più belle pagine dell'ingegneria ferroviaria britannica, di cui è stato pioniere e innovatore nei campi della trazione a vapore serve a ricordare la straordinaria opera di progettazione da lui svolta, fatta di tenacia, caparbietà ed estrema competenza, che rappresenta ancora oggi un monito e un incoraggiamento per le future generazioni di ingegneri.

Il suo nome è indissolubilmente legato al Flying Scotsman, una leggenda nella leggenda, essendo indiscutibilmente oltre che la locomotiva, anche il treno più famoso del mondo, una icona di stile, eleganza, velocità e glamour ancora oggi apprezzata nel mondo.

Bibliografia generale di riferimento

Questo contributo è il racconto di una storia ricostruita attraverso la lettura dei seguenti testi:
Atkins P. 2016. *The Flying Scotsman Manual*. National Railway Museum.
Baldwin J.S. 2017. *The Flying Scotsman Story*. The History Press.
Gwinne B. 2010. *The Flying Scotsman*. Shire Pubblications.
Hughes G. 2004. *Sir Nigel Gresley*. The Oakwood Press.
Hughes G. 2017. *Flying Scotsman*.The Amadeus Press.
Lizza A. 2016. La storia del Forth Bridge, un capolavoro dell'ingegneria vittoriana. Atti del VI Convegno di Storia dell'Ingegneria – 2nd International Conference (a cura di S. D'Agostino), Napoli, 19-20 maggio, II, 689-698. Napoli: Cuzzolin.
LNER.2019. *Timetable*. LNER Edition.
McLean A. 2016. *The Flying Scotsman*.National Railway Museum.

Michele Maria La Veglia, Carmine Piccolo

Francesco Del Giudice, ingegnere Direttore della Compagnia dei Pompieri di Napoli nel 1800 Comandante, scienziato, innovatore e docente

Abstract

Francesco Del Giudice was commander of the firemen of Naples for over 40 years from 1838 to 1880. Del Giudice transformed excellent soldiers into technicians of high professional level. He introduced engineering innovations in the field of fire safety in Italy and disseminated the concept of fire prevention. He set up fire monitoring in the workplace and in public entertainment areas and also addressed the most critical issues of organizing emergency services, from selection criteria to training programs and continuous training of operational staff. Del Giudice's commitment and professionalism were appreciated in the Kingdom of the Two Sicilies and also in the Kingdom of Italy, afer Italy's unification.

Cenni biografici

Francesco Del Giudice, il cui busto è riportato in Figura 1, nacque a Capua il 27 maggio 1815, dal generale Raffaello Del Giudice, ministro della guerra del Regno delle Due Sicilie nel 1848, e da Caterina Marsich, zia dei famosi fratelli Bandiera. Avviato sotto la guida paterna agli studi di ingegneria, nel 1832 superò il concorso di ammissione alla Scuola di Applicazione di Ponti e Strade. Nel frattempo, conseguì il brevetto di Alfiere del Genio Militare presso la scuola militare della Nunziatella.

Nel 1834, con il grado di tenente fu assegnato alla nuova Compagnia degli Artefici Pompieri di Napoli, rifondata con Regio Decreto da Ferdinando II Borbone delle due Sicilie il 3 novembre del 1833. Infatti, il Corpo dei Pompieri di Napoli, primo dell'Italia preunitaria, era stato fondato dal re Giuseppe Napoleone il 22 febbraio 1806 come mostrato in Figura 2. Conseguita la laurea in Ingegneria civile nel 1836, nel 1838 fu elevato al ruolo di ingegnere aiutante dell'allora Direttore ingegnere della Compagnia. Nel 1839, divenne ingegnere direttore ad interim, carica mantenuta fino al 19 febbraio del 1851, quando diventò Direttore ingegnere dei Pompieri di Napoli, ruolo che mantenne fino al 1880.

Del Giudice è l'unico caso di figura pubblica del Regno delle Due Sicilie che mantenne la sua carica anche dopo l'Unità d'Italia, dal momento che il Regno Sabaudo gli

confermò l'incarico di Comandante dei Pompieri, oltre a conferirgli quello di Preside del Primo Istituto Professionale della storia napoletana.

Considerato nel campo ingegneristico uno dei maggiori geni del suo tempo, vide pubblicare la sua biografia assieme a quelle degli altri scienziati che si ritrovarono a Napoli nel 1845 in occasione della settima riunione degli scienziati italiani con il patrocinio del re Ferdinando II di Borbone.

Fig. 1 – Francesco Del Giudice: busto in bronzo presso la sede storica del Corpo dei Vigili del Fuoco di Napoli in via del Sole.

Innovazioni ingegneristiche nel campo della sicurezza antincendio

Le innovazioni introdotte da Francesco Del Giudice in quarant'anni di carriera sono talmente tante in termini numerici e di importanza che è quasi difficile credere che siano opera di un'unica persona. Siamo davanti davvero ad un Genio, quello che alcuni hanno definito il Leonardo da Vinci dei Vigili del Fuoco e non solo italiani.

Fino al 1830 le pompe idrauliche servivano essenzialmente a sollevare acqua in grande quantità, ma con una prevalenza non elevata. Francesco Del Giudice modificò la pompa idraulica, in uso dai tempi dell'Impero Romano per svuotare i canali di bonifica, in pompa antincendio, mostrata in Figura 3; applicando sostanziali innovazioni alla valvola e al corpo pompa, così da rendere il macchinario leggero e quindi trasportabile sul luogo di un incendio, e da consentire il lancio dell'acqua ad altezze elevate. La descrizione della pompa, con i disegni costruttivi della particolare valvola da lui chiamata "embolo", si trova nei suoi libri pubblicati tra il 1848 ed il 1853. Del Giudice non brevettò le innovazioni suddette, rimanendone però orgoglioso ideatore, al punto che inviò generosamente copia dei suoi testi a tutti i direttori dei Pompieri degli Stati Italiani ed europei. Nell'archivio dell'Ufficio Memoria e Patrimonio Storico dei Vigili del Fuoco della Campania è stata ritrovata anche la lettera con cui egli inviava al Sultano di Costantinopoli copia

Fig. 2 – Decreto di fondazione a firma di Giuseppe Napoleone, Re di Napoli, del primo corpo dei Pompieri nell'Italia preunitaria (dall'Archivio Storico dei Vigili del Fuoco presso la Direzione Regionale per la Campania.

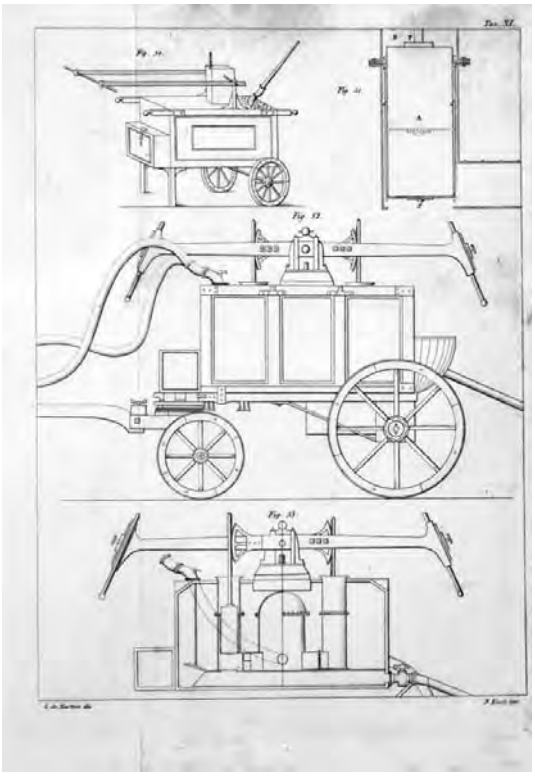


Fig. 3 – Disegno della pompa antincendio su ruote (da Del Giudice, 1854).

del suo libro "Universalità dei mezzi di previdenza, difesa e salvezza per le calamità degli incendi", pubblicato a Bologna nel 1848.

Un altro esempio illuminante è legato agli interventi delle organizzazioni antincendio, come i pompieri in Italia, che nella storia, in occasione delle chiamate per incendio, avevano avuto sempre successo. Francesco Del Giudice introduce per la prima volta in uno Stato preunitario la vigilanza antincendio preventiva con il suo "Regolamento da applicare nei teatri cittadini della capitale del Regno", conservato presso l'Archivio dei Vigili del Fuoco di Napoli, nel quale sono previste le regole di impiego di pompieri professionisti. Infatti, pensò a una squadra dedicata a quel servizio, ma con personale in orario straordinario, con il "*corrispettivo a carico dell'impresario"*. In Figura 4 è riportata una foto d'epoca che ritrae una esercitazione.

Del Giudice istituì anche la prima squadra di addetti antincendio nei termini moderni della sicurezza sul lavoro, anticipando i contenuti del D.M. 10.03.1998 (MIT, 1998) e del D.Lgs.81/2008 (MIL, 2008). Egli pensò, in accordo con il Direttore del Real Museo Borbonico, l'attuale Museo Archeologico Nazionale, anche alla tutela

Fig. 4 – Napoli, 1867 "Esercizi dei Pompieri al Quartiere della Pietrasanta". Foto di autore anonimo (dall'Archivio Storico dei Vigili del Fuoco presso la Direzione Regionale per la Campania).

dei reperti archeologici di Pompei e di Ercolano, un patrimonio di interesse storico e artistico unico al mondo e in via di scavo proprio in quegli anni a cura dei Reali Borbonici da Carlo III in poi. L'ingegnere Del Giudice previde con incredibile lungimiranza una squadra di pompieri che facesse la vigilanza antincendio durante e subito dopo la giornata di lavoro nel restauro nella Reale Officina dei Papiri Ercolanensi. In pratica se i papiri di Ercolano sono giunti fino ai nostri giorni è anche merito dei Pompieri di Napoli. La cosa costituisce ancora una volta un primato della città partenopea, all'avanguardia in molti campi nella prima metà dell'Ottocento: si può ben dire che il Decreto Legislativo 626 è stato inventato a Napoli, ma 150 anni prima della promulgazione sul territorio nazionale.

Nella prima metà dell'800 Del Giudice progettò una rete di bocche da incendio in tutta la Capitale partenopea, con prese d'acqua e piccoli serbatoi previsti lì dove non c'era la pressione adatta per riempire le botti da incendio da trasportarsi su ruote, dotando così la città di una capillare rete di idranti antincendio (La Veglia, 2018). Nel 1872 egli brevettò anche gli avvisatori elettrici di incendio, per una rapida segnalazione dal luogo dell'incendio al posto fisso dei Pompieri.

Innovazioni nelle attrezzature di soccorso e nell'organizzazione di un corpo di Pompieri

Dai documenti elaborati da Del Giudice e disponibili presso l'Archivio Storico dei Vigili del Fuoco presso la Direzione Regionale per la Campania, emerge un talento innato distintivo per la creatività e l'intelligenza, con una conoscenza approfondita di temi tecnico-scientifici e letterari, uniti alla tenacia, alla perseveranza e alla mo-

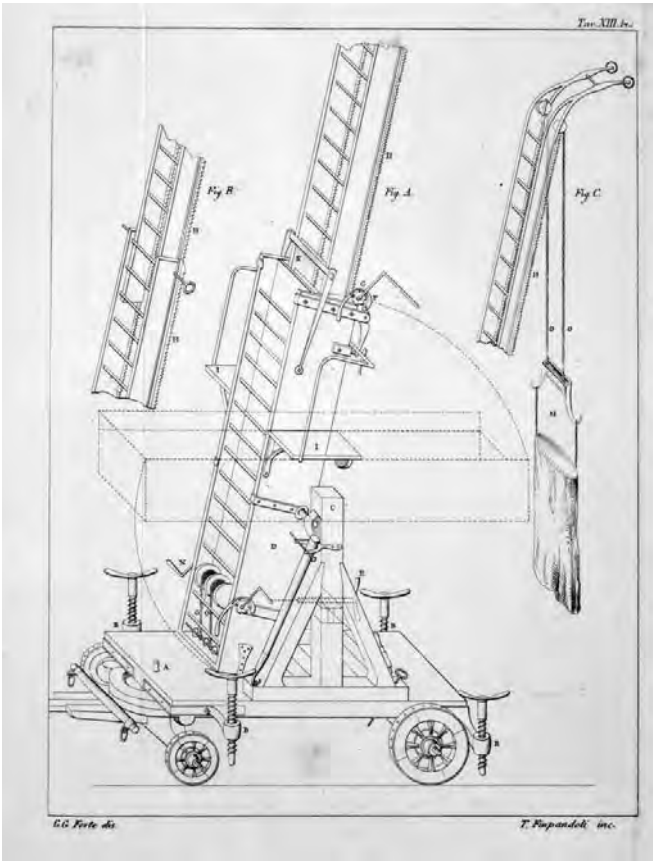


Fig. 5 – Disegno della scala aerea per i pompieri (da Del Giudice, 1854).

tivazione, tutti elementi che gli hanno consentito di perseguire obiettivi apparentemente impossibili: oltre ad aver inventato nuove pompe antincendio, egli:

- ha disegnato ponti mobili orizzontali e scale aeree su supporto fisso e su ruote, mostrate in Figura 5.
- ha redatto un programma di addestramenti ginnici con esercizi mirati per i pompieri che debbano compiere atti di arrampicata, discesa e trasporto di persone in spalla; il programma è riportato nel Manuale pratico per gli incendi;
- ha anticipato, con i disegni riportati nei suoi libri, l'impiego professionale dei primi autorespiratori e dei teli di salvataggio, delle linee aeree per trasporto lettiga e sacchi pompiere che anticipano le attuali tecniche SAF (Speleo Alpino Fluviali) dei Vigili del Fuoco.

Le opere pubblicate e gli altri incarichi

Nell'arco della sua vita professionale oltre a pubblicare numerosi scritti nel campo dell'antincendio, Del Giudice fu molto attivo come docente, facendosi portatore di innovazioni anche nel campo della formazione.

Nel 1861, assunse anche la carica di capo del nuovo Dicastero di Agricoltura, Industria e Commercio.

Interessato ai temi dell'educazione dei giovani, promosse la fondazione delle scuole professionali del Regno d'Italia e gettò le basi per la loro istituzione. In particolare:

- nel 1861 suggerì al Ministero la creazione di istituti agrari, quattro nelle principali regioni delle province napoletane, e uno superiore centrale nei dintorni di Napoli;
- nel 1863 ebbe l'incarico di preside dell'Istituto Tecnico Giovan Battista della Porta di Napoli;
- nel 1865 sposò l'idea di fondare a Portici una Scuola superiore di Agricoltura per la prima volta avanzata da Carlo Olshen, naturalista e studioso di agronomia;
- dal 1866 al 1878 fu direttore delle scuole tecniche napoletane.

Come presidente in carica del Comizio Agrario di Napoli, del quale aveva favorito la istituzione, ha dato il fattivo contributo nella fondazione e nell'amministrazione della Scuola superiore di Agricoltura (Di Vaio, 2013).

Personalità dai poliedrici interessi: scienziato, inventore, autore di manuali e documenti e professore, è stato:

- socio corrispondente dell'Accademia di Belle Arti della Società Reale Borbonica;
- socio del Reale Istituto d'Incoraggiamento per le Scienze Naturali;
- socio corrispondenti della Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna;
- presidente onorario della Società Antropologica di Liverpool, in Inghilterra.

Lavoratore instancabile, con pari impegno, mantenne fino alla fine le cariche di direttore dei pompieri, segretario del Reale Istituto di Incoraggiamento (Di Vaio, 2013) e preside dell'Istituto Tecnico.

La Galleria Storica dei Vigili del Fuoco della Campania.

Molte delle intuizioni di Del Giudice, anche a distanza di quasi due secoli, sono ancora attuali. A lui sono dedicate una strada nel centro Antico (Figura 6), perpendicolare al Decumano Centrale della Neapolis greco-romana, oggi via dei Tribunali, e una statua in bronzo nella Villa Comunale, all'epoca Real Passeggio, sul Lungomare di Napoli.

Ovviamente prende il suo nome la più importante sede dei Vigili del Fuoco italiani, in quanto è quella che ininterrottamente, caso unico in Europa, ha ospitato i pompieri dal 1833 fino ai giorni nostri, qui mostrata in Figura 7.

Fig. 6 – Il primo ingresso alla Caserma, situato sul vicolo della Pietrasanta, l'attuale via Francesco Del Giudice) e tale rimase fino ai primi anni del 1900 (dall'archivio Clemente Esposito).

Interessato da importanti lavori di restauro strutturale e architettonico l'edificio, ex convento della Pietrasanta del 1300, ospita oggi la Direzione Regionale dei Vigili del Fuoco della Campania e il distaccamento operativo del Centro Storico del Comando di Napoli.

Nel 2013 il direttore Regionale dell'epoca, ing. Guido Parisi, istituì l'Ufficio Regionale per la Memoria e il Patrimonio Storico, diretto da uno degli autori di questo articolo, con l'obbiettivo di recuperare i faldoni dei rapporti di intervento da digitalizzare affinché potessero essere facilmente consultati insieme ai documenti di Del Giudice.

Fig. 7 – Due immagini del Cortile della caserma "Francesco Del Giudice", in via del Sole a Napoli.

Fig. 8 – La Galleria Storica dei Vigili del Fuoco della Campania.

La ristrutturazione di alcuni ambienti, tra cui la Cappella, è stata progettata e realizzata in maniera da ospitare la Galleria Storica dei Vigili del fuoco. Al termine dei lavori di restauro, al secondo piano dell'edifico è stata inaugurata nel 2017 la Galleria Storica, in Figura 8, in cui sono conservati i cimeli, i reperti e le testimonianze documentali dei primi pompieri. La sezione delle origini è ospitata in una grande sala, in cui sono conservati l'altare marmoreo e oggetti del XIX secolo. A cornice, ci sono sei tele di grande pregio: sull'altare, l'Incoronazione della Vergine di ignoto di inizio XVII secolo, e sulle pareti la Natività di Giacinto Diano, del XVIII sec, una magnifica tela di dimensioni importanti che raffigura Santa Barbara condotta al martirio, di ignoto del XIX secolo e altre tre tele del XVIII e XIX secolo.

Ringraziamenti
Questo lavoro è dedicato alla memoria dei Vigili del Fuoco caduti nell'adempimento del proprio dovere nel corso di oltre 200 anni dalla Fondazione del primo corpo dei Pompieri in Italia. I ringraziamenti vanno a quanti (e sono stati tanti) hanno consentito di aiutarci a conoscere e poter diffondere le molteplici innovazioni nella sicurezza sul lavoro e nel campo dell'antincendio.

Bibliografia
Del Giudice F. 1854. *Manuale pratico per gli incendi*. Napoli: Stabilimento Tipografico di Gaetano Nobile.
Del Giudice F. 1848. *Universalità dei mezzi di previdenza, difesa e salvezza per le calamità degli incendi*. Bologna: Tipografia dell'Istituto delle Scienze.
Di Vaio F. 2013. L'opera dell'istituto di incoraggiamento e di Francesco Del Giudice per l'istruzione tecnica a Napoli. Rivista di Terra di Lavoro - Bollettino on-line dell'Archivio di Stato di Caserta.
La Veglia M.M. 2018. Pompieri ed acquedotti. In: Il Sottosuolo di Napoli (a cura di C. Esposito), 407-414. Napoli Intra Moenia.
MIT. 1998. *Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*. Decreto ministeriale 10 marzo 1998. Gazzetta Ufficiale n.81 del 7 aprile 1998. Roma: Poligrafico dello Stato.
MIL. 1998. *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*. D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81 e s.m.i. Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008 - Suppl. Ordinario n. 108. Roma: Poligrafico dello Stato.

Caterina Serafini, Vincenzo Di Florio

L'ing. Ernesto Besenzanica e la Ferrovia Adriatico-Sangritana

Abstract
The major contribution that engineers made to the modernization of Abruzzo – starting from the post-unification period until the present day – consists in the realization of one of the most important branches of the regional railway networks, which was affected by the national debate and which considerably influenced the history of the region. The Adriatico Sangritana, railway, was first used in 1912, it was narrow-gauged with steam trains, and was electrified later on, in 1924. At that time it was the longest electric railway in Europe that ran on direct current. It was an important infrastructure in the Sangro-Aventino area and became part of the trans-Apennine junction between two state railways that already existed in the Adriatic and Tyrrhenian. Its designer was engineer Ernesto Besenzanica, who was born in Milan and was an experienced and skilled specialist in rail-way constructions; within just four years he succeeded in providing Abruzzo with effective infrastructure, which was also strategic for military purposes. The Adriatico-Appennino Railway Society, founded in Milan in 1906, supported the engineer during the project by constructing and obtaining a building permit not only for Sangritana, but also for Porto San Giorgio-Fermo-Amandola, Voghera-Varzi and Chieti city- Chieti Scalo railways. The memory of all these rail works is preserved in Lanciano, in the Historic Archive of Sangritana, a very important cultural heritage location, which was also declared a location of "remarkable historic interest" for the community. The line designed by Besenzanica is still used and active today in the territory; it has a total length of 156 kilometers, and it also shows some interesting and daring engineer solutions, especially in its works of art: tunnels, bridges, viaducts and an original helicoidal ramp in San Vito Marina. The railway, which crosses an extraordinary landscape that streches from the Adriatic sea towards the Appennine mountains, has also been represented by the roman artist Duilio Cambellotti in two tempera paintings of great emotional and visual impact.

La ferrovia Adriatico-Sangritana a cavallo tra due secoli

La Ferrovia Adriatico-Sangritana, infrastruttura secondaria abruzzese, fu inaugurata nel 1912, dopo una lunga e tormentata gestazione durata ben oltre mezzo secolo. La storia di questa infrastruttura non statale, concessa all'industria privata, è ampia-

mente documentata nelle carte del suo archivio storico, oggi conservato a Lanciano (CH), sul quale si sta lavorando da anni per renderlo fruibile al pubblico con sistemi sia tradizionali sia digitali[1] (Serafini, 2009).

Negli ultimi anni del secolo XIX, sulla scorta delle idee centraliste dello statista abruzzese Silvio Spaventa, si decise di fare a meno dei capitali stranieri e di limitare le ingerenze delle società private, spesso deficitarie, per "nazionalizzare" il trasporto su ferro in Italia. Dopo l'Unità d'Italia le compagnie ferroviarie furono riorganizzate in grandi gruppi sotto la vigilanza del Ministero dei Lavori pubblici. Vennero omogeneizzate tariffe e condizioni di trasporto e nel 1905, con la nascita delle Ferrovie dello Stato, furono gettate le basi della futura statalizzazione di un "pubblico servizio" (Lacchè, 1980). Tuttavia, il peso politico e sociale delle rappresentanze istituzionali locali influenzò non poco la realizzazione di ferrovie cosiddette "complementari", considerate un volano di sviluppo e di modernità[2]. In questo periodo, l'Abruzzo lentamente si avviava a uscire dal suo isolamento socio-politico essendo riuscito a dotarsi di strade ferrate strategiche lungo le dorsali dell'Adriatico e del Tirreno e di linee trasversali transappenniniche, tutte in capo allo Stato (Muzi, 1996). Anche in Abruzzo si era fatta strada l'idea che importanti opere ferroviarie avrebbero contribuito a risolvere endemiche criticità, quali: l'arretratezza socio-economica, la forte carenza della viabilità, la povertà delle aree interne, il sottosviluppo dei sistemi di coltivazione, il grande fenomeno dell'emigrazione, l'isolamento sistemico della regione dai grandi circuiti economici nazionali.

Mecenate per eccellenza della "questione ferroviaria abruzzese" fu il barone Panfilo De Riseis, presidente del Consiglio provinciale di Abruzzo citeriore, precursore e ideatore del primo progetto ferroviario del Sangro (De Riseis, 1856). La ferrovia fu concepita per unire l'Adriatico al Tirreno attraversando le valli del Sangro e dell'Aventino in direzione Napoli e Ceprano, ma anche per collegare l'Abruzzo al nord Italia lungo la direttrice Adriatica. Il progetto, presentato al re di Napoli nel 1854, subì un inevitabile arresto cagionato dal terremoto politico che avrebbe definitivamente cancellato il Regno delle due Sicilie dallo scacchiere politico nazionale.

Non meno interessanti furono gli studi elaborati dal 1879 al 1900, da tecnici e professionisti legati a politici e amministratori locali, questi ultimi spesso propensi a sposare cause di immediata utilità e dal sapore elettoralistico. É in questo contesto che si affermano personalità autorevoli e dal grande peso politico quali i deputati Pasquale Masciantonio, casolano, Gerardo Berenga, lancianese, Vincenzo Riccio, Camillo Mezzanotte e Francesco Tedesco, capaci di condizionare la politica ferroviaria dell'Abruzzo citeriore. A questi si affiancarono tecnici a vario titolo protagonisti della vicenda ferroviaria sangrina, quale l'ingegnere abruzzese e funzionario di Stato, Camillo Dellarciprete il quale, fortemente preoccupato per la possibile realizzazione della strada ferrata Torino di Sangro-Castel di Sangro, progettata nel 1900 dall'ing. Francesco Mora per conto della Casa Thomson-Houston, progetto che

avrebbe escluso dal tracciato la città di Lanciano, riuscì a gestire con grande fermezza l'iter politico-amministrativo del progetto, determinandone un diverso andamento in direzione Lanciano, il più fiorente centro commerciale del comprensorio.

Ernesto Besenzanica

La grande opera ferroviaria lungo il Sangro fu resa possibile solo grazie all'intervento fattivo e deciso del suo vero e indiscusso protagonista, l'ingegnere Ernesto Besenzanica (1864-1940), eccellente tecnico, coraggioso imprenditore, esperto costruttore di strade ferrate anche all'estero e già concessionario della Ferrovia Porto San Giorgio-Fermo-Amandola (1908). Milanese di nascita, fu paragonato a un Messia dalla stampa locale, l'uomo che più di tutti seppe imporre una visione meno municipalista della questione ferroviaria abruzzese. Laureato in ingegneria al Politecnico di Milano, eseguì importanti opere ferroviarie in Grecia, Albania, Bulgaria e Romania. Tornato in Italia, svolse un ruolo preminente nella progettazione, costruzione ed elettrificazione di ferrovie secondarie in Italia, tra cui: la Ferrovia Fermana a scartamento ridotto, inaugurata nel 1908 e definita la sorella maggiore della Sangritana per le forti affinità tecniche riscontrate sia nella costruzione a trazione a vapore, sia nella successiva elettrificazione avvenuta nel 1928 (Rossi, 1997). In quegli anni intraprese anche la costruzione della Ferrovia elettrica Voghera-Varzi (1931) a scartamento ordinario (Cazzoli, 1980) e l'importante opera di riqualificazione ed elettrificazione della Ferrovia Roma-Civitacastellana-Viterbo, per conto della Società Romana per le Ferrovie del Nord, mettendo in atto soluzioni innovative per l'epoca, tanto da meritare il plauso del Duce. Altri studi di ferrovie complementari sono indicativi della volontà dell'ingegnere di creare una estesa rete di strade ferrate nel centro sud. Si annoverano in proposito studi sulla Ferrovia Guardiagrele-Chieti-Francavilla, appendice strategica della Sangritana, e sul tronchetto Chieti città-Chieti scalo; a seguire, la Castel di Sangro-Frosinone-Gennazzano con diramazione Veroli (Besenzanica, 1914) e le Ferrovie del Vastese, opera dichiarata di pubblica utilità nel 1913 e mai realizzata, se non per il cosiddetto tronchetto di Atessa che vide la luce nel 1929 e dal quale sarebbe dovuta partire la linea: Punta Penne-Vasto-Gissi-Palmoli-Boiano, con diramazioni Palmoni-Agnone e Gissi-Atessa (Besenzanica, 1913), in Figura 1.

A fare da spalla a Ernesto Besenzanica fu la Società per le Ferrovie Adriatico Appennino, la (SFAA), fondata a Milano nel settembre 1906 e subentrata all'ingegnere milanese nella costruzione, gestione ed esercizio di linee ferroviarie[3], come mostrato in Figura 2.

L'importanza della SFAA, quale principale soggetto produttore nel suo ruolo istituzionale di impresa madre, è testimoniata da un documento conservato nell'archivio storico Sangritana: un "*elenco di disegni e documenti esistenti a Milano*" che contiene la descrizione di 39 casse di documenti e disegni prodotti dalla società per lo studio e la realizzazione di linee ferroviarie in Italia[4].

Fig. 1 – Mappa della rete ferroviaria dell'Abruzzo, 14 gennaio 1946 (ASFAS, ric., b.1, fasc.2).

Fig. 2 – L'ing. Ernesto Besenzanica sul cantiere della Sangritana, Ortona a Mare, 27 marzo 1912, a sin. (ASFAS, XVII.1.8); operai durante i lavori di costruzione della Sangritana, Ortona a Mare, 10 novembre 1911, a dx. (ASFAS, XVII.1.3).

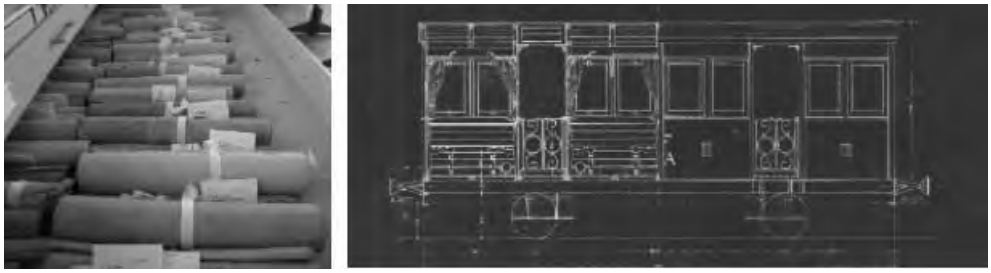


Fig. 3 – Archivio Storico Sangritana: foto di elaborati grafici, a sin., e disegno di vettura viaggiatori, particolare del progetto Besenzanica, 24 giugno 1910, a dx. (ASFAS, IV.1.2).

Gli intensi rapporti tra la direzione generale di Milano e le sedi periferiche di Lanciano, Fermo, Voghera e Chieti, sono ampiamente documentati nell’archivio storico lancianese e rendono conto di una organizzazione aziendale complessa e articolata, come si vede in Figura 3. I legami funzionali, tecnici, amministrativi e sociali di queste quattro ferrovie si comprendono solo se ricondotti alla società milanese con la quale si fondono e si rapportano dando vita a una intensa circolazione di idee e di progetti, scambi e avvicendamenti di personale, riutilizzo di materiali, produzione e conservazione della memoria.

Subito dopo la seconda guerra mondiale, la SFAA risultava concessionaria di quattro linee ferroviarie: la Ferrovia Adriatico-Sangritana, la (FAS), la Ferrovia Porto San Giorgio-Fermo-Amandola, l’(AFA), la Ferrovia Voghera Varzi, la (FVV), la Ferrovia Chieti-Chieti Scalo. Con la dismissione di queste ferrovie, ad eccezione della Sangritana e il trasferimento a Lanciano di personale e materiale rotabile, anche consistenti nuclei documentali sono confluiti dalle sedi istituzionali di Fermo, Voghera e Chieti nella sede lancianese della Sangritana[5] (Serafini, 2017).

La rete ferroviaria

Il sodalizio tra Besenzanica, la SFAA e Camillo Dellarciprete, primo direttore generale della SFAA e primo direttore d’esercizio della FAS, rese possibile la pianificazione e lo studio di una rete ferroviaria nel centro-sud d’Italia che avrebbe potuto cambiare radicalmente le sorti economiche e sociali dell’Abruzzo, ponendolo in comunicazione diretta con le Marche, il Lazio, il Molise, la Campania e l’intero Mezzogiorno. Purtroppo, molti di questi ambiziosi propositi restarono nell’ambito della sola progettazione a causa del sopraggiungere della Grande guerra (1915-1918), seguita da una crisi economico-finanziaria del Paese e della società stessa, alle prese con le dispendiose costruzioni delle ferrovie Sangritana e Fermana, un bilancio di esercizio in perdita, l’aumento esponenziale dei costi della manodopera e del carbone e le irrisorie provvidenze degli enti locali. Di conseguenza, venne definitivamente accantonata l’i-

dea di realizzare, sin dall'inizio, la ferrovia Sangritana a trazione elettrica. Il ripiegamento sulla trazione a vapore fu una tappa obbligata dai tempi, ma non scoraggiò la realizzazione di una grande opera ferroviaria, attesa da generazioni e compiuta in soli quattro anni, tra il 1911 e il 1915, grazie al lavoro di centinaia di uomini e di donne (Besenzanica, 1905). La ferrovia, inaugurata il 1° agosto 1912, divenne simbolo di modernità e di riscatto sociale e finì per cambiare il volto arcaico e pastorale dell'Abruzzo per ridisegnare nuove mappe territoriali, dando impulso allo sviluppo di città e paesi un tempo lontani dagli assi viari strategici. La Sangritana risultò avere spiccate affinità tecniche con la Ferrovia Porto San Giorgio Fermo-Amandola, costruita e aperta all'esercizio solo due anni prima dall'ingegnere milanese (1908).

La linea era suddivisa in nove tronchi ed entrò in esercizio con la trazione a vapore e a scartamento ridotto di 0,95 m. Particolare attenzione fu dedicata alla progettazione del tracciato ferroviario che prevedeva una doppia diramazione, da Ortona porto-Orsogna-Guardiagrele e da San Vito marina-Lanciano-Castelfrentano, sino alla stazione di scambio di Crocetta, dalla quale si dipartiva il tronco per Castel di Sangro, e un›altra diramazione verso Archi-Atessa, per complessivi 148 chilometri. Con il progetto esecutivo Besenzanica si realizzarono sensibili perfezionamenti, sia nell'andamento planimetrico, sia nell'andamento altimetrico. Le varianti di tracciato furono rese necessarie per ridurre le pendenze al 25 ‰, per dare alle stazioni una ubicazione più confacente ai desideri delle popolazioni e per creare fermate non previste nel progetto di massima. Altra variante riguardò il collegamento tra Ortona porto e Ortona città, che venne costruito a doppio scartamento, con binario a quattro rotaie, allo scopo di poter trainare direttamente i vagoni delle Ferrovie dello Stato fino a Ortona città, dove furono previsti i necessari impianti per il trasbordo delle merci. Stessa soluzione, di binario a doppio scartamento, fu adottata a San Vito Marina, dal piazzale esterno del fabbricato viaggiatori delle Ferrovie dello Stato fino alla stazione di trasbordo, in Figura 4.

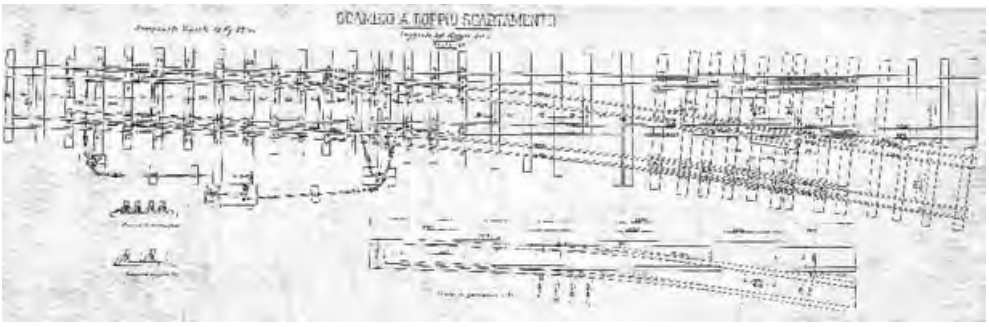


Fig. 4 – Disegno di scambio a doppio scartamento tipo Vignole 27.300 kg (ASFAS, V.3.2.5.2).

Ponti, viadotti, muri di sostegno e alcuni fabbricati vennero realizzati con strutture di calcestruzzo armato, in cui si possono riscontrare già tutti i concetti principali per le armature in tondini di ferro al fine di resistere anche ai fenomeni sismici in località, già all'epoca, considerate a rischio. Le sei gallerie vennero allargate fino a 4,50 m, per dar modo ai carri delle Ferrovie dello Stato di poter circolare mediante carrelli trasportatori. L'esperienza maturata nell'esercizio della linea Porto San Giorgio-Fermo-Amandola, suggerì di potenziare l'armamento ferroviario con l'adozione di rotaie Vignole di 25 kg e di 15 traversine da 1,80 × 0,18 × 0,12 per ogni campata di 12 m, allo scopo di elevare fino a dieci tonnellate il peso massimo per asse circolante e la velocità dei treni fino a 45 km. Rispetto al progetto di massima furono raddoppiati i passi a livello, (652) e vennero preferiti, un tipo di rifornitore semplice in cemento armato e uno con piano caricatore per il carbone, in cemento armato, un tipo di ponte girevole di 12 m di diametro, per girare le automotrici, per le stazioni di San Vito marina, Lanciano, Archi, Atessa e un tipo di piattaforma girevole del diametro di 5,50 m per girare le locomotive nelle stazioni di Ortona porto, Ortona città, Crocetta, Castel di Sangro.

Le numerose varianti di percorso, apportate durante la costruzione, giustificarono l'allungamento della linea che, al temine dei lavori, risultò lunga 151+529,25 km. Appositi "verbali di collaudo" vennero approntati da una commissione tecnica dell'Ufficio speciale delle ferrovie di Ancona, dal dicembre 1912 all'agosto del 1915. Successivamente, nel 1929, con l'apertura del tronchetto di prolungamento Archi-San Luca-Atessa città, originariamente compreso nel progetto delle Ferrovie Vastesi, la linea risultò di complessivi 158+947,19 km.

Miglioramenti furono apportati anche ai fabbricati di stazione, fermate e case cantoniere che passarono da uno a due piani, con solai in cemento armato, al fine di sistemare più convenientemente i locali di servizio al piano terra e le abitazioni per il personale al piano superiore. Capannoni con capriate in cemento armato furono realizzati nelle stazioni di collegamento con le Ferrovie dello Stato per il ricevimento delle merci in trasbordo, mentre in tutte le stazioni vennero costruiti magazzini con piani caricatori per le merci. Ampie rimesse per locomotive furono realizzate a Ortona, Archi, Castel di Sangro e Lanciano, dotate di locali a uso di officina per piccole riparazioni. Il deposito principale venne ubicato a Lanciano, capace di ricoverare dodici vetture, con una officina strutturata in modo da poter compiere qualsiasi riparazione e attrezzata di macchinari per la lavorazione del legno e dei metalli e materiale elettrico. Complessivamente, furono realizzati 35 fabbricati tra stazioni e fermate, di cui 6 fermate facoltative; in Figura 5 è mostrata la vista prospettica della stazione di Lanciano. Il numero delle case cantoniere passò da 47 a 57.[6] All'apertura all'esercizio viaggiavano 7 coppie di treni sulla tratta Marina San Vito-Lanciano, con un tempo di percorrenza di circa 1 ora. Da Lanciano a Castel di Sangro un treno impiegava cinque ore e venti minuti per percorrere 87 chilometri (Serafini, 2015).

Fig. 5 – Vista prospettica del fabbricato viaggiatori della stazione di Lanciano, 1928 (ASFAS, V.3.5.1).

L'introduzione della trazione elettrica

Sin dal 1913 era chiaro il proposito della società milanese di adottare la trazione elettrica non soltanto per la Sangritana. La trazione elettrica, sebbene pensata per un ambito territoriale molto più ampio, diverrà realtà soltanto negli anni Venti del '900, rappresentando per la Sangritana una novità in campo tecnologico che la rese la più estesa ferrovia elettrica, a scartamento ridotto e a corrente continua d'Europa (Mauro, 1925). L'energia elettrica occorrente per l'esercizio venne fornita dalla Società Meridionale di Elettricità di Napoli, la (SME), derivandola dalla centrale di Taranta Peligna sul fiume Aventino. I lavori di elettrificazione furono affidati all›Impresa Besenzanica e nel 1923 la Società Tecnomasio Italiana Brown Boveri, la (TIBB) fu incaricata di fornire 18 rotabili: 9 locomotori, 6 automotrici e tre automotori da manovra a due assi. In un solo anno furono eseguiti 150 km di linea di contatto del tipo a catenario e 80 km di linea primaria per il trasporto dell'energia trifase, dalla centrale di Taranta Peligna, sul fiume Aventino, alle due sottostazioni elettriche di conversione di Fallo e Crocetta. I lavori terminarono nel giugno 1924.

Il sistema di tensione prescelto a 2400 Volt a corrente continua permise di alimentare l›intera linea con due sole sottostazioni e con il vantaggio di avere al filo di contatto una tensione di soli 2400 Volt rispetto ai 11000 Volt previsti nel progetto di massima. Furono approntati gruppi convertitori per la trasformazione della corrente trifase alternata in corrente continua, costruiti gli edifici delle sottostazioni e ampliati il fabbricato del deposito-officina e il fabbricato viaggiatori di Lanciano. Il nuovo tipo di trazione, inaugurato il 9 ottobre 1924, consentì l'aumento della velocità media dei locomotori, dimezzandone i tempi di percorrenza. Gli ottimi risultati ottenuti in termini di prestazione dei nuovi rotabili funzionanti con corrente continua a 2400 volt sulla Sangritana, fecero optare la società per il medesimo tipo di corrente

e di tensione anche sulla Fermana, per ragioni di uniformità di trazione delle linee ferroviarie in gestione alla stessa società. Infatti, ai 160 chilometri della Sangritana, si aggiunsero i 60 chilometri della Fermana (1928) e i 36 chilometri della Castellamare-Penne, per complessivi 256 chilometri funzionanti con elettrotrazione dalle caratteristiche comuni, nucleo della progettata rete a scartamento ridotto destinata a congiungere i capoluoghi di provincia di Marche, Abruzzo e Molise.

Nel 1942, il successo ottenuto dal nuovo sistema di trazione elettrica fornì lo spunto per una vera e propria operazione di marketing aziendale: la realizzazione di una cartolina postale celebrativa della Ferrovia Elettrica Sangritana che aveva il vantaggio di poter "viaggiare" in lungo e in largo per il Paese (Serafini, 2019). L'incarico venne affidato dal presidente *in pectore* della società, il professore, ingegnere e deputato al Parlamento, Francesco Mauro, a un geniale artista del tempo, il romano Duilio Cambellotti (AA.VV., 2017). Il risultato fu una splendida cartolina raffigurante, sullo sfondo, la Maiella madre sovrastante la campagna coltivata e una fornace di laterizi in località Crocetta di Castel Frentano. In primo piano, a far risaltare il nuovo sistema di trazione elettrica, l'artista disegnò un pantografo dal colore rosso acceso che incorniciava l'opera trasmettendo il messaggio di modernità dei tempi[7], in Figura 6.

In seguito all'elettrificazione si verificò uno straordinario incremento di viaggiatori e merci sulle ferrovie Sangritana e Fermana. Furono anni di relativo benessere per entrambe le ferrovie fino all'ottobre del 1943, allorquando le truppe tedesche in ritirata minarono le linee distruggendo finanche fabbricati, impianti fissi e materiale rotabile. La ricostruzione della ferrovia avvenne in tempi relativamente brevi riconsegnando al territorio una infrastruttura più moderna e funzionale.

Fig. 6 – Cartolina postale per la Ferrovia elettrica Sangritana, disegno di Duilio Cambellotti, 1942.

Dal 1912 a oggi, la Sangritana è stata interessata da diversi passaggi di gestione: dalla Società per le Ferrovie Adriatico-Appennino di Milano, al Ministero dei Trasporti, alla Regione Abruzzo.

Conclusioni

La Ferrovia Adriatico-Sangritana rientra dunque a pieno titolo nelle grandi opere ferroviarie realizzate alle soglie del XX secolo ed è un'opera che certamente ha contribuito alla "modernizzazione" economica, sociale e culturale dell'Abruzzo. E' un esempio dell'importanza della storia dell'ingegneria abruzzese che, seppure priva di "capolavori assoluti", annovera un lungo elenco di opere qualificate, spesso sconosciute. Un contributo importante alla salvaguardia di questo patrimonio è dato anche dalla valorizzazione delle fonti locali conservate negli archivi storici, sia pubblici sia privati.

Bibliografia

AA.VV. 2017. *Io sono Cambellotti*. Catalogo della mostra a cura di Marco Fabio Apolloni e Monica Cardarelli. Roma, Ed. De Luca.

Besenzanica E. 1905. *Ferrovia economica a scartamento ridotto Adriatico-Sangritana*. Documenti a corredo della domanda di concessione presentata all'on. Ministero dei LL.PP. Progetto di massima per trazione a vapore e trazione elettrica. Fermo, giugno.

Besenzanica E. 1913. *Progetto di massima delle Ferrovie del Vastese. Relazione tecnica e memoriale sulla pubblica utilità*. Lanciano, Tipografia Masciangelo.

Besenzanica E. 1914. *Progetto di massima della ferrovia Castel di Sangro-Frosinone-Gennazzano con diramazione per Veroli. Relazione tecnica e memoriale sulla pubblica utilità*. Lanciano, Tipografia Masciangelo.

Cazzoli A. 1980. *Voghera-Varzi un treno per l'oltrepò*. Milano, Centro Studi sui Trasporti Pubblici.

De Riseis P. 1856. *Ferrovia Abruzzese pei confini romani con diramazioni Ceprano, Popoli, Teramo e S. Severo*. Napoli, Tipografia Nicola Porcelli.

Lacchè C. 1980. *La ferrovia da Giolitti a Mussolini. Politica ed economia delle strade ferrate (1906-1940)*. Viterbo, Stabilimento Tipografico Agnesotti.

Mauro F. 1925. *La ferrovia Adriatico-Sangritana e la sua elettrificazione.* Milano, Soc. An. Stab. Arti Graf. Alfieri e Lacroix

Muzi P. 1996. Le ferrovie in Abruzzo. Guida alle fonti documentarie negli Archivi di Stato di Chieti e Sezione di Lanciano, L'Aquila e Sezione di Sulmona, Pescara e Teramo. In *La rivoluzione dei trasporti in Italia nel XIX secolo. Temi e materiali sullo sviluppo delle ferrovie tra questione nazionale e storia regionale* (a cura di G. Sabatini). L'Aquila, Amministrazione provinciale, pp. 85-101.

Rossi D. 1997. *Il Treno della Valle del Tenna*. Fermo, Grafiche Bonassi

Serafini C. 2009. *L'Archivio Storico della Ferrovia Adriatico-Sangritana: spunti di* riflessione sugli archivi di impresa in Abruzzo. Rivista Abruzzese, supplemento monografico, 2, pp. 5-34.

Serafini C. 2015. *Il cantiere della Sangritana. Origini e costruzione di una ferrovia secondaria abruzzese (1853-1915)*, Lanciano, Editrice Carabba.

Serafini C. 2017. Cento anni di storia della Ferrovia Adriatico Sangritana. In: *Per Lavoro e per amore. Cronache e riflessioni da un mestiere speciale*, Roma, Memoria Edizioni pp.118-123.
Serafini C. 2019. *Memoria ferroviaria*. Rivista D'Abruzzo*,* 125, pp. 56-60.

Note

1. L'Archivio storico della FAS è stato dichiarato "di notevole interesse storico" nel 2002 dalla Soprintendenza archivistica per l'Abruzzo. Dal 2005 ad oggi è stato sottoposto ad interventi di riordino, inventariazione, restauro, riproduzione sostitutiva e informatizzazione del complesso documentale. Per la sua natura di archivio di impresa conserva, oltre alla documentazione amministrativa e contabile, disegni tecnici unici e rari su tela, carta e lucido a partire dal 1900, una collezione di cartoline d'epoca che documenta la costruzione della ferrovia, matrici tipografiche e fotografiche degli anni '20, fotografie, oggetti, mobili, piccoli manufatti e pezzi di ricambio di rotabili storici. Conserva, inoltre, una piccola biblioteca di settore, una rassegna stampa d'epoca e filmati televisivi e giornalistici. Donazioni private arricchiscono l'archivio che ha sede presso l'officina storica Sangritana di Lanciano.
2. Con la Legge n. 137 del 22 aprile 1905, lo Stato assunse il controllo delle ferrovie dei grandi gruppi: la Mediterranea, l'Adriatica e la Sicula e nel 1907 avvenne il riscatto anche delle Ferrovie Meridionali.
3. Il 21 settembre 1906 in Milano, davanti al notaio Giuseppe Rossi, si costituì, fino al 31 dicembre 1975 e con capitale sociale di lire 4.000.000, la Società anonima per azioni sotto la denominazione di "Società per le Ferrovie Adriatico-Appennino", per la costruzione e l'esercizio della Ferrovia Adriatico-Sangritana e della Ferrovia Porto San Giorgio-Fermo-Amandola, con direzioni a Lanciano e Fermo, in: Atti della Camera di Commercio di Milano- denuncia di costituzione di Società anonima, 2 giugno 1911.
4. Si ritiene che non tutta la documentazione esistente a Milano, 24 casse solo sulla Sangritana, sia giunta fino a noi. Nell'elenco figurano gli elaborati tecnici di moltissime ferrovie italiane, alcune solo studiate, tra queste per citarne alcune: la ferrovia Partenopea; la ferrovia Trieste-Lubiana ed altre linee dell'Oriente; la ferrovia Torino-Genova-Roma; la ferrovia Roma-Barletta-Brindisi-Otranto; la ferrovia Milano-Roma; la ferrovia Fermana (porto San Giorgio- Fermo-Amandola); la ferrovia Castel di Sangro- Frosinone-Gennazzano; le ferrovie Vastesi (Vasto-Boiano, Palmoli-Agnone, Atessa-Gissi), le ferrovie Siciliane (13 ferrovie).
5. L'archivio storico Sangritana conserva nello specifico: a) Fondo della Ferrovia Adriatico Sangritana (FAS) costituito da circa 800 buste, 274 rotoli su carta, tela, lucido e radex, 670 portarotoli, dal 1910 al 1990; b) Fondo della Ferrovia Porto San Giorgio-Fermo-Amandola (AFA), in origine Ferrovia Adriatico-Fermo-Amandola, costituito da 90 buste e oltre 100 rotoli su carta, tela e lucido, dal 1899-1956. Questa ferrovia, inaugurata nel 1908 a scartamento ridotto ed elettrificata nel 1928, fu definitivamente dimessa nel 1956; c) Fondo della Ferrovia Guardiagrele-Chieti-Francavilla, poi filovia Chieti Città-Chieti Scalo che annovera 2 buste, svariati disegni e altro materiale è inglobato nella serie "carteggio Fas", dal 1926 al 1951. Una recente donazione della famiglia De Sipio di Chieti ha consegnato all'archivio altro materiale sulla tramvia poi filovia (1905-2000); d) Fondo della Ferrovia Voghera-Varzi (FVV), a scartamento normale, entrata in esercizio il 27 dicembre 1931 e incorporata, mediante fusione, alla Sfaa il 29 febbraio 1940 (3 buste e car-

te diverse e disegni inglobati nella serie "carteggio Fas"). Nel 1965, con la trasformazione in autoservizio della ferrovia, gran parte del materiale rotabile dimesso fu consegnato alla Sangritana.

6. Nel giugno 1910, Ernesto Besenzanica presentava all'approvazione governativa il progetto esecutivo della Ferrovia Adriatico Sangritana, in nome e per conto della Società per le Ferrovie Adriatico-Appennino e in esecuzione della convenzione 27 febbraio 1909, ratificata con decreto reale dell'11 agosto 1909 n. 669 e successivo decreto del Ministero dei lavori pubblici n. 9066 div. XIV del 14 novembre 1910.
7. Grazie ad una donazione privata della famiglia De Sipio di Chieti all'Archivio storico Sangritana, sono pervenute le due opere preparatorie dell'artista, ossia due pitture a tempera di rara bellezza. Altri studi preparatori sono stati rinvenuti in gallerie private romane. La rassegna pittorica, parte in originale e parte riprodotta, è stata esposta per la prima volta a Lanciano, presso l'officina storica Sangritana, in occasione delle "Giornate FAI di Primavera" del 23 e 24 marzo 2019.

Giuseppa Novello, Maurizio Marco Bocconcino

Itinerari digitali tra carte e disegni del patrimonio dell'archivio Porcheddu. Le pratiche delle opere torinesi nel periodo 1894-1927

Abstract
The paper illustrates the preparation of an information system distributed via the web, set up on an alphanumeric and geographical basis, which links together data and content making up the G.A. Porcheddu Company Archives in the period 1894/1927 - Agent and General Dealer for Upper Italy of the system patented by the French manufacturer François Hennebique - kept at the Department of Structural, Building and Geotechnics Engineering of the Politecnico di Torino.

Premesse sulle attività di ricerca, definizione del contesto culturale e dei contenuti trattati

L'avvento del calcestruzzo armato e le sue prime applicazioni hanno costituito campo di esperienza di ricerca per la disciplina del Disegno, che in alcune occasioni di confronto scientifico sul tema abbiamo definito "campo di sperimentalismo grafico": carte e disegni che nei primi progetti hanno anticipato quella codificazione formale che è stata matrice di rappresentazioni che nel tempo e in relazione allo sviluppo delle tecniche si sono evolute, fino agli attuali standard grafici.

L'indagine di quelle forme espressive è da tempo indagata dagli Autori, basata in gran parte sullo studio del vasto corpus di fonti documentali e iconografiche dell'Archivio della Società G.A. Porcheddu[1] conservato presso il Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica del Politecnico di Torino, DISEG. Tali indagini, che hanno prodotto esiti richiamati nei paragrafi successivi e nelle note di chiusura, erano orientate tanto rispetto a finalità e a contenuti, quanto a segni, simboli, annotazioni e reciproche relazioni, esplorati con filtri differenti attraverso la scelta di esempi denotati da diversi livelli di complessità: grandi strutture con funzioni civili pubbliche e con funzioni secondarie, manufatti infrastrutturali, edifici di media e piccola dimensione e loro componenti.

Questo contributo testimonia le attività di ricerca più recenti, rivolte prevalentemente verso la diffusione e l'accessibilità per la consultazione in rete dei patrimoni conservati. Tali attività rivestono grande importanza per non disperdere un patrimonio di conoscenza di storia locale e, opportunamente contestualizzate, possono altresì essere utilmente trasferite ad altri analoghi contesti.

Il disegno per l'innovazione percorre quasi sempre strade nuove. Lo sviluppo della prassi e della codifica grafica dei progetti in calcestruzzo armato ha formato campo di studi presentati in diverse occasioni di discussione scientifica, anche in merito al contesto culturale all'interno del quale si è formato questo archivio di impresa, molto interessante per la storia dell'ingegneria civile.

Inoltre, nell'ultimo decennio del 1800, il grande interesse sui manufatti in conglomerato cementizio armato fu testimoniato non solo dall'attenzione presente presso le Scuole di ingegneria, ma anche dalla pubblicistica tecnica di settore (Stella, 2014): riviste e manuali illustrano l'argomento con relazioni, tavole grafiche e fotografie dedicate alle realizzazioni più rilevanti; alternative derivanti dai diversi brevetti, depositati all'estero e in Italia, sono propagandate attraverso Figurazioni tecniche e illustrazioni che amplificano presso pubblici sempre più vasti la divulgazione del metodo costruttivo (Iori, 2001), che viene diffuso sfruttando anche il circuito delle grandi esposizioni delle arti industriali e del lavoro[2].

Un'ulteriore utile occasione di confronto (Novello e Bocconcino, 2018)[3] ha permesso di esporre alcune modalità di conservazione e diffusione del patrimonio documentale storico del Politecnico di Torino.

Una sfida: divulgare e comunicare attraverso sistemi leggeri e diffusi

Una parte delle esperienze avviate e condotte sui patrimoni del DISEG è stata rivolta verso lo studio dei metodi utilizzati per il trattamento dei dati e delle informazioni, nell'intenzione di evidenziare le potenzialità espressive e di comunicazione presenti nei documenti degli archivi e di restituirle, in maniera semplice e insieme efficace, mediante l'ausilio di elaborazioni digitali rese possibili dalle tecnologie informatiche (Novello e Bocconcino, 2006).

Rendere didascalicamente accessibili le tematiche trattate nelle opere era la finalità espressa da quelle esperienze. L'allestimento di ambienti informatici duttili per la gestione e l'esplorazione della complessa struttura dei documenti era la sfida.

L'evoluzione naturale di quei primi strumenti di lettura è rappresentata dalle più recenti attività prodotte per la cura dell'archivio, che hanno origine nel 2018 e che prevedono di anticipare ed estendere l'esplorazione degli elaborati anche a persone che vorranno accedere al patrimonio materiale avendo prima avuto una anteprima dei contenuti attraverso la rete, analogamente a quanto già avviene per altre importanti collezioni documentali.

L'ordinamento, che riflette l'originaria catalogazione delle pratiche fatta dall'Impresa, e l'esame dei 385 dossier con circa 2600 lavori che costituiscono l'archivio, operati con attento scrupolo dal professor Riccardo Nelva e dall'architetto Bruno Signorelli, risale al 1977 (Nelva e Signorelli, 1990). Oltre a studiosi e ricercatori, anche professionisti impegnati nel recupero di specifiche strutture hanno sollecitato gli Autori a far vivere il patrimonio conservato nell'archivio e a renderlo condiviso,

anche attraverso la distribuzione in rete delle immagini digitali di alcune pratiche che lo costituiscono, rafforzando le intenzioni degli obiettivi prefissati dal Gruppo di ricerca.

A seguito di ciò e considerata la ricchezza dell'archivio per varietà, importanza e numerosità, il Gruppo di ricerca ha deciso di approfondirne le modalità di comunicazione e accessibilità per favorire consultazioni più efficienti all'interno di ambienti digitali implementabili e interrogabili, poiché la conoscenza dei metodi e delle tecniche progettuali e costruttive è base indispensabile per intervenire con consapevolezza sui patrimoni esistenti o per salvaguardarne la memoria.

Il materiale cartaceo appartenente all'archivio è di diversa consistenza e svariati sono i formati. In particolare, in merito alla consistenza, alcuni documenti sono vulnerabili e deteriorabili nel tempo con riguardo ai supporti e a quelle trascrizioni che stanno perdendo potenzialità e qualità informativa.

Con l'intento di realizzare il progetto di archiviazione concepito dalla commissione patrimonio del DISEG, presieduta dalla professoressa Novello, è stato predisposto un sistema informativo "leggero" relazionato, attraverso opportune chiavi di lettura, a quello ben più ampio e consolidato del Sistema Bibliotecario di Ateneo. Per fare questo è stata avviata una proficua collaborazione tra il Dipartimento, il Responsabile di Area Bibliotecaria e Museale, dottoressa Nicoletta Fiorio Plà, e l'architetto Enrica Bodrato, referente per gli archivi dell'Ateneo, in modo da avviare le misure per rendere compatibili i diversi sistemi e rendere il servizio sperimentale attivo in tempi brevi. Per l'avvio della esperienza è stato adottato un criterio che ha indirizzato verso una prima selezione speditiva dei materiali documentali; tra i materiali presenti nell'archivio sono stati scelti, come esplorazione esemplificativa che sviluppa la precedente esperienza di ricerca, una serie di apparati iconografici rappresentativi tali da poter essere restituiti come ulteriore livello di approfondimento per la consultazione in remoto del patrimonio conservato.

Le tipologie di dati significativi elaborati sono due: da una parte i dati alfanumerici relativi alla catalogazione secondo gli standard bibliotecari, esportati direttamente dal sistema informativo delle biblioteche del Politecnico di Torino; dall'altra gli apparati iconografici esemplificativi dei testi restituiti attraverso la loro acquisizione fotografica, in via sperimentale eseguita grazie alla collaborazione di allievi con borsa di collaborazione dedicata, ma che, nello sviluppo futuro, si pensa dovranno aderire agli standard definiti dalle Linee Guida dell'Istituto Centrale per la Catalogazione e la Documentazione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali.

Nello specifico, la predisposizione del sistema informativo e informatico allestito, su base alfanumerica e geografica, lega insieme pratiche e contenuti attraverso due possibili percorsi di approfondimento e di potenziale informativo, esplorati per comprenderne vantaggi e criticità in relazione alla composizione degli apparati

Fig. 1 – Mappa personalizzata in ambiente condiviso. Localizzazione degli interventi dell'Impresa secondo lo stato di avanzamento: registrazioni aggiornato al 20 novembre 2019), evidenziati in colore blu (ubicazione certa), in colore giallo (ubicazione non certa) e in colore rosso (esito della ricerca per denominazione). In legenda l'elenco delle pratiche georeferenziate (si veda Figura 3).

documentali e delle relative tecniche di rappresentazione impiegate per il progetto costruttivo di opere realizzate a Torino nel periodo 1894-1927.

Il primo percorso, estremamente analitico e quindi più pesante in termini di risorse e tempi coinvolti, cataloga ogni documento cartaceo della singola pratica, ovvero tanto gli aspetti di carattere informativo quanto quelli di contenuto, non filtrato da interpretazioni ed estrazioni, acquisito digitalmente con risoluzione grafica elevata per poter essere correttamente interpretato in ogni sua parte, come mostrato nelle Figure 1 e 2.

Il secondo percorso, più sintetico e agile, è stato invece rivolto verso la capillare acquisizione dei dati di carattere alfanumerico delle singole pratiche, secondo lo stesso schema operato sul primo livello di approfondimento (dettaglio), ma limitandosi alla acquisizione digitale solo di elementi documentali considerati rappresentativi. A queste selezioni di carattere digitale sono state associate informazioni relative alla consistenza della pratica in relazione a specifiche categorie, quali numerosità e consistenza di documenti relativi a relazioni tecniche e specialistiche e tipologie di rappresentazione grafica. In questo modo, più speditivo, l'utente, pur non avendo accesso all'intero patrimonio digitale del faldone, ha comunque il dato relativo alla

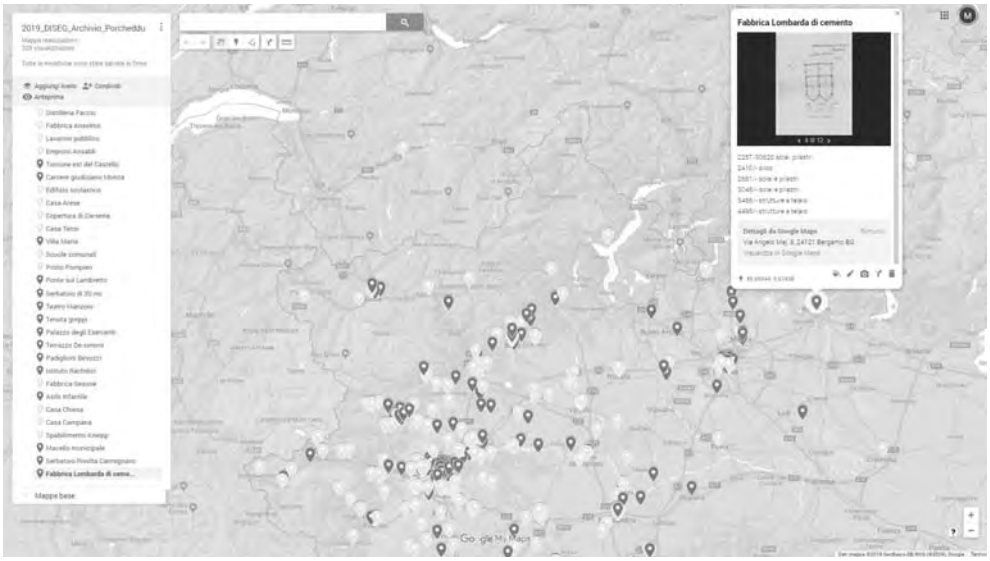


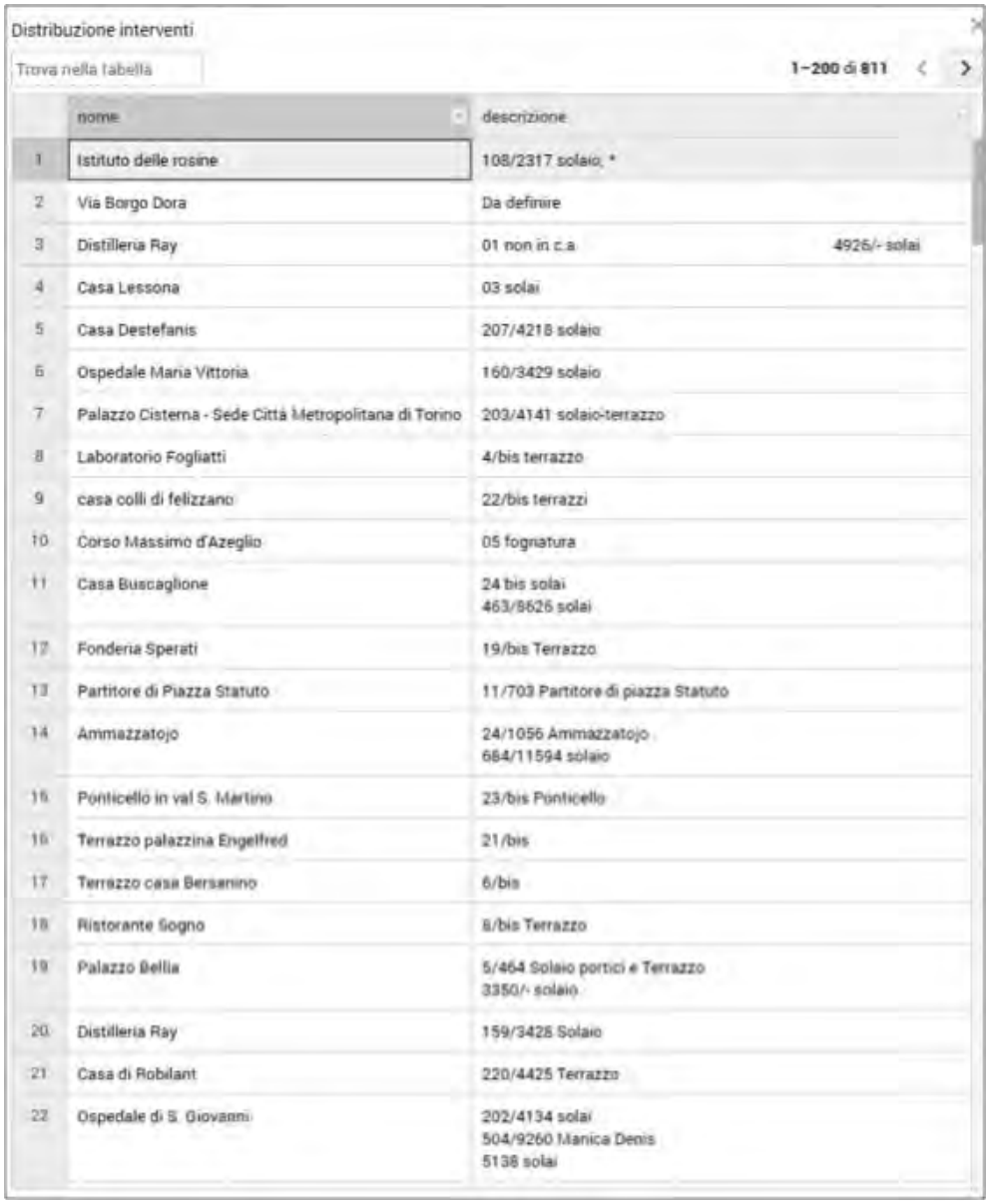
Fig. 2 – Mappa personalizzata in ambiente condiviso. Selezione di materiali documentali digitali, associati alla localizzazione e ai dati descrittivi dell'intervento. In legenda l'elenco delle pratiche georeferenziate (si vedano Figure 1 e 3).

corposità della documentazione e può considerare se procedere oltre la consultazione e richiedere la visione diretta del materiale. Nelle Figure da 3 a 5 sono riportati esempi di categorie di informazioni rese disponibili all'utente.

Per la conservazione in formato digitale si sta operando per fasi distinte:

- attività capillare di registrazione dei documenti tramite acquisizione scanner o fotografica, con orizzonte temporale di lungo periodo;
- associazione a ciascun documento di tutti i dati significativi;
- localizzazione geografica di tutte le pratiche all'interno di un sistema informativo di tipo geografico;
- ricognizione speditiva con selezione di alcuni documenti estratti dalle singole pratiche e registrazione dei relativi dati;
- registrazione dei dati principali e della consistenza di ogni pratica associata a un intervento.

Oltre al corpus delle pratiche cartacee, esiste inoltre un cospicuo apparato relativo a lastre fotografiche che raccolgono le attività di costruzione che o non è direttamente riconducibile alle pratiche puntuali e per il quale il collegamento dovrà essere operato desumendo dalle immagini le singole attribuzioni.



Distribuzione interventi

Trova nella tabella

1–200 di 811

	nome	descrizione
1	Istituto delle rosine	108/2317 solaio; *
2	Via Borgo Dora	Da definire
3	Distilleria Ray	01 non in c.a 4926/- solai
4	Casa Lessona	03 solai
5	Casa Destefanis	207/4218 solaio
6	Ospedale Maria Vittoria	160/3429 solaio
7	Palazzo Cisterna - Sede Città Metropolitana di Torino	203/4141 solaio-terrazzo
8	Laboratorio Fogliatti	4/bis terrazzo
9	casa colli di felizzano	22/bis terrazzi
10	Corso Massimo d'Azeglio	05 fognatura
11	Casa Buscaglione	24 bis solai 463/8626 solai
12	Fonderia Sperati	19/bis Terrazzo
13	Partitore di Piazza Statuto	11/703 Partitore di piazza Statuto
14	Ammazzatojo	24/1056 Ammazzatojo 684/11594 solaio
15	Ponticello in val S. Martino	23/bis Ponticello
16	Terrazzo palazzina Engelfred	21/bis
17	Terrazzo casa Bersanino	6/bis
18	Ristorante Sogno	8/bis Terrazzo
19	Palazzo Bellia	5/464 Solaio portici e Terrazzo 3350/- solaio
20	Distilleria Ray	159/3428 Solaio
21	Casa di Robilant	220/4425 Terrazzo
22	Ospedale di S. Giovanni	202/4134 solai 504/9260 Manica Denis 5138 solai

Fig. 3 – Dati descrittivi generali associati alle singole localizzazioni. L'associazione dei dati bibliografici e grafici è operata attraverso la chiave primaria fornita dall'identificativo univoco dato dal numero della pratica documentale.

Fig. 4 – Galleria della selezione dei materiali documentali maggiormente significativi. Contestualmente ai dati associati alla immagine digitale è fornita la consistenza dell'intera pratica cui il documento appartiene, in termini di tipologia e relativa quantità di documenti quali relazioni generali, tecniche, computi metrici ed estimativi, corrispondenza, elaborati grafici e relazioni di calcolo.

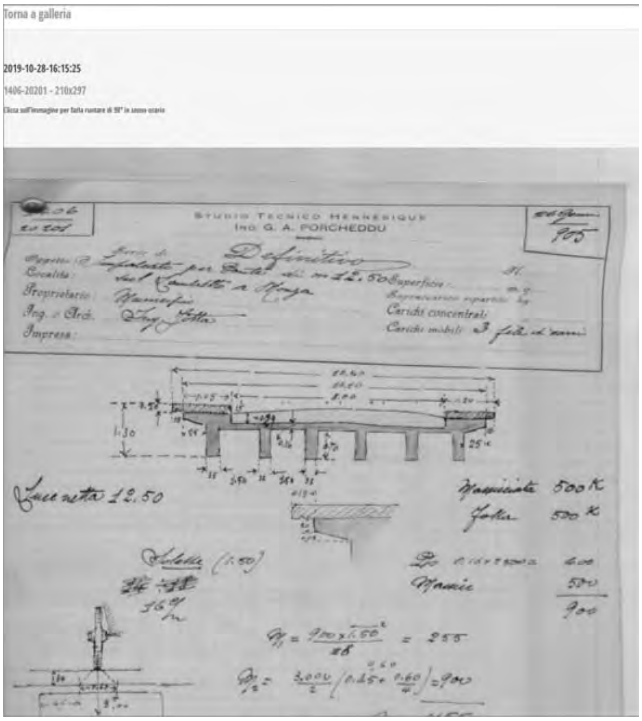


Fig. 5 – Esempio di possibile scheda dati associata al materiale documentale estratto.

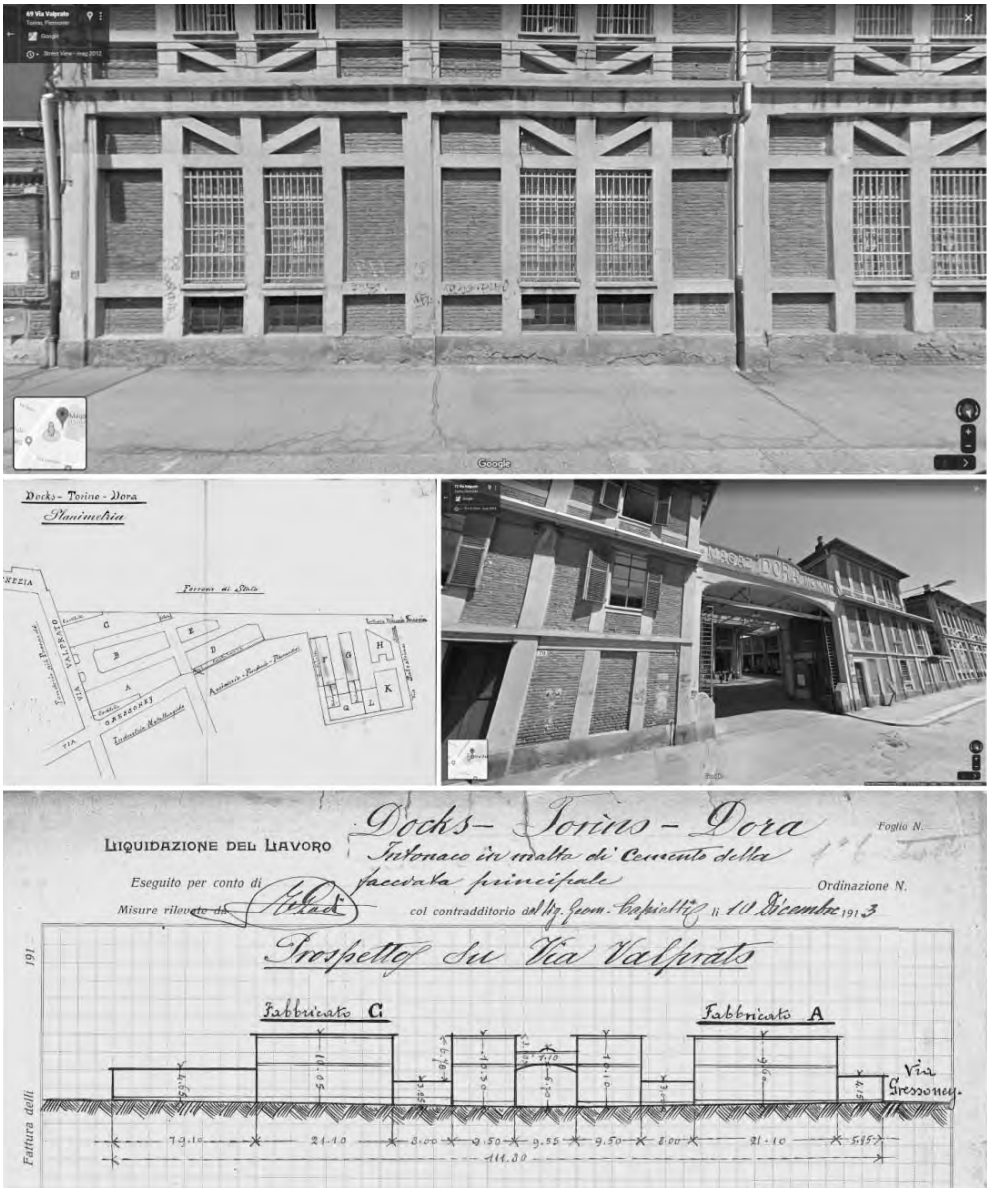


Fig. 6 – Esemplificazione esplorativa: a partire dalla mappa generale sarà possibile accedere a dati e elaborati della documentazione dell'archivio per ogni progetto e opera, insieme a viste attuali per i contesti esistenti.

In maniera veloce e con diversi livelli di accesso è stato quindi approntato un sistema informativo "a più contenitori", impiegando strumenti standard e personalizzandone di propri, come mostrato in Figura 6. A partire dalla consultazione in rete dal sito http://opac.biblio.polito.it sarà possibile consultare una scheda iconografica come approfondimento delle singole pratiche per le quali si sia già provveduto al rilevamento fotografico.

Conclusioni

Le considerazioni sopra esposte, alcune di carattere operativo e descrittivo, riportano in evidenza una questione che riteniamo fondamentale e che torna di attualità quando occorre trasferire la conoscenza di patrimoni tecnici attraverso le diverse forme della comunicazione diffusa e accessibile a pubblici eterogenei. La selezione degli elementi efficaci, puntuali e rigorosi, senza rischio di tralasciare elementi di interesse o fondanti, inevitabilmente può allontanare dagli originali linguaggi di elaborazione (Novello, 1994 e 1997). Per questo la riproduzione digitale dei materiali, capillare e curata, potrebbe rappresentare una strada di condivisione indipendente da ma in costante dialogo con la sintesi critica che in parallelo viene attuata e registrata all'interno del sistema informativo.

Testi, formule, schemi, tabelle, disegni sono tra loro in relazione complementare; in forme diverse spesso rappresentano il medesimo contenuto e si arricchiscono reciprocamente attraverso la lettura diretta e materiale dei documenti con indizi che non possono essere compiutamente restituiti attraverso l'acquisizione digitale, come la consistenza della carta e degli inchiostri, che possono essere rivelatori anche di modalità e tempi di esecuzione degli elaborati, come mostrato in Figura 7.

L'esempio contenuto nelle Figure 7 e 8 è relativo al Palazzo Stabile delle Belle Arti, unico padiglione espositivo in calcestruzzo armato della Esposizione di Torino del 1911, progettato e realizzato dalla Societa Porcheddu. Destinato a sfuggire alla demolizione fu purtroppo bombardato nel 1942 e quindi demolito e ricostruito in prossimità della sua sede originaria nel 1948 grazie all'invenzione progettuale di Pier Luigi Nervi in quello che è l'attuale complesso di Torino Esposizioni. Questa area è attualmente oggetto di approfondimenti di carattere progettuale da parte dei soggetti istituzionali coinvolti, finalizzati alla rifunzionalizzazione complessiva degli edifici e del contesto urbano e ambientale; l'elaborazione speditiva esemplificata nella Figura 8 vuole alludere a più complesse azioni di studio e raffronto delle fonti archivistiche e al ruolo che i materiali documentali storici possono assumere verso la stesura di un progetto più consapevole e nei confronti del quadro complessivo delle informazioni che produce conoscenza.

Il progetto di valorizzazione del patrimonio conservato presso l'Archivio ci auguriamo tenga conto di questi aspetti di cura e sensibilità, superando alcune esperienze e integrandosi con le politiche che a livello di Ateneo incorporano le dinamiche dei

Fig. 7 – Progetto e cantiere: la cura grafica si rifletteva nella realizzazione a regola d'arte dell'Impresa. Disegni esecutivi e immagini della cupola centrale (fotografo Berra) del Palazzo Stabile delle Belle Arti (Archivio G. A. Porcheddu, 1909, n. 3337).

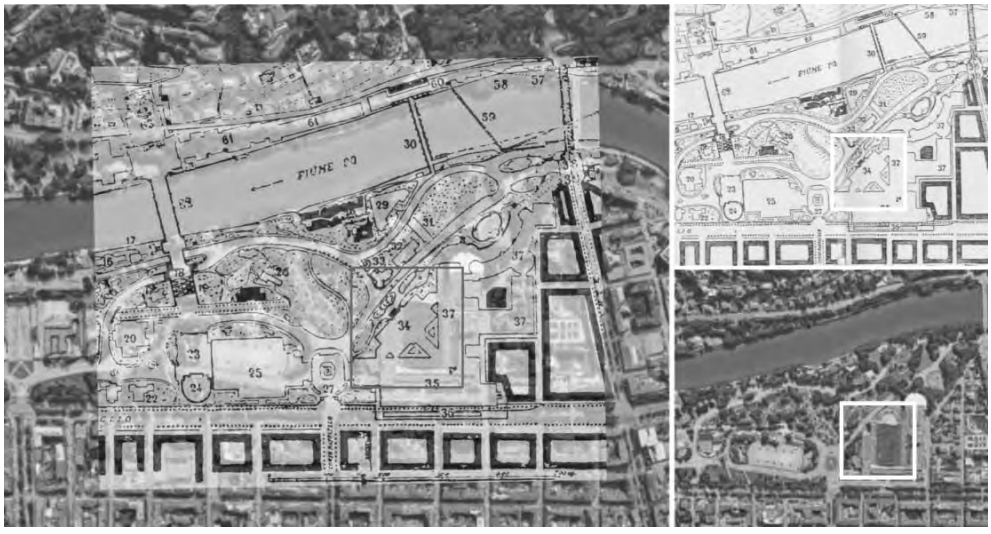


Fig. 8 – Planimetria degli interventi per l'Esposizione di Torino 1911 in un documento dell'epoca e stato attuale dei luoghi ricavato da immagini distribuite via web; La lettura sintetica di stati di fatto in epoche differenti, poi sovrapposti nella visione complessiva, sono relativi al Palazzo Stabile delle Belle Arti, indicato nei riquadri.

singoli Dipartimenti. Il progetto di diffusione, molto operativo e in costante affinamento, deve rispettare il principio di conservazione e deve accrescere le modalità di accesso diretto ai documenti (Novello e Boffa Tarlatta, 2002). La sperimentazione, partita anni fa in occasione della giornata di studio svoltasi al Politecnico di Torino nel novembre 2004 (Novello e Bocconcino, 2006), oggi non è più solo un percorso ideale. Quel saggio di prova di alcuni elementi sta acquisendo oggi una forma più concreta, attenta e matura e sta ricomprendendo l'intero corpus archiviato, impiegando risorse ad hoc come personale bibliotecario del Dipartimento, studenti borsisti, metodi, procedure e strumentazioni dedicate. In effetti, il coordinamento delle proposte di Ateneo con il contesto delle più aggiornate politiche nazionali sui beni culturali, può essere letto come processo che, mentre concorre nel sostenere alcune delle finalità dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria, si conferma come media in grado di promuovere azioni di collegamento con altre iniziative per costituire un sistema aggiornato e capace di svilupparsi anche in futuro.

Ringraziamenti
Si ringraziano la signora Maria Patania e il signor Pierluigi Guarrera del DISEG per la catalogazione e la registrazione digitale della documentazione e gli ingegneri junior Alessio Bucciarelli e Emanuele La Vecchia per il lavoro di caricamento dei dati e delle immagini all'interno del sistema informativo e informatico.

Bibliografia
Iori T. 2001. *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*. Roma: Edilstampa.

Nelva R., Signorelli B. 1990. *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo in Italia: il sistema Hennebique*. Milano: Edizioni di scienza e tecnica.

Novello G. 1994. Figure come fili di Arianna. Elementi di conoscenza e immaginazione del mondo delle miniere. In: AA.VV. *De Re Metallica - Miniere e materie prime alle soglie del 3° millennio*, 119-148. Torino: Celid.

Novello G. 1997. Le suggestioni dell'arte della rappresentazione nei disegni di ingegneria. Prime esplorazioni nell'Archivio Mosca. In: AA.VV. *Carlo Bernardo Mosca - Un Ingegnere Architetto tra Illuminismo e Restaurazione*, 143-150. Milano: Guerini e Associati.

Novello G., Boffa Tarlatta E. 2002. Le forme della rappresentazione per l'Architettura Idraulica nei trattati di Ingegneria di Bernard Forest de Belidor. In: *Orli d'Acqua – Il disegno della costa e della città porto* (a cura di F. Pugnaloni), Quaderno dell'Istituto di Disegno Architettura Tecnica Urbanistica dell'Università di Ancona, 271-291.

Novello G., Bocconcino M.M. 2006. Iconografia e rappresentazioni nella Biblioteca Mosca. Primi itinerari da ricerche in corso. In: *Libri vivendi La Biblioteca Mosca al Politecnico di Torino* (a cura di G. Novello e M. Morando), 150-170. Torino: Celid.

Novello G., Bocconcino M., Donato V. 2017. Sperimentalismo grafico e invarianze di metodi nel disegno del cemento armato agli inizi del 1900: l'innovazione esige adattamento e invenzione di codici. Atti del 39° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline

della Rappresentazione - XIV Congresso Unione Italiana per il Disegno, 859-887. Roma: Gangemi Editore.
Novello G., Stella F. 2018. Aspetti inediti della partecipazione della società G. A. Porcheddu all'Esposizione di Torino 1911. Percorsi critici tra documenti testuali e immagini. Atti del 7° Convegno Nazionale AISI, Napoli 23 e 24 aprile, 2, 881-890. Napoli: Cuzzolin.
Novello Giuseppa, Bocconcino Maurizio, 2018. Archivi vivendi: nuove alleanze tra beni conservati, forme di rappresentazione e metodi di diffusione del patrimonio tecnico, In: *L'intreccio dei saperi per rispettare il passato, interpretare il presente, salvaguardare il futuro*, 2603-2614. Roma: Gangemi Editore.
Stella F. 2014. La congiuntura tra teoria e pratica nella trasmissione dei saperi dell'arte del fabbricare: Camillo Guidi (1853-1941). Politecnico di Torino, tesi di dottorato in Beni Culturali (XXVI ciclo).

Note

1. L'impresa di costruzioni Porcheddu ing. G. A. fu costituita come società nel 1896 e operò sul territorio nazionale e in alcune colonie italiane fino al 1933. L'attività era già stata avviata nel 1894 dal giovane ingegnere Giovanni Antonio Porcheddu, laureatosi nel 1890 alla Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino. Le doti di vivacità imprenditoriale del fondatore e la qualità della sua formazione furono elementi determinanti per il successo dell'iniziativa: come allievo di Camillo Guidi, professore di Statica grafica nella Scuola dall'anno 1881-82 e di Scienza delle Costruzioni dal 1887 al 1928, è probabile il giovane Porcheddu ne abbia assorbito la forte tensione teorico-applicativa e lo spirito innovativo che lo avevano portato ad interessarsi molto presto delle costruzioni in *béton armé,* così come gli erano certamente noti i risultati sperimentali derivanti dalle prove sul nuovo sistema che Guidi condusse nel laboratorio annesso al Gabinetto di Costruzioni (Novello et al., 2017).
2. La documentazione appartenente all'archivio presenta elaborati finalizzati alla progettazione esecutiva e costruttiva, disegni sviluppati all'interno di un flusso di lavoro di una impresa di costruzioni specializzata in un campo di avanguardia collegato ad ambienti internazionali, con l'obiettivo di realizzare opere anche molto impegnative dal punto di vista del cantiere. Volendo soffermarci sui metodi di rappresentazione impiegati negli elaborati, è possibile notare (Novello et al., 2017) una specificazione delle informazioni dal generale al particolare, ove nelle piante generali vengono definiti le dimensione dei casseri e la disposizione e la misura dei ferri di armatura; l'introduzione di una convenzione grafica per i solai, caratterizzati da travi principali e nervature ortogonali, che rappresenta l'intradosso come riflesso in uno specchio posto al di sotto del solaio, in francese plan vu en dessous e che è una convenzione ancora attuale; le sezioni trasversali delle piante generali ribaltate sul posto, coordinando tra loro le viste e modificando le scale di rappresentazione, in funzione del livello di dettaglio necessario; le sezioni parziali a scala maggiore, dove i ferri vengono prolungati per un tratto oltre la sagoma della trave o del pilastro e tratteggiati nelle parti non in vista. Altri temi di interesse sono la simbologia del conglomerato sezionato, che viene sostituita da semplici linee di contorno; i ferri, comprese le staffe di legatura, che sono rappresentati con linea continua; le misure trascritte per mezzo di quote poste in serie, differenziate nelle unità di misura, in ragione dell'elemento quotato: metri e centimetri per dimensionamento e modularità principali e secondarie, millimetri per armature. Ancora, nei primi elaborati il colore impiegato per

evidenziare le armature: solitamente il rosso per i ferri delle solette piane, il blu per i ferri delle travi e delle nervature e il nero per la sagoma; in seguito, la necessità di riproduzioni multiple detta l'abbandono del colore e privilegia schematizzazioni semplificate e convenzionali, inserendo sempre più annotazioni testuali, tabellari e numeriche; al crescere della complessità delle opere, la componente strutturale è rappresentata a sé stante, per meglio descriverla e agevolare i lavori di cantiere.

3. Tra il 2015 e il 2016 il Politecnico di Torino, dopo altri progetti pilota, ha avviato attività di ricognizione in merito all'adozione di un'unica piattaforma web per la descrizione, la gestione, la comunicazione e la valorizzazione delle proprie Collezioni Storiche attinenti ai campi dell'Architettura e dell'Ingegneria. Le diverse tipologie di beni conservati, tanto presso l'Area Bibliotecaria e Museale quanto presso i Dipartimenti, formano un ricchissimo patrimonio di fondi archivistici ascrivibili a un sistema connotato da matrici culturali comuni agli ambiti della formazione e della ricerca politecnica che nelle loro diverse forme contengono, oltre a documentazione di tipo tradizionale, anche raccolte di tavole grafiche, di immagini fotografiche e una rilevante consistenza di modelli materici e plastici. Le fonti documentali e iconografiche presenti nell'archivio Porcheddu sono un prezioso patrimonio indispensabile per indagare e comprendere la nascita e la diffusione della tecnologia del calcestruzzo armato nella pratica progettuale e costruttiva. L'archivio è pervenuto al Laboratorio di Costruzioni in legno, ferro e cemento armato diretto dal professor Giuseppe Albenga, allora assistito da un giovane Augusto Cavallari Murat, successivamente alla liquidazione della Società. Proprio il professor Cavallari Murat aveva studiato, partendo da questo archivio, alcuni ponti cellulari ad arco ribassato tipo il ponte Risorgimento a Roma costruito dalla società Porcheddu nel 1911.

Simonetta Ciranna, Francesca Geminiani, Marco Felli

Gli ingegneri Inverardi nell'edilizia scolastica nel corso del Novecento in Abruzzo

Abstract
Inverardi's Studio is identified since its foundation as a team of design which works in all the fields of engineer and architecture. In all the four generations of the family, from Giuseppe, the forefather of the activity, to his sons Achille and Riccardo, then Pierluigi and the actual heirs, they operated in the hydraulic and civil engineering not only in L'Aquila city and the neighborhood, but also in Central Italy: buildings, houses, schools indicate how the activity, initially based on hydraulics, enlarged in time. The present paper intends to focus on some projects conducted in Abruzzo's territory during the first half of 20th century, in the field of scholar constructions and services in the national and local context. There are analyzed lot of projects, designed by Giuseppe, then Riccardo and Achille Inverardi, in which also Pierluigi took part during the Sixties, which explained the whole activity related to the functional, formal and structural aspects by the engineers; in some cases, the structures, with the first experimentations in reinforced concrete, and the study of classrooms' orientation can be considered as precursors.

Introduzione
Lo studio tecnico della famiglia Inverardi costituisce un importante esempio di attività progettuale continuativa da parte di quattro generazioni di progettisti di una stessa famiglia. Affermatisi sin dai primi anni dell'Italia unitaria in ruoli importanti per la pianificazione infrastrutturale del territorio abruzzese, in particolare dell'aquilano, attraverso il capostipite dello studio l'ingegnere Giuseppe Inverardi, l'intera famiglia di progettisti risulta tra le più apprezzate e attive nel corso del Novecento nel campo della progettazione idraulica, prima, e, in seguito, di opere civili quali strade, ponti e cimiteri, passando per l'edilizia residenziale, scolastica e ospedaliera. L'archivio della famiglia, tutt'ora in corso di inventariazione, consente di far luce non soltanto su singole opere realizzate e sull'attività progettuale di uno studio di ingegneria, ma dà anche modo di approfondire e analizzare l'evoluzione di interi ambiti territoriali mediante l'operato e la progettazione svoltavi nel tempo dai diversi componenti dello studio: una continuità di pianificazione e progettazione che ha contribuito a definire la struttura urbana ed edilizia di alcuni centri dell'Abruz-

zo[1]. Entro tale più ampio contesto, il presente contributo, nei suoi diversi paragrafi[2], intende porre l'attenzione sull'edilizia scolastica dei primi decenni del Novecento, quale una tra le attività principali svolta dallo studio attraverso l'operato di Giuseppe Inverardi e dei suoi figli Achille e Riccardo, fino al nipote Pierluigi, figlio di Achille.

La famiglia Inverardi e l'edilizia scolastica

Tra la fine dell'Ottocento e i primi del Novecento, nel corso di una definizione e organizzazione sul territorio dello Stato unitario, l'istruzione scolastica e la realizzazione di scuole pubbliche furono oggetto di diverse riforme miranti alla piena scolarizzazione e alla lotta contro l'analfabetismo. In tale contesto si colloca la legge Orlando del 1904, riformata nel 1911 e poi nel 1923 da Giovanni Gentile, che, tra l'altro, obbligava i Comuni alla costruzione di istituti elementari fino alla quarta classe.

La costruzione di scuole rientra in una più generale azione di pianificazione e adeguamento del sistema infrastrutturale dei singoli centri urbani, come la realizzazione delle reti idriche, fognarie e stradali, attività che impegnarono intensamente gli ingegneri Inverardi in molti comuni abruzzesi, caratterizzati, peraltro, da specifiche condizioni climatiche e socio-ambientali e da eventi catastrofici, quali i sismi del 1915 e del 1933. Sono decenni, inoltre, nei quali il cantiere edilizio è oggetto di una radicale trasformazione, con l'ingresso di nuovi materiali e tecniche costruttive e di finitura e la ricerca di nuove forme espressive dell'architettura. Sul ritardo dell'edilizia scolastica in Italia e sul ruolo dello Stato nel fornire indicazioni e le competenze del progettista, significativo è l'articolo dell'architetto Vittorio Morpurgo, edito nel 1921; l'autore polemizza sulle indicazioni fornite dal Ministero della Pubblica Istruzione nel volume *La Casa della Scuola*, del 1911, idealmente concepito per avvicinare la scuola alla famiglia ma che, a suo parere, nell'arrivare sino alla esemplificazione delle piante-tipo e delle soluzioni formali univa "*alla banalità esasperante delle piante la sgrammaticatura dei prospetti fatti di un classichetto imbastardito*"[3].

La complessità e la variabilità dei processi in atto, brevemente accennate, traspaiono nelle relazioni e nelle soluzioni dei diversi progetti di edifici scolastici affidati agli Inverardi, di cui qui si riportano alcuni casi significativi in relazione alla specifica dimensione territoriale dell'Abruzzo interno.

L'asilo di Rivisondoli

Primo esempio è l'asilo infantile affidato a Giuseppe nel 1908 dalla Congregazione di Carità di Rivisondoli, una committenza religiosa, quindi, in continuità con il ruolo degli enti ecclesiastici nell'assistenza non solo scolastica. Nella relazione che accompagna il progetto definitivo, datata novembre 1910, il progettista ricostruisce l'iter complessivo, ricordando che nelle fasi iniziali era stato previsto l'utilizzo dell'area coperta dalla chiesa del Rosario o dell'Assunta, che per il suo stato di fatiscenza si era deciso di demolire[4]. Superata tale ipotesi i committenti assegnarono

un'area incolta posta a nord-est dell'abitato a un'altezza media di 1.346 metri s.l.m. Il progetto iniziale prevedeva un edificio a due piani, nel quale al piano superiore si prevedeva di collocare la sede amministrativa della Congregazione e un ospizio-ospedale. L'elevato costo del progetto indusse i committenti a limitare il progetto a un solo piano nel quale, oltre all'aula, era comunque presente l'abitazione della direttrice. La compresenza di più funzioni nell'edificio e in particolare quella dell'abitazione dell'insegnante è una caratteristica comune a molti altri progetti successivi degli Inverardi, una caratteristica che li lega alle scuole rurali sperimentate in quegli anni non solo in Abruzzo.

La distribuzione dei diversi locali su una pianta a forma di H consente di svincolare le diverse funzioni e di caratterizzare le diverse facciate, pur nella semplicità dettata dall'economia, come mostrato in Figura 1. Il risultato, scrive il progettista, mira a restituire l'idea di "*una residenza campestre la cui principale decorazione fosse il verde del parco circostante e lo splendido panorama della sottostante valle*". Tra le innovazioni di una struttura tradizionale in muratura in pietrame calcareo con malta di calce e pozzolana in fondazione e calce e arena nei muri fuori terra vanno segnalati sia l'indicazione del progettista per l'adozione di un sistema di riscaldamento a termosifoni ad acqua calda, igienicamente più idoneo ed efficace rispetto "*gli antiquati camini e le stufe a legna*" in climi così rigidi, sia quella per l'uso di blocchetti in cemento di forma parallelepipeda per le facciate a sostituzione dell'arricciatura d'intonaco, per la presenza di una fabbrica vicina e quindi per favorire

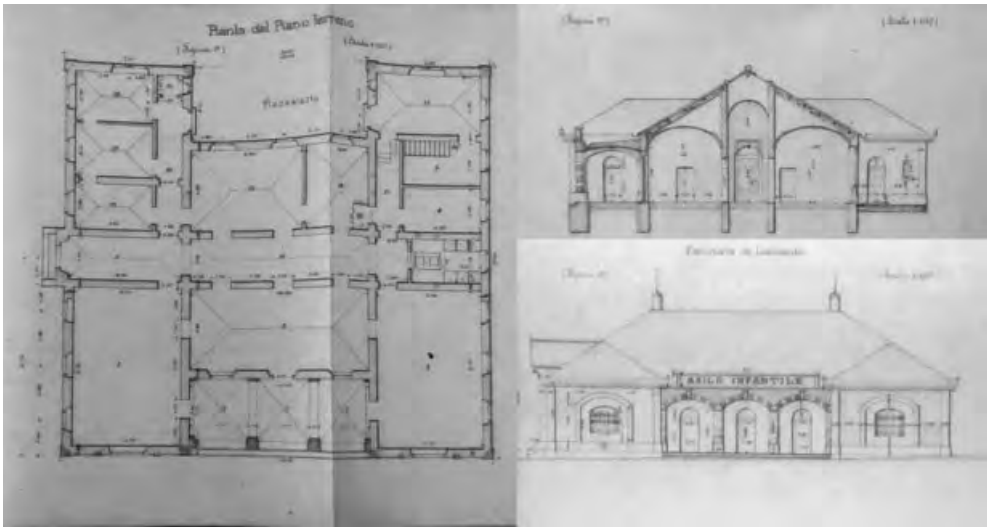


Fig. 1 – Giuseppe Inverardi: progetto per asilo infantile, pianta, prospetto principale e sezione trasversale, Rivisondoli, 1910 (da Archivio Inverardi).

l'indotto e l'economia locale, e, infine, il favore per l'utilizzo dell'eternit per il tetto. Un materiale, quest'ultimo, che in quegli anni si stava velocemente diffondendo in Europa per i suoi molti pregi e di cui il progettista vanta le lodi, citando, anche, il parere del Direttore dell'Imperiale Regio Museo tecnologico industriale di Vienna, che giudicava l'Eternit "*il migliore fra tutti i materiali di copertura ora in uso*". Anche per gli infissi l'ingegnere individua prodotti innovativi, elementi realizzati con lamine di acciaio zincate ottimi per durata e caratteristiche tecniche, introdotti in Italia da una non specificata società tedesca.

Gli anni tra le due guerre

Negli anni tra le due guerre Riccardo e Achille eseguono diversi progetti per edifici scolastici, tra i quali le elementari di Collemusino (1912-19), la scuola di Roccaraso (1935-38) e quella di Tagliacozzo (1925-26). In alcuni casi lo studio affronta modifiche e completamenti di opere già esistenti, operando anche ridistribuzioni interne finalizzate a migliorare la funzionalità degli interi plessi. Tra questi, è l'edificio scolastico di San Demetrio ne' Vestini[5], in cui l'ingegnere Riccardo Inverardi interviene tra il 1915 e il 1924 su una struttura incompiuta, in Figura 2. Da quanto emerge nelle relazioni del progettista, il complesso scolastico si caratterizzava per l'aspetto di "*un casermone senza ingressi*", con accessi "*disagevoli, poco decenti, nascosti e non rispondenti allo scopo*"[6]; era quindi necessario e urgente migliorarne l'accesso e la fruibilità mediante l'inserimento di una nuova entrata riservata alle bambine, che originariamente affacciava sul retro, e la realizzazione di una copertura sulla rampa riservata all'ingresso dei maschietti.

L'adeguamento della normativa sismica a seguito dei terremoti di Messina (1908) e della Marsica (1915), nonché la diffusione e la regolamentazione dell'uso del cemento armato nell'edilizia pubblica emergono nei progetti di Riccardo Inverardi

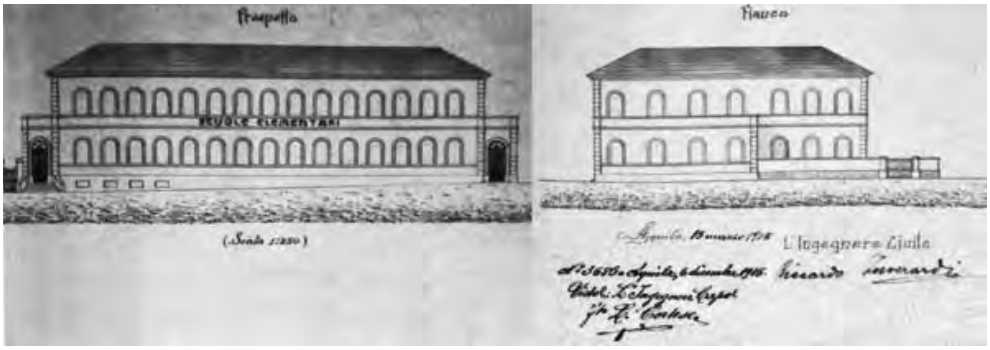


Fig. 2 – Riccardo Inverardi: progetto per la sistemazione e il completamento dell'edificio scolastico di San Demetrio, 1915 (da Archivio Inverardi).

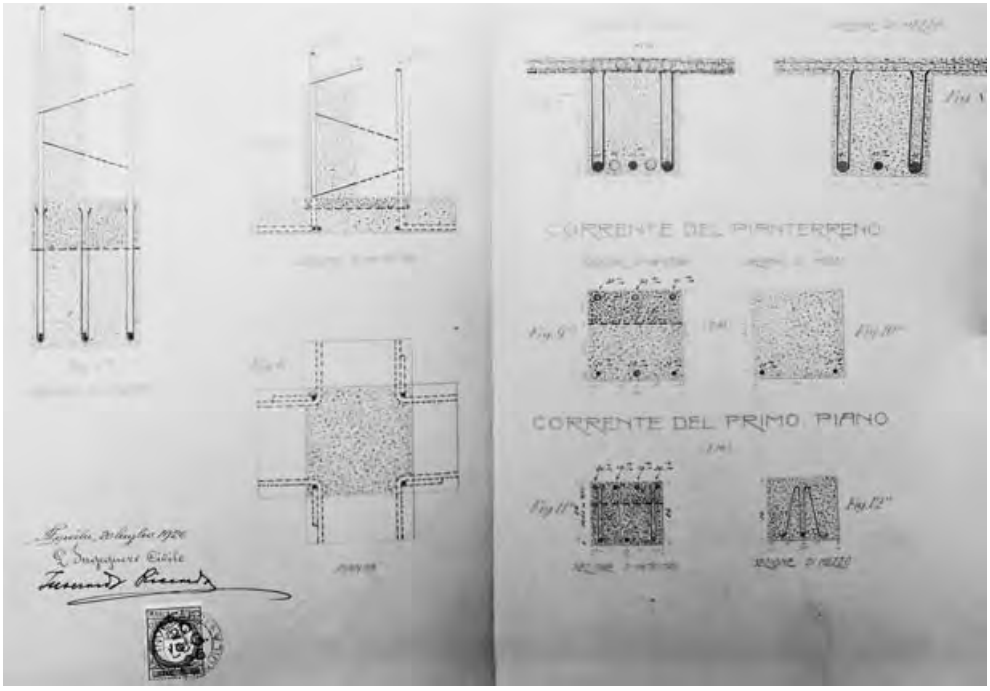


Fig. 3 – Riccardo Inverardi: dettaglio delle armature per l'edificio scolastico di Collepietro, 1926 (da Archivio Inverardi).

quali, valgano a esempio, gli edifici scolastici con annesso alloggio insegnanti di Collepietro e della frazione di San Benedetto in Perillis (1926-31). In questi edifici concepiti a un solo piano, l'ingegnere sperimenta l'uso di una struttura in calcestruzzo armato[7], mediante l'incatenamento della muratura al piano di pavimento e a quello di gronda con telai di cemento armato, in modo tale da contenere le deformazioni dei piani come mostrato in Figura 3.

Tra i numerosi progetti risultano particolarmente interessanti le scuole di Pettorano Sul Gizio e Capestrano, entrambe nella provincia de L'Aquila, che testimoniano come le competenze tecniche, la conoscenza delle esigenze didattiche, l'analisi dell'esposizione e la scelta attenta e scrupolosa dei materiali e delle tecnologie, anche strutturali, siano stati posti come caposaldi delle strategie progettuali in tutto l'ampio arco temporale di attività professionale dello studio Inverardi.

Pettorano Sul Gizio e l'edilizia scolastica progettata da Inverardi

Nel territorio comunale di Pettorano sul Gizio gli Inverardi progettarono vari edifici scolastici, diversi per numero e tipologia di alunni, iniziando verso la fine degli anni Venti e continuando fino quasi ai Sessanta.

Uno dei primi, risalente al 1928 a firma di Achille, è una scuola rurale per l'istruzione dei contadini con aula unica e alloggio per l'insegnante. L'edificio, dalle scelte progettuali semplici e funzionali che richiamano alcuni interventi già realizzati nell'agro romano e la cui tipologia fu promossa dall'architetto Mario De Angelis-Egidi (1931)[8], è organizzato separando le due funzioni di istruzione e alloggio, rese indipendenti e con ingressi separati ma con una ottimale distribuzione funzionale per l'esposizione e i servizi. In particolare, il fronte principale di ingresso per gli studenti presenta gli affacci dei servizi igienici e della cucina dell'alloggio, mentre sono completamente indipendenti dallo spazio pubblico gli affacci della camera dell'alloggio e dell'aula. La struttura è in muratura e poggia su un basamento in calcestruzzo armato, con montanti e cordoli di coronamento in calcestruzzo di confinamento per la muratura, con solaio di sottotetto in soletta armata e copertura in lastre di eternit.

Il 25 settembre 1933 il territorio comunale fu colpito da un evento sismico di notevole intensità[9] che, tra i notevoli danni a gran parte del patrimonio immobiliare del territorio, causò il parziale crollo dell'asilo infantile comunale. L'esigenza della sua ricostruzione comportò la redazione di vari progetti, il primo dei quali commissionato ad Achille Inverardi che, nel marzo del 1934, ne ipotizzò la ricostruzione al di fuori del centro abitato, in prossimità del tratturo regio e della stazione ferroviaria.

Il progetto interessa un'area di circa 800 m^2, con un'estensione del fabbricato di 350 m^2, laddove le dimensioni dell'edificio distrutto dal sisma erano di 880 m^3 (11 m · 10 m · 8 m). L'edificio fu concepito per rispondere ai requisiti igienico-sanitari dell'epoca, con il piano principale rialzato su uno scantinato e un'ampia zona esterna da utilizzare per l'educazione fisica. Si accede tramite una scalinata che conduce all'ingresso principale nel quale sono simmetricamente situati due vani, uno a servizio del custode e l'altro a uso ripostiglio, e da cui si giunge a un ampio salone per le attività ricreative, al refettorio, agli uffici, ai servizi igienici e all'aula, dimensionata per sessanta alunni. Nel piano seminterrato sono invece collocati i vani a servizio delle attività scolastiche quali cucina, dispense, ripostigli e locali tecnici. La struttura è in muratura portante in pietrame per il piano scantinato, e con elementi intelaiati in calcestruzzo armato (pilastri e cordoli) misti a muratura per il piano rialzato.

Come mostrato in Figura 4, la scelta della configurazione planimetrica dell'immobile e del suo posizionamento nel lotto di pertinenza fu dettata dall'esigenza di dover garantire la migliore illuminazione per gli spazi didattici; infatti, l'orientamento dell'edificio segue l'asse sud-ovest con il lungo fronte principale rivolto in maniera tale da ricevere luce diretta solo nell'arco del pomeriggio e garantire una luce indiretta, ottimale per lo svolgimento delle lezioni nella mattinata. Tuttavia, il progetto non venne realizzato così come documenta una relazione redatta nel 1953 nella quale, motivando la richiesta di realizzazione di un terrazzo esterno, Achille Inverardi conferma la costruzione dell'asilo in corrispondenza del centro storico, e non più esternamente dall'abitato, in quanto "*l'accedervi sarebbe molto disagevole*

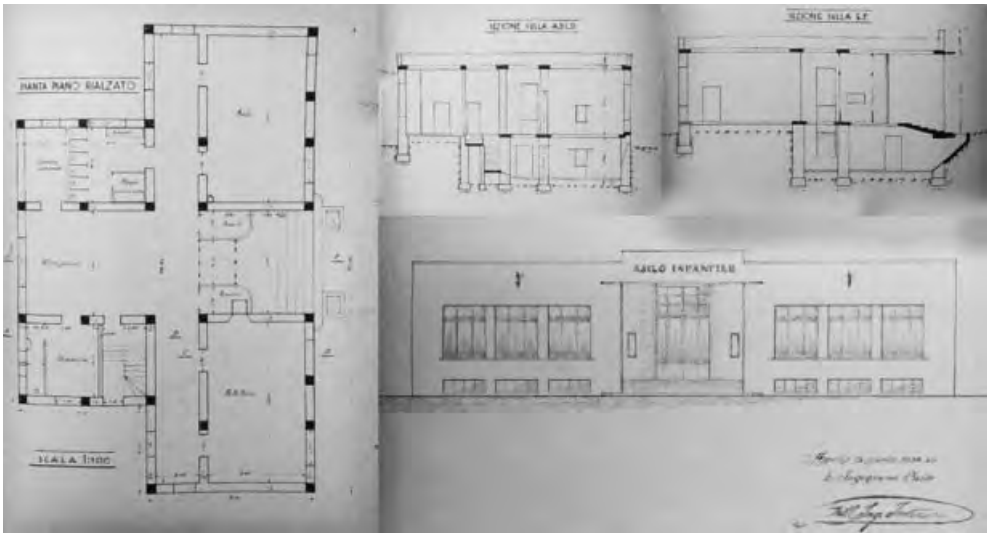


Fig. 4 – Riccardo Inverardi: progetto di costruzione di un asilo infantile per il comune di Pettorano Sul Gizio, in provincia di L'Aquila, disegni, 1934 (da Archivio Inverardi).

specie d'inverno. Molto opportunamente codesto Comune è venuto nella determinazione di sistemare ad asilo il fabbricato sotto la Piazza Umberto I "[10].

Le sperimentazioni sull'edilizia scolastica furono portate avanti anche da Pierluigi Inverardi, figlio di Achille, che negli anni Cinquanta ricevette la commissione per un edificio scolastico nella contrada Noce D'Isabella[11]: si tratta di un piccolo plesso composto dall'accostamento di elementi a blocco, di cui due aule e due alloggi, organizzati intorno a uno spazio centrale di servizio, con atrio di ingresso e servizi igienici, come mostrato in Figura 5.

Il caso di Capestrano: l'edificio scolastico e l'evoluzione progettuale

Anche l'edificio scolastico di Capestrano rappresenta un interessante caso di studio, dall'iter progettuale complesso. Infatti, un primo progetto, promosso da Riccardo Inverardi nel 1919 e approvato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel 1922, prevede la realizzazione di due distinti corpi di fabbrica: l'edificio scolastico con annesse palestre maschili e femminili all'aperto e un nucleo centrale comune con copertura propria. L'edificio scolastico è costituito da un corpo longitudinale spazialmente suddiviso in tre blocchi, uno centrale e due laterali, in modo da differenziare gli ambiti di pertinenza maschile e femminile ai quali si accede da due ingressi separati, quello per i maschi in posizione centrale nel prospetto principale, nel blocco del connettivo e quello femminile laterale, e articolandosi in più livelli: il livello a terra, destinato alle alunne e a una sezione di scuola d'infanzia, e il primo piano per

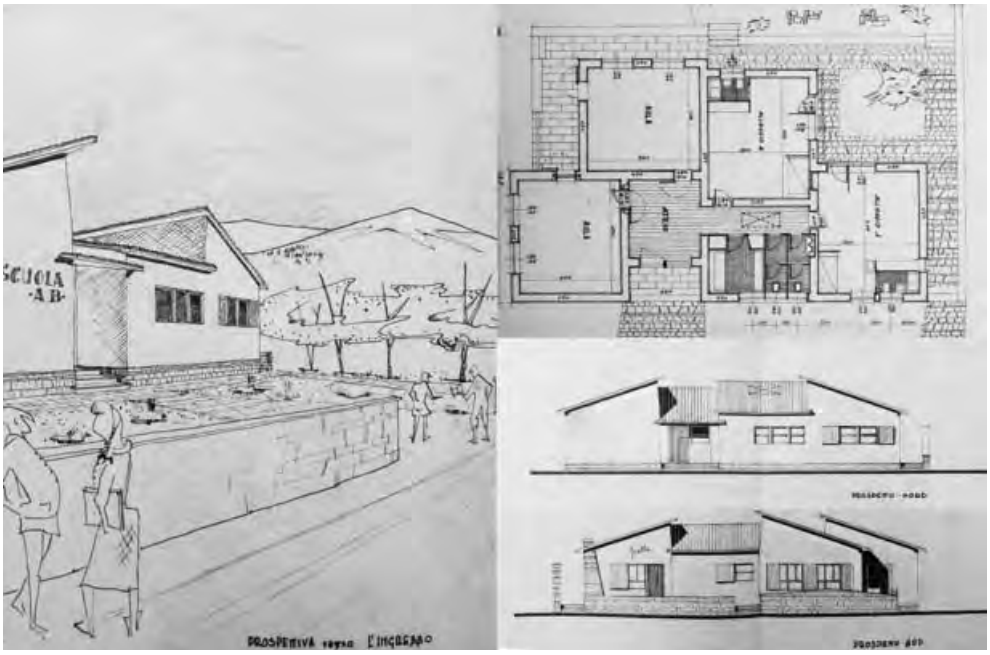


Fig. 5 – Pierluigi Inverardi: progetto per la costruzione di una scuola con due aule ed alloggi in "Contrada Noce Isabella", 1955 (da Archivio Inverardi).

gli alunni. Gli ambienti dei due livelli sono articolati nello stesso modo, con le aule orientate verso la corte interna, destinata alla palestra, un lungo corridoio centrale per tutta la lunghezza dell'edificio, i servizi e i locali per insegnanti, biblioteca e direzione nei due blocchi laterali, in Figura 6.

La necessità di apportare una prima variante al progetto fu dettata dalla mancata realizzazione della palestra esterna, nell'area retrostante la scuola, di alcune aree scoperte e della corte comune coperta. La distribuzione interna della scuola subì così delle modifiche, dovendo inglobare al proprio interno anche i locali per l'educazione fisica. Lasciando immutati gli ingressi, ancora separati tra maschi e femmine, fu modificato l'accesso laterale, opposto a quello delle donne, riservato alla palestra e non più all'asilo infantile, eliminato nel nuovo progetto; alcune delle aule mutarono così destinazione, diventando spazi per le palestre maschile e femminile. Alcune porzioni del fabbricato, tra il blocco centrale e le due laterali, nei disegni, di cui in Figura 7 è riportato un esempio, sono entrambe contrassegnate con "*parte soppressa*".

Nel 1932 il progetto subì ulteriori sostanziali variazioni, sia nella disposizione planimetrica sia negli alzati: Riccardo Inverardi propose, di fatto, una nuova soluzione,

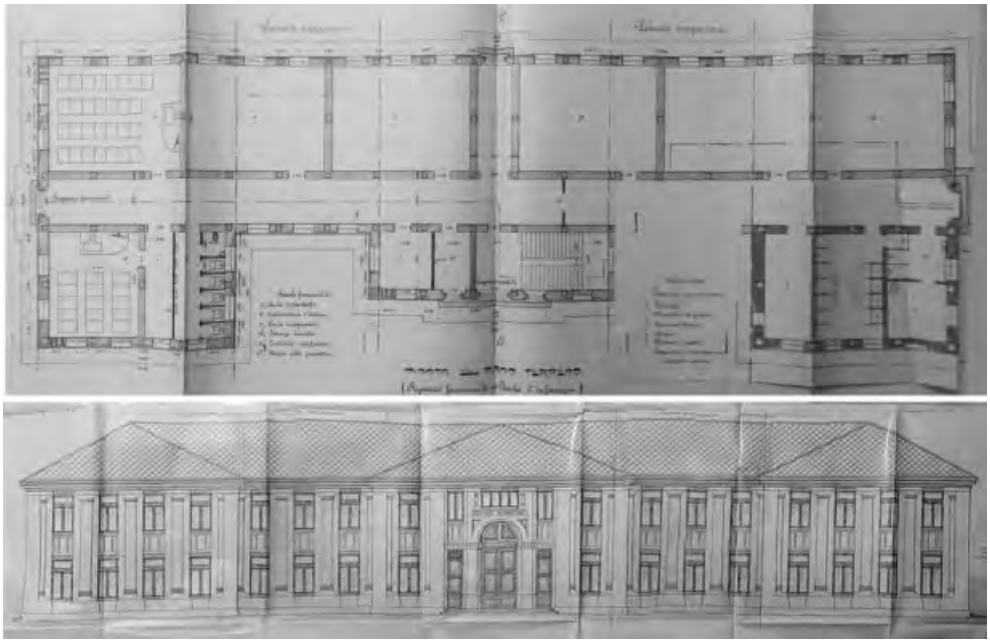


Fig. 6 – Riccardo Inverardi: progetto dell'edificio scolastico del comune di Capestrano, pianta piano terra e prospetto principale, 1919 (da Archivio Inverardi).

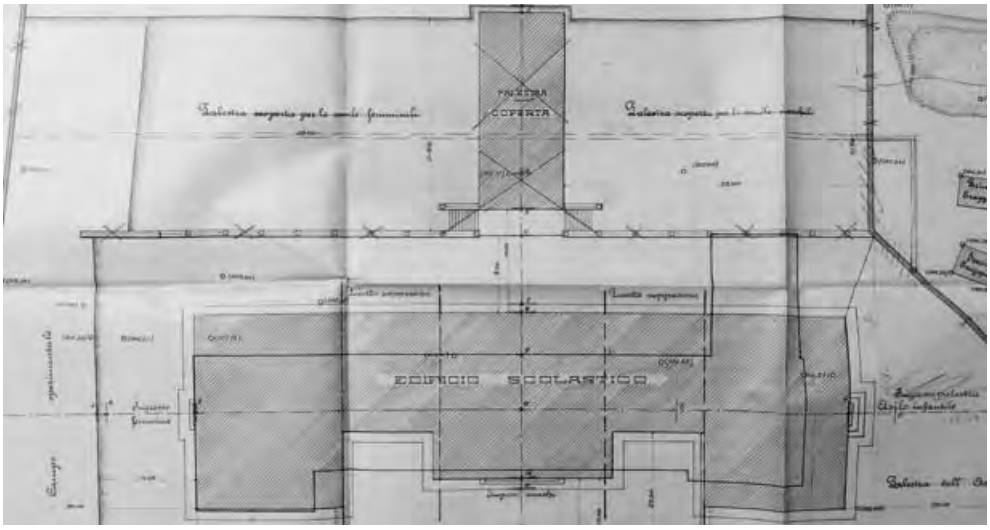


Fig. 7 – Riccardo Inverardi: progetto dell'edificio scolastico del comune di Capestrano, planimetria generale, 1919 (da Archivio Inverardi).

in continuità con la logica del progetto precedente ma di diverse dimensioni. L'edificio ha ancora un unico corpo longitudinale, ma con blocchi laterali meno "pronunciati" e un'appendice terminale verso il retro destinata alla palestra. Il sistema degli ingressi viene completamente ribaltato: quello maschile viene spostato sul fronte stretto laterale, mentre quello delle donne sul fronte principale ma in posizione defilata. Il piano terra è riservato ai maschi, presenta ancora un lungo corridoio e affacci delle aule verso la corte interna, mentre l'accesso al livello superiore viene garantito da un connettivo prossimo all'ingresso femminile. Il blocco laterale verso l'ingresso maschile presenta, in entrambi i livelli, i servizi igienici, mentre il corrispettivo del fronte opposto viene suddiviso in ambienti a servizio della palestra, al piano terra, e stanze per la direzione, al livello superiore. Alla palestra, congiungendosi all'angolo del corpo longitudinale, si può accedere da un ingresso sia esterno, situato nella corte retrostante, sia dall'interno, dall'atrio dell'ingresso femminile e del corpo scala. In Figura 8 sono riportati la pianta del piano terra e il prospetto principale.

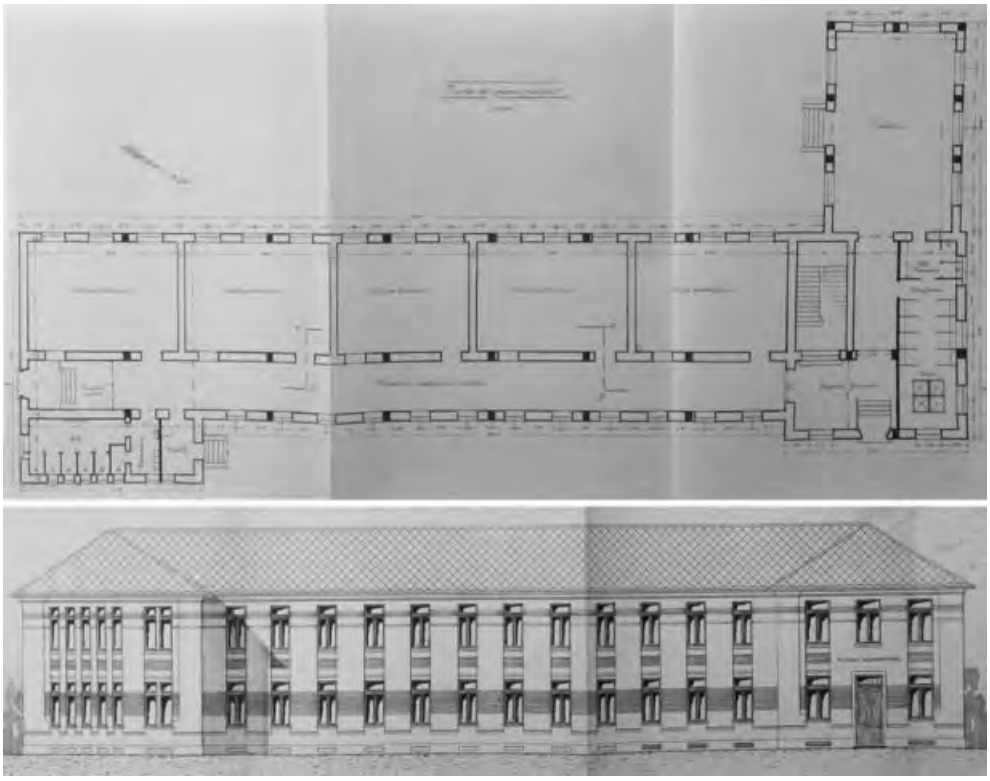


Fig. 8 – Riccardo Inverardi: progetto dell'edificio scolastico del comune di Capestrano, pianta piano terra e prospetto principale, 1932 (da Archivio Inverardi).

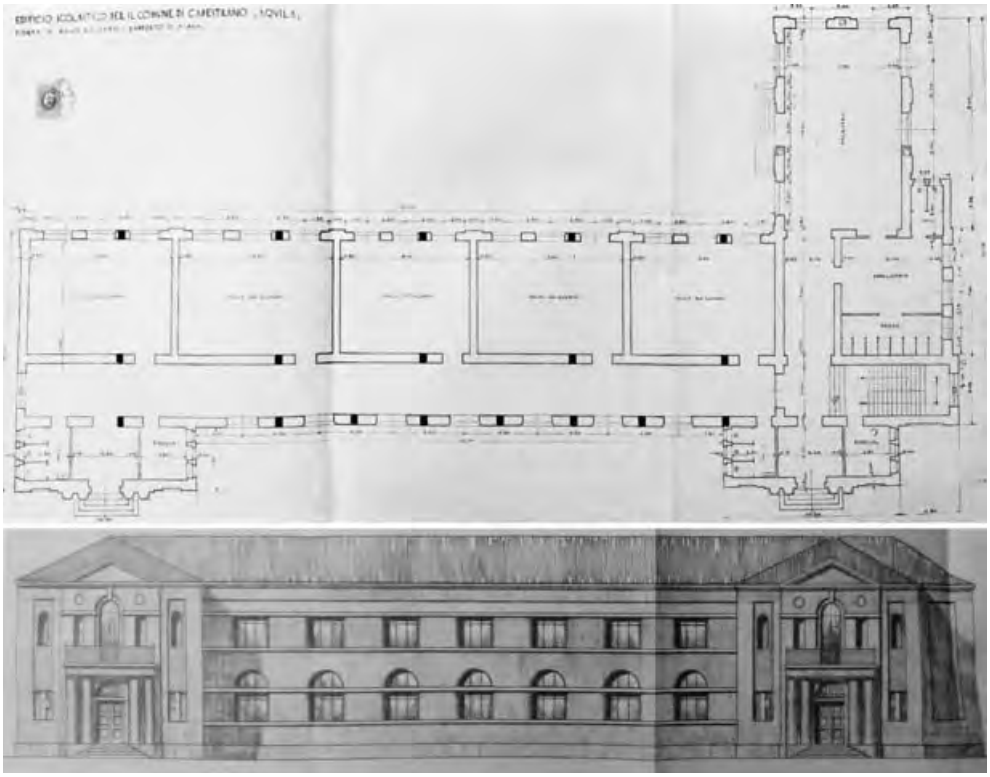


Fig. 9 – Riccardo Inverardi: progetto dell'edificio scolastico del comune di Capestrano, pianta piano terra e prospetto principale, 1933 (da Archivio Inverardi).

Il progetto definitivo, poi realizzato, venne redatto l'anno successivo, con ulteriori modifiche in pianta e in alzato. A differenza della variante precedente, però, le modifiche nella disposizione planimetrica sono più contenute e riguardano l'organizzazione degli spazi, in accordo a esigenze del tipo formale-funzionale e, probabilmente, strutturale. Nello specifico, i due ingressi maschile e femminile sono portati sul fronte principale, in corrispondenza dei due blocchi laterali, mentre il blocco scala viene spostato lateralmente; rimangono invariate le disposizioni delle aule, maschi al piano terra e femmine al primo piano, con corridoio centrale e aule affacciate verso la corte interna, e palestra accessibile dall'interno e dall'esterno, con servizi spogliatoio-docce in corrispondenza del blocco laterale nell'elemento longitudinale, in Figura 9.

In tutte le soluzioni progettuali la struttura è del tipo misto in muratura e telaio in calcestruzzo armato, mentre il blocco scala presenta una struttura in acciaio per le rampe dal piano terra al primo piano.

Conclusioni

La selezione dell'attività Inverardi nel campo delle scuole, qui tracciata, è parte integrante e significativa di un ampio panorama di architetture per l'istruzione realizzate nell'Abruzzo interno nel primo Novecento. Un panorama da cui emergono riflessioni, scelte e soluzioni progettuali portate avanti da professionisti di fama nazionale, qui strettamente legate alla peculiarità del contesto storico e territoriale; basta ricordare, in tal senso, i progetti per gli asili nido degli ingegneri Gustavo Giovannoni, per i centri della Marsica colpiti dal terremoto del 1915, e le scuole di Marcello Vittorini per la bonifica agraria del Fucino.

Fonti archivistiche

Archivio Privato Studio Tecnico Inverardi

Bibliografia

Ciranna S., Felli M. 2018a. Ingegneria e Architettura lungo un secolo di storia. Lo studio degli ingegneri Inverardi dell'Aquila. Proceedings of the 3rd International Conference of History of Engineering (S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano eds.), Naples, April 23rd-24th, I, 749-760. Napoli: Cuzzolin.

Ciranna S., Felli M. 2018b. La villa comunale come spazio urbano, ricordo e partecipazione sociale: il progetto del giardino di Pescocostanzo nell'archivio storico degli Ingegneri Inverardi dell'Aquila. Bollettino n. 17 dell'Associazione nazionale Archivi di Architettura.

De Angelis-Egidi M. 1931. Edilizia scolastica rurale. Architettura e Arti Decorative, X, 853-864.

Morpurgo V. 1921. Gli edifici scolastici e la Minerva. Architettura e Arti Decorative, I, f. IV, 357-374.

Note

1. Lo spoglio dell'archivio, tutt'ora in corso da parte degli Autori, ha consentito alcuni approfondimenti sulla famiglia di progettisti e l'operato nel campo della progettazione idraulica, civile, residenziale e infrastrutturale (Cfr. Ciranna e Felli, 2018a e b).
2. Il testo è frutto di un lavoro di ricerca e di riflessione congiunto tra gli Autori; elaborato precisamente da: Simonetta Ciranna *Introduzione*, *La famiglia Inverardi* e *l'edilizia scolastica, L'asilo di Rivisondoli, Gli anni tra le due guerra* e *Conclusioni*; Francesca Geminiani *Pettorano Sul Gizio e l'edilizia scolastica progettata da Inverardi*; Marco Felli *Il caso di Capestrano: l'edificio scolastico e l'evoluzione progettuale*.
3. Morpurgo (1921) intende ribadire il ruolo dell'architetto, polemizzando anche con il lavoro dell'ingegnere in tale ambito.
4. Nel 1895 Giuseppe aveva eseguito il rilievo della chiesa ai fini di un progetto di restauro presentato alla Congregazione nel 1896. L'ingegnere utilizzò il rilievo per eseguire i disegni dell'asilo che presentò alla Congregazione insieme al preventivo nel 1909. Da (Relazione in Archivio Inverardi, da cui sono tratte anche le citazioni successive).
5. L'edificio, nel frattempo divenuto sede dell'amministrazione comunale, a seguito del sisma del 6 Aprile 2009 risultava inagibile, con diffusi danneggiamenti sulle murature portanti.

6. Il testo è tratto dalla *Relazione sui lavori di sistemazione e di completamento dell'edificio scolastico di San Demetrio* scritta da Riccardo Inverardi, 1915-1924, e conservata nell'Archivio Inverardi.
7. Nel caso dell'edificio scolastico di Collepietro, l'obbligo dell'uso di strutture in calcestruzzo armato scaturisce dalla categorizzazione sismica "di secondo livello" in base all'ubicazione del comune.
8. Cfr. De Angelis-Egidi (1931). Il riferimento a De Angelis-Egidi è tratto dalla *Relazione sul progetto di fabbricato costituito di un'aula scolastica e alloggio insegnante, per la scuola contadini nel commune di Pettorano Sul Gizio*, datata 17 settembre 1928 e conservata nell'Archivio Inverardi.
9. Con danni tra l'VIII e il IX grado della scala Mercalli (fonte: INGV).
10. Dalla *Relazione del progetto sui lavori di sistemazione e costruzione del terrazzo esterno per l'asilo infantile nell'abitato del comune di Pettorano Sul Gizio*, conservata nell'Archivio Inverardi.
11. L'edificio, entrato in funzione negli anni Cinquanta, risulta oggi in stato di abbandono, dopo essere stato affittato fino al 2007 (fonte: Delibere di giunta, Pettorano Sul Gizio).

Lia M. Papa

Gli ingegneri e la rappresentazione grafica dei territori nell'Ottocento

Abstract
The reflections acquired in recent years on the evolution of the knowledge and skills of the civil engineer have led me to highlight some critical issues in relation to the ever less attention paid to historical cartography and its semantic apparatus, intended as an inevitable source of information for the knowledge of the transformations and contexts in which the civil engineer operates. This contribution therefore wants to focus on the cartography that supported many of the significant design choices that occurred in the nineteenth century, with particular reference to southern Italy, and at some of the many figures who at the time were able to manage competently the description of the territories.

Introduzione
In tempi recenti l'innovazione tecnologica, che ha pervaso con crescente velocità tutti i campi tecnico-scientifici, ha avuto un forte impatto anche sulla cartografia, aprendo la strada, tra l'altro alla possibilità di archiviare e confrontare informazioni di vario formato e diversa epoca. Ciò richiede, a maggior ragione, la capacità di analizzare e selezionare forme espressive derivanti da varie culture grafiche.

Tuttavia sempre minore attenzione viene prestata alla cartografia storica e al suo apparato semantico, ritenendo sovente che le evolute tecnologie hardware e software possano sostituire e non supportare il tecnico nella gestione consapevole e critica di informazioni complesse e diversificate.

La rappresentazione cartografica nella transizione tra Settecento e Ottocento. Esigenze e competenze
La rappresentazione urbana e territoriale, consolidando un processo avviato nella seconda metà del Settecento, ha vissuto una stagione di forte impulso nell'Ottocento, quando si pone in modo pressante il problema della definizione delle procedure e delle modalità descrittive atte a supportare non solo lo sviluppo urbano e la progettazione di opere puntuali, ma soprattutto la realizzazione di infrastrutture a rete, viarie e ferroviarie, e la bonifica di vaste aree, destinate all'espansione urbana e industriale, oltre che all'agricoltura (Valerio, 1993).

La realizzazione delle strade ferrate viene infatti rallentata dalla scarsa conoscenza di molti territori, spesso paludosi e malarici. Anche le reti stradali si presentano per tutto il XVIII secolo piuttosto carenti, con tracciati che, specialmente nei passaggi appenninici, si sfilacciano in molti percorsi alternativi, dovuti agli ostacoli orografici e ai corsi d'acqua, privi di attraversamenti. Il quadro dell'epoca mostra in particolare un sud dell'Italia quasi privo di vie di comunicazione, a eccezione di alcune strade che convergono verso Napoli e di un primo sviluppo della rete stradale in Puglia.

La progettazione di interventi dalla portata estesa, sia spazialmente che temporalmente, richiede il puntuale rilievo di molte zone, alcune delle quali mutate per effetto di devastanti eventi naturali, quali terremoti ed eruzioni vulcaniche e il consolidarsi dell'esperienza di numerosi ingegneri, alcuni dei quali vengono chiamati a operare anche oltreoceano[1].

Le rappresentazioni si allontanano sempre più dalle vedute prospettiche, dalle pseudo assonometrie a volo d'uccello: le esigenze di misurazione e di progettazione richiedono informazioni oggettive che vengono supportate dai fondamenti della scienza della rappresentazione, oltre che dall'evoluzione delle tecniche e delle strumentazioni.

Dalle carte scompaiono quindi i cartigli, le cornici elaborate, il corollario aulico che pure ha caratterizzato la fase di transizione tra Settecento e Ottocento, a favore di una rappresentazione più essenziale, dal sempre maggiore intento comunicativo, che spesso è sintesi di immagini dalle scale diverse, accompagnate da legende esplicative o dati statistici.

Il disegno di progetto, con le sue tematizzazioni, rappresenta per l'epoca un campo di primaria importanza che si lega al rilievo e alla descrizione dei luoghi.

Nell'immagine di Figura1 sono composte tre carte, esemplificative di altrettanti ambiti operativi: quello economico-peritale, all'apparenza ancora vincolato alle tradizioni espressive dei tavolari e degli agrimensori, l'ambito di studio dei siti archeologici, di più recente impulso culturale, e infine quello legato alla progettazione delle reti ferroviarie. Tali campi operativi vedono il confronto di competenze sempre più specialistiche, e che richiedono anche forme espressive dedicate e diversificate.

La pratica del rilievo a media e grande scala si pone come centrale all'interno della più generale questione della rappresentazione oggettiva, unitamente alla regolamentazione della grammatica sottesa alle descrizioni.

In tale direzione fornisce un significativo contributo Federico Schiavoni, ingegnere, nato a Manduria nel 1810, che opera a Napoli dove sviluppa la sua competenza, oltre che come docente, presso l'Ufficio topografico, del quale diventa Direttore dal 1871 al 1880[2].

I cambiamenti visivi che si manifestano nel XIX secolo beneficiano anche della stretta relazione che si va a instaurare tra fotografia e cartografia, grazie all'analisi critica del metodo fototopografico elaborato da Aimé Laussedat (1819-1907) che fa-

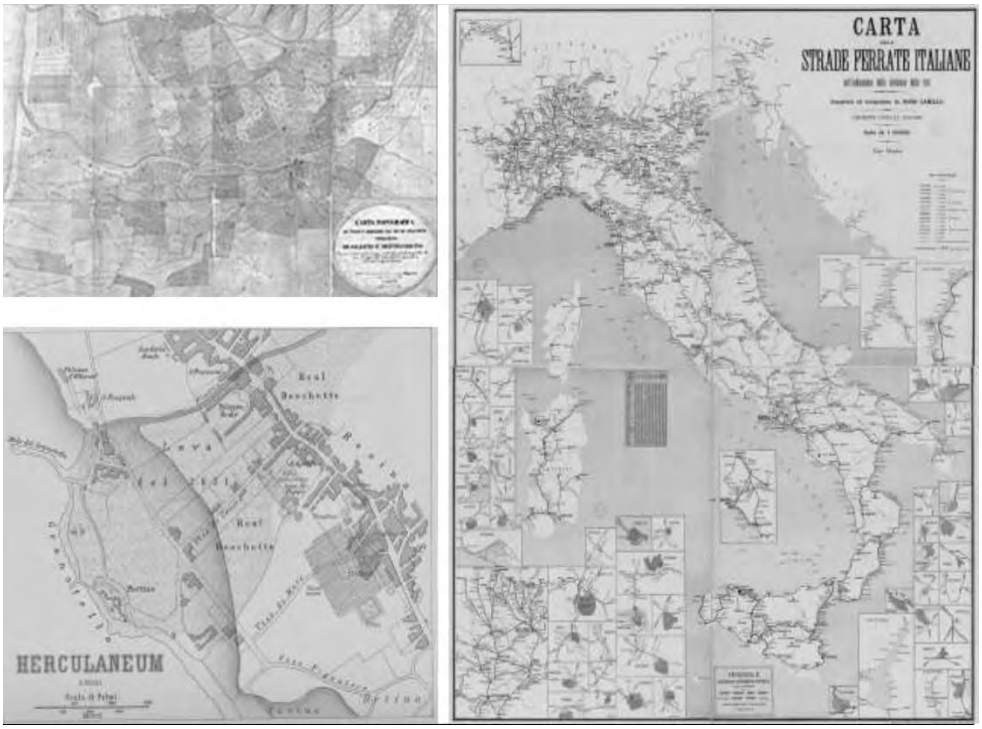


Fig. 1 – A sinistra, in alto: Carta topografica de' terreni irrigabili dal fiume Picentino nella piana di Salerno e Montecorvino, A.S.S., Intendenza, b. 1456, f.lo 1. A sinistra, in basso:Pianta di Herculaneum (da Beloch, 1879). A destra: Carta delle strade ferrate italiane, 1885. Ed. Crivelli. Bibliothèque Nationale de France.

vorisce un percorso che si consolida nel secolo successivo, grazie alla ricchezza dei dettagli memorizzati dalla fotografia[3].

Per leggere l'avvio di un sistematico processo di riorganizzazione del linguaggio cartografico, bisogna tuttavia risalire ai lavori della commissione del Direttorio, riunita a Parigi agli inizi dell'Ottocento (1802), il cui operato è stato peraltro oggetto di vari studi (Valerio, 2014).

Vengono riprese le categorie tipiche della rappresentazione settecentesca, fortemente influenzata dai concetti di imitazione della natura, ma anche dalla rappresentazione geometrico-descrittiva, soprattutto per quanto attiene la descrizione della orografia dei territori per la quale si consolida gradualmente il metodo delle proiezioni quotate e quindi la rappresentazione a curve di livello (Papa, 2019).

Si sperimentano inoltre nuove forme descrittive che oggi chiameremmo ipertestuali, per cui le mappe sono spesso e contemporaneamente sintesi di linguaggi.

La rappresentazione dei territori delle bonifiche

Nei territori meridionali della penisola la volontà di uscire da una condizione di arretratezza economica e sociale, incrementata spesso dalle difficili condizioni orografiche dei luoghi, determina la necessità di consentire all'agricoltura e agli insediamenti civili di conquistare le aree pianeggianti, spesso insalubri e paludose a causa dei numerosi corsi d'acqua a carattere torrentizio, non regimentati. Sicché le bonifiche vengono individuate come le opere fondamentali per lo sviluppo sia agricolo che industriale, atte a consentire la rinascita economica in aree considerate improduttive, e anche a rendere utilizzabili zone di possibile espansione urbana

Nel territorio della Campania i corsi d'acqua, a prevalente carattere torrentizio, provengono in gran parte dalla vasta area vesuviana; essi si disperdono nella piana, determinando all'epoca danni e condizioni insalubri, Figura 2.

Fig. 2 – Carta topografica ed idrografica dei contorni di Napoli levata per ordine di S.M. Ferdinando 1°. Re del Regno delle Due Sicilie dagli ufficiali dello Stato Maggiore e dagl'ingegneri topografi negli anni 1817-1818-1819. Ministero dei Lavori pubblici, Bonifiche, I serie, f. 75.

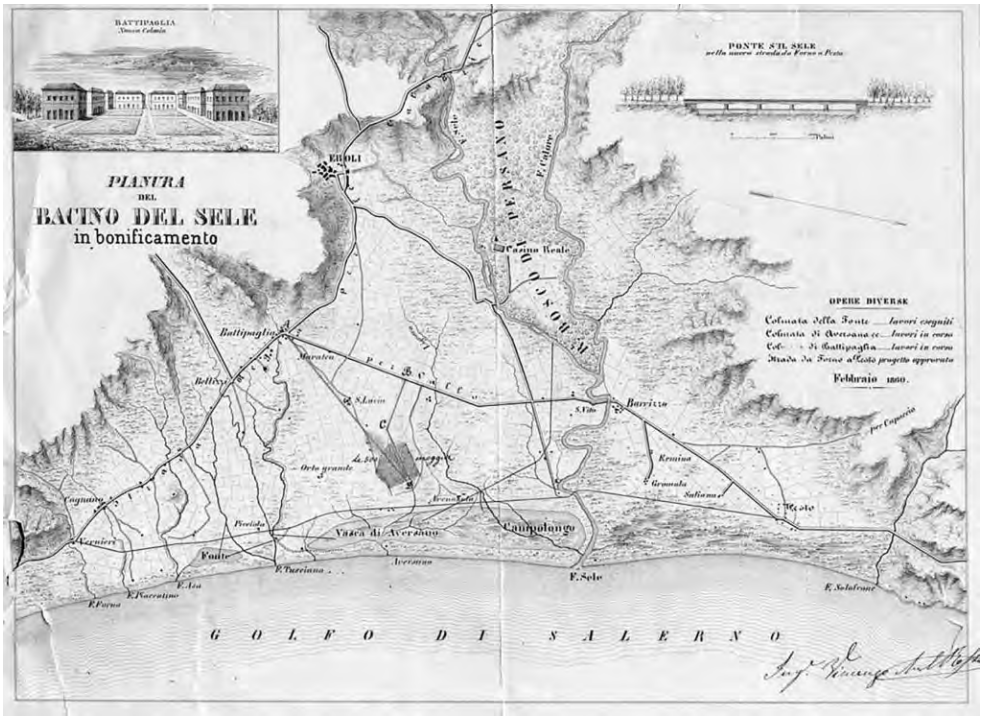


Fig. 3 – Pianta del bacino del Sele in occasione di una bonifica, 1860. Archivio di Stato di Salerno, Genio Civile, b 135 f 240.

Ancora alla fine del Settecento una delle aree affette da tali problemi è quella del fiume Sele, che si estende per circa 300 km^2 con una forma assimilabile a un triangolo; in essa i nuclei abitati sono concentrati lungo i margini della pianura, e comunque in posizioni topografiche rilevate. Dopo essere stata intensamente coltivata nell'antichità, la bassa piana del fiume Sele in epoca medievale risulta praticamente disabitata. La frequentazione è limitata alle sue riserve di caccia, caratterizzate dalla presenza di boschi e ricche di selvaggina.

Il corso del Sele, al pari del Volturno, del Sebeto e del Sarno, è uno straordinario palinsesto di testimonianze d'arte e di storia. Tra la seconda metà del XVIII e la prima metà del sec. XIX, questo territorio è perciò tappa obbligata per viaggiatori e disegnatori illustri, tra cui Canova, Goethe, Viollet-le-Duc, Dickens; ognuno di loro lascia una testimonianza con schizzi, disegni, testi e note di taccuino di viaggio (De Lucia, 1854).

Un disegno organico di sistemazione del territorio e di riassetto del regime idrico alla destra del Sele viene avviato nei primi anni del XIX secolo da Carlo Afan de Riviera, la cui conoscenza della geografia meridionale gli consente di effettuare interventi infrastrutturali di ampio respiro (Ciasca, 1928) come mostrato in Figura 3.

Con l'Amministrazione borbonica vengono iniziati diversi progetti e un numero considerevole di bonifiche piccole e grandi in Calabria, valle del Crati e nella piana di Rosarno, e in Puglia, nel Brindisino e nel Tavoliere, ma prevalentemente in Campania, dove sono interessati il bacino inferiore del Volturno, le paludi di Napoli e Volla, il bacino inferiore del Sele, il Vallo di Diano, l'Agro Sarnese, i torrenti di Somma e Vesuvio, i torrenti di Nola, i torrenti dell'Agro Nocerino, i Regi Lagni, gli stagni di Marcianise e il lago d'Averno. Tuttavia, l'impegno economico richiesto rappresenta un ostacolo per la piena realizzazione di gran parte di tali progetti.

Il 17 novembre del 1847 nasce il Ministero dei Lavori Pubblici che ha competenze nella realizzazione di interventi infrastrutturali.

Solo nel 1855 viene creata l'Amministrazione Generale di Bonificazione, con il compito specifico di presiedere e coordinare tutte le opere di risanamento idraulico. Dieci anni dopo l'ingegnere Raffaele Pareto riceve l'incarico di predisporre un quadro esaustivo sulla condizione dell'agricoltura nazionale, preliminare alla elaborazione di mirati progetti di risanamento, in Figura 4. Interesse dell'indagine è quello di censire e rappresentare i terreni paludosi, calcolati all'incirca in un milione di ettari, improduttivi e anzi nocivi per la salute pubblica (Pareto, 1855).

Pareto —

SULLE

BONIFICAZIONI DELLE PALUDI

ESISTENTI

NELLE PROVINCIE DI TERRA FERMA

DELL' EX REGNO DI NAPOLI

RELAZIONE

A S. E. IL MINISTRO DI AGRICOLTURA, INDUSTRIA E COMMERCIO

(F. DE BLASIIS)

MILANO

TIPOGRAFIA E LITOGRAFIA DEGLI INGEGNERI

Via della Lupetta N.mo 6.

1867

Fig. 4 – Relazione di Raffaele Pareto, Milano, 1867.

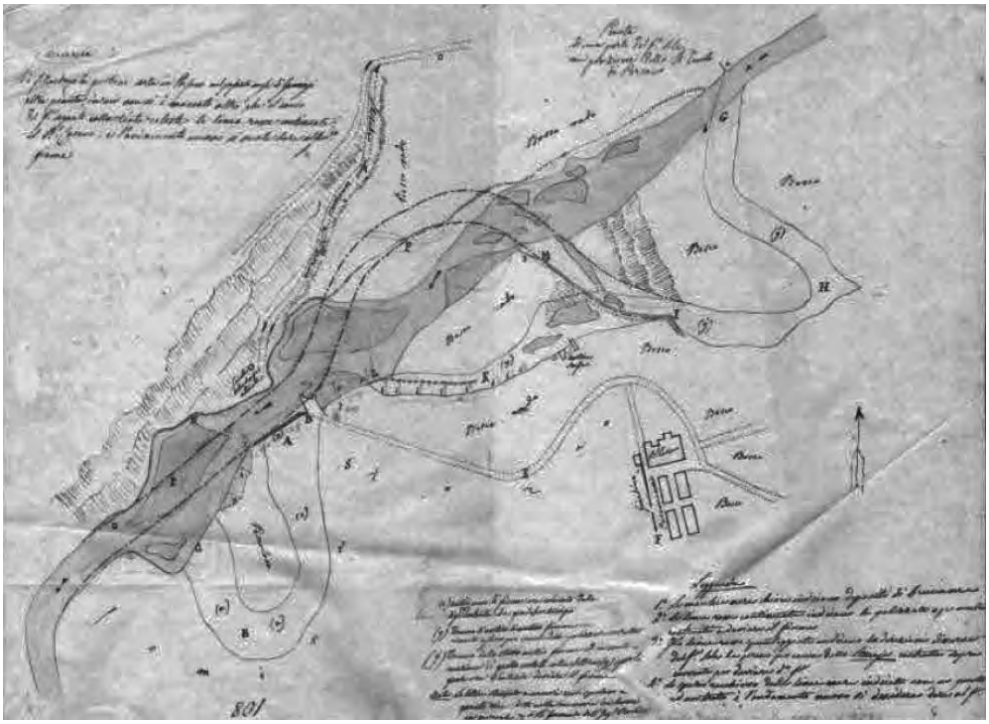


Fig. 5 – Descrizione dei lavori di deviazione del fiume Sele in località di Persano Archivio di Stato di Salerno, Intendenza, b. 3086 flo101.

Diventato ispettore di I classe del Genio civile, Pareto viene chiamato nel Comitato confermato nel Consiglio superiore dei Lavori pubblici.

L'indagine culmina con la promulgazione della Legge Baccarini del 1882, titolata "*Norme per la bonificazione delle paludi e dei terreni paludosi*", alla quale si legano numerose mappe tematiche.

La necessaria, minuziosa analisi topografica e cartografica descrive le difficoltà orografiche dei territori e la presenza dei tanti corsi d'acqua, permettendo di realizzare opere d'arte gran, parte delle quali previste in muratura. Ad esse lavora, tra gli altri, l'ingegnere Francesco Giordano, soprattutto in relazione alla costruenda linea ferroviaria che attraversa il Cilento, fino a Sapri e Maratea.

In Figura 5 è riportata una planimetria con la *Descrizione dei lavori di deviazione del fiume Sele in località di Persano*, dove è prevista una diga.

Hackeet, nel suo quadro in Figura 6, ha immortalato la "casina della scafa", che identifica il luogo in cui avviene il traghettamento di persone e merci.

Fig. 6 – P. Hackert: la scafa di Persano, 1782, gouache, Palazzo Reale di Caserta, inv. 545.

In realtà fin dall'antichità vi sono testimonianze di opere di attraversamento e di progetti che impiegano materiali vari, per contrastare anche l'impetuosità del fiume. Di fatto nel 1871, su progetto di Giustino Fiocca, inizia la realizzazione del ponte in muratura, a una sola grande arcata, in Figura 7, che collega le due sponde del fiume Sele, tra Eboli e Capaccio[4].

Si consolida così un fertile periodo di progetti e opere che viene accompagnato da una ricca produzione cartografica, attenta alla descrizione dei manufatti e dei loro contesti, sperimentando nuovi simboli che coniugano connotazioni iconiche e simboliche, con l'uso parsimonioso e mirato del colore.

Conclusioni

Nuovi scenari di visualizzazione delle informazioni si sono avuti nel XIX secolo, consentendo la transizione semantica per addivenire a una cartografia attenta a fornire elementi utili alla progettazione e alla pianificazione del territorio.

In tempi più recenti, l'avvento dei Sistemi Informativi Geografici, con i suoi strumenti digitali di gestione, ha rivoluzionato il mondo della cartografia, con nuovi, stimolanti prospettive di sviluppo, anche se i principi informatori continuano ad essere ispirati alla stessa "sapienza" cartografica del passato.

Fig. 7 – ll "ponte del Diavolo" sul fiume Sele.

Bibliografia

Afan De Rivera C. 1827. *Rapporto generale sulla situazione delle strade, sulle boinificazioni e sugli edifici pubblici dei reali domini al di qua del faro diretto a S.E. il Ministro delle finanze dalla Direzione generale dei ponti e strade e delle acque e foreste e della caccia*. Napoli: tip. Zambraia.

Afan De Rivera C. 1844. *Memoria su i mezzi da restituire il valore proprio ai doni che la natura ha largamente conceduto alle Due Sicilie*. Napoli: Nobile.

Beloch J. 1879. *Campanien: Topographie, Geschichte Und Leben der Umgeburg Neapels in Alterthum*. Berlino: S. Calvary & C.

Ciasca R 1928. *Storia delle bonifiche del Regno di Napoli*. Bari:Laterza

AA.VV. 1884. *Catalogo Ufficiale dell'Esposizione Generale Italiana in Torino 1884*. Torino: Unione Tipografica Editrice.

De Lucia F. 1854. Indole della geografia del secolo XIX comparativamente a quella del secolo precedente. Relazione fra oreografia e la idrografia di una regione. Necessità delle descrizioni oreografiche e idrografiche. Monografia del Sele. In: *Annali civili del Regno delle Due Sicilie*, 122-147. Napoli: tip. del Real Ministero degli affari interni.

Gemignani C.A. 2018. Dalla foto alla mappa: innovazioni tecnico-scientifiche, continuità e rivoluzioni visive nel secondo Ottocento. Spunti preliminari. Storia della cartografia e cartografia storica (a cura di A. Guiducci e L. Rossi), AGEI-Geotema, XXII, 58, 88-92.

Papa L.M. 2019. Riflessioni sulla cartografia storica nell'era del digitale. Diségno, 5, 91-102.
Pareto R. 1855. Irrigazione e bonificazione dei terreni. trattato dell'impiego delle acque in agricoltura. Con aggiunte e note di Angelo Parrocchetti. Milano: Libreria di Francesco Sanvito.
Sasso P. 1873. *Ponte del Diavolo sul fiume Sele presso Barizzo*. Napoli Tipografia di Luigi Gargiulo.
Valerio V. 1993. *Società, uomini e istituzioni cartografiche nel Mezzogiorno d'Italia*. Firenze: Istituto Geografico Militare.
Valerio V. 2014. La rappresentazione della montagna nel XIX secolo tra scienza e imitazione della natura. In: *Approcci geo-storici e governo del territorio. 2: Scenari nazionali e internazionali* (a cura di E. Dai Pra), 75-92. Milano: Franco Angeli.

Note

1. Tra questi ad esempio l'ingegnere Nicola Descalzi, che ebbe l'incarico dal dittatore Rosas, di esplorare, tra l'altro, il corso del fiume Colorado, lungo il confine tra la Patagonia e la Pampa (Papa, 2019).
2. Allievo di Francesco Paolo Tucci, nel 1831 incomincia a operare presso l'Ufficio Topografico di Napoli dove successivamente, nel 1871, è nominato Direttore. Dal dicembre del 1861 collabora con Luigi Giura quale membro del Consiglio Direttivo per la redazione della pianta di Napoli.
3. Il rapporto presentato dal capitano degli ingegneri militari Laussedat all'Académie des Sciences di Parigi nel 1860 sottindendeva anche la volontà di trasformare la fotografia in mappa e deve essere inquadrato nel fermento dei cambiamenti tecnologici in atto all'epoca (Gemignani, 2018)
4. Il manufatto è denominato ponte del Diavolo, in omaggio a una credenza che destinava all´inferno la prima anima che passava su un nuovo ponte.

Francesca Capano

Il Castello di Ischia nel disegno dell'ingegnere regio Benvenuto Tortelli. Architettura e ingegneria al servizio delle difese del Regno di Napoli alla fine del Cinquecento

Abstract

A drawing preserved in the National Library of Naples allows us to analyze the Castle of Ischia in a drawing by Benvenuto Tortelli, datable in the last years of the sixteenth century. The manuscript is of great importance for a monument ignored by historiography that, not only for museum uses but also for commercial ones, deserves greater interest from the scientific community. The drawing was accomplished by Tortelli, royal engineer, who was in charge of detecting the castle that needed a renovation after the damages caused by corsair attacks. The iconographic document is of remarkable interest because it shows the fortified tower, the external walls and the internal walls, the defensive architectures but also the other buildings which rise up on the islet as the cathedral, the bishop's palace, churches, chapels, storages, routes and other structures not always recognizable. Moreover is possible to suppose the origin of the castle and its development between Angevin and Aragonese period. The drawing shows the completeness of the fortress city on the islet, where architectures harmonize with the orography of the territory, already a natural defence, and the modern military technics.

Gli ingegneri vicereali del Regno di Napoli e Benvenuto Tortelli

L'ingenere-architetto, esperto di architettura militare, in ambiente napoletano fu una figura rilevante; nella seconda metà del Quattrocento furono a Napoli e nelle province del regno per ispezionare i presidi difensivi su incarico dei re aragonesiFerrante e Alfonso duca di Calabria, poi Alfonso II, Francesco di Giorgio Martini, Antonio Marchesi da Settignano, Fra Giocondo da Verona (Ghisetti Giavarina, 2019). Sulle tracce di questa tradizione ricordiamo anche il nolano Carlo Theti, autore di un importante volume sulle fortificazioni e sulle tecniche di rilievo (Stroffolino, 1999), che alla metà del Cinquecento eseguì la prima veduta della città vicereale all'indomani dei lavori intrapresi da don Pedro de Toledo (Marin, 2003).

In questi anni 'l'ideatore di ingegni' è una figura riconosciuta (Buccaro, 2019); era un professionista con differenti competenze: la sapienza tecnica si combinava con quella scientifica e teorica. Questa figura professionale era oramai divenuta indi-

spensabile alla società; l'ingegnere-architetto era esperto nel campo delle fabbriche civili e in quello più specifico dell'architettura militare, che praticava anche in giro per l'Europa al servizio dei capi di stato.

Il più noto ingegnere reale in ambiente napoletano fu Domenico Fontana (1543-1607); giunto a Napoli nel 1594 dopo la morte di Sisto V, gli fu conferito un ruolo di grande prestigio, modulato proprio per definire le sue qualità professionali di ingegnere-architetto arrivato da Roma. Tra Theti e Fontana vi furono altri ingegneri, con diverse formazioni, forse così diverse perché non ancora completamente indagate, che contribuirono con il loro lavoro sul campo al riconoscimento e all'ufficializzazione della professione nelle diverse declinazioni di ingegnere reale e ingegnere municipale.

Compiti di questi professionisti erano eseguire relazioni, perizie e disegni per monitorare lo stato di manutenzione delle strutture difensive, ristrutturare torri e fortilizi, costruzioni di presidi ex novo. Gli ingegneri viaggiavano periodicamente per conoscere lo stato di conservazione delle difese del regno. Tra questi ingegneri architetti attivi a Napoli tra la metà del XVI secolo e i primi anni del XVII cito Giovanni Antonio Dosio (1533 - 1611), Giovanni Vincenzo Casale (1539 - 1593), Benvenuto Tortelli (1533 - dopo il 1590), Mario Cartaro (1540 - 1620), Colantonio o Nicola Antonio Stigliola (1546 - 1623), Giovanni Vincenzo della Monica (1560 ca. - ?); tutte figure di notevole calibro non solo in ambiente napoletano.

Benvenuto Tortelli (Birra, 2015), al quale è attribuito il disegno del rilievo del Castello di Ischia, conservato presso la Biblioteca Nazionale di Napoli[1] (Delizia, 1988), nato a Chiari, vicino Brescia, fu architetto e ingegnere attivo a Napoli dal 1558/1560. Si formò nella bottega paterna come intagliatore di lavori in legno; giunto nella capitale, lavorò prima per i domenicani, e poi ottenne prestigiosi incarichi nel campo dell'ingegneria militare; fu infatti ingegnere regio responsabile delle torri costiere del Regno insieme al più noto Dosio (Faraglia, 1876). Al 1565 risalgono i suoi primi lavori pubblici. Si tratta di una perizia del nuovo ponte di Eboli in collaborazione con della Monica e di generiche riparazioni al molo grande del porto di Napoli (Colletta, 2006). Solo un anno più tardi Tortelli divenne il tecnico di fiducia di Perafán de Ribera duca d'Alcalà, anche se un solo anno di lavoro come ingegnere regio sembrerebbe troppo poco per meritare la stima del viceré. Nel 1566 fu inviato in Spagna come Maestro Maggiore delle proprietà del duca. Gli anni spagnoli furono molto proficui, impegnato principalmente a Siviglia, lavorò sia come architetto che come ingegnere. Nel 1571 il duca d'Alcalà moriva a Napoli senza riuscire a vedere l'operato del suo architetto in Spagna; conseguentemente Tortelli ritornò nella capitale vicereale ricoprendo ancora il ruolo di ingegnere reale.

Focalizzando l'attenzione solo sui lavori pubblici, Tortelli nel 1573 si occupò della costruzione di dodici torri in Calabria Ultra (Rubino, 1970) e nel 1576 fu incaricato dalla Regia Camera della Sommaria di controllare lo stato dei castelli del Regno. Interessanti sono le sue riflessioni: "*smantellare la maggior parte delli ca-*

stelli di questo regno, si per essere loro inutili, come per il disservizio che potriano causare … et con la spesa ordinaria che fa Sua Maestà a mantenere li detti catelli inutili converrebbe fabricare quattro o cinque di bona forma e proporzione et situati in parte dove potriano storbare il disegno del inimico, et servire a Sua Maestà come conviene". Per il castello di Baia suggerì "*di mantenere detto castello e ripararlo poi che la spesa è di tanto poco momento*"[2] (Strazzullo, 1969). Un simile atteggiamento fu quello che si attribuisce a Tortelli per il mantenimento in efficienza del castello di Ischia, per il quale però fu spesa una somma più consistente.

Il Castello di Ischia dalle origini alle trasformazioni aragonesi

Il castello sorge in un luogo ameno quanto impervio, la sua natura lo rese perfetto per accogliere un presidio difensivo.

Alla fine del IV secolo a.C. si fa risalire la nascita di Aenaria (che sostituì il primo insediamento ischitano di Pithekoussai), città ellenistica-romana tra la spiaggia di Cartaromana e lo Scuopolo, scoglio trachitico su cui poi sorse una torre d'avvistamento oggi inglobata in una residenza. La topografia dei luoghi era differente poiché la baia degli scogli di Sant'Anna era la *plagae romanae*, che accoglieva le attività artigianali e commerciali, mentre l'area residenziale si estendeva più a sud sulle colline. L'isolotto del castello era collegato all'isola grande, ma sicuramente l'altura per la sua conformazione fu utilizzata come naturale difesa per l'abitato e il porto. Alla metà del II secolo d.C. una disastrosa eruzione cancellò Aenaria: i territori rivieraschi si inabissarono e conseguentemente l'altura settentrionale divenne *l'insula minor* (Monti, 1980).

Poche sono le notizie fino al XII secolo, ma certamente il sito riconfermò un ruolo difensivo. Le sorti di tutta Ischia seguirono quelle del Regno delle due Sicilie: si susseguirono gli Altavilla e gli Hohenstaufen. Il largo di Ischia fu teatro di note battaglie che dimostrano un ruolo per l'*insula minor* quasi da piazzaforte (D'Ascia, 1867). Per tutto il medioevo l'isolotto è identificato oltre che da *insula minor* da *Civitas*, *Geron*, *Castrum Gironis* – Girone, Gerone – (Lauro, 1964). L'etimologia di Girone più attendibile è quella che ipotizza la derivazione di questo appellativo dall'accrescitivo di giro in riferimento alla forma rotonda del sito circondato dal mare (Buchner e Rittmann, 1948).

Nel 1268 Bono Bonomano, castellano di Ischia, riferisce a Carlo I la situazione della popolazione di tutta Ischia in seguito al saccheggio subito dai pisani, raccontando anche di Girone (Del Giudice, 1863). Del 1270 è l'elenco delle tasse erariali dovute dai casali sparsi sul territorio isolano: la quota di Girone era pari a 4 once d'oro, la seconda tassa più alta – 6 once Murpano et Eramo – (Filangieri, 1957; Lauro, 1971). A un altro evento catastrofico si deve lo sviluppo di Girone, l'eruzione del 1301 dal cratere del monte Trippodi a oriente dell'Epomeo, che distrusse gli abitati del versante orientale e confermò Girone quale luogo sicuro anche per queste catastrofi (Pontano, 1769; Delizia, 1987).

Fig. 1 – La cattedrale dell'Assunta oggi (da Vitelli, 2011).

Le cinta esterna di difesa con le torri cilindriche dovrebbe risalire all'epoca angioina (Buchner e Rittmann, 1948). Ma l'evento più importante, che conferma il ruolo prioritario del sito, è la costruzione della cattedrale dell'Assunta, nelle Figure 1 e 2, su di una più antica chiesa rupestre, utilizzata come cripta della chiesa trecentesca, già terminata nel 1306, cui era annesso anche un *Palatio*, cioè il vescovado (Lauro, 1964). A Girone si contrappose l'abitato sul versante opposto dell'*insula major*, il "borgo di mare" in "terra plana", dove la popolazione era dedita all'attività commerciale e mercantile (Lauro, 1971).

Fig. 2 – Una cappella laterale della cattedrale, al di sotto della veste barocca è chiaramente visibile il soffitto a crociera della chiesa angioina (foto dell'autrice).

Durante le lotte di successione al termine del regno Angioino-Durazzesco, Alfonso d'Aragona soggiornò a Ischia

Fig. 3 – Benvenuto Tortelli, L'isolotto del castello di Ischia, 1576-1593. Napoli, Biblioteca Nazionale. Particolare del castello dopo i lavori di Alfonso I d'Aragona (il particolare del disegno è orientato a nord mentre il manoscritto è orientato a est).

tra dicembre 1432 e maggio 1433 prima di conquistare Napoli (Mariotti, 1969). Da questi eventi si fa cominciare la fase più importante dello sviluppo del castello; Alfonso istituì un dazio su sale, ferro e pesce, sia esportati che importati, per ottenere i fondi necessari a rendere il fortilizio, forse di origine normanna ma sicuramente trasformato dagli angioini, nell'*arcem munitissimam* (Delizia, 1987) di cui racconta Giovanni Gioviano Pontano (Pontano, 1769). Non esistono grafici di questi lavori ma l'analisi del manoscritto di Tortelli, di cui in Figura 3 è riportata una immagine, ci permette di descrivere il castello residenza di Alfonso e della sua compagna Lucrezia D'Alagno (Mariotti, 1915; Castagna, 2017).

Il maschio, anche residenza reale, è disegnato con precisione: gli spessi e regolari muri delineano ambienti ampi, organizzati secondo l'infilata di stanze su doppio registro, servite da una larga scala a pozzo unico con loggia ballatoio a sud (sono rimarcate anche le crociere delle volte). Le mura del nucleo fortificato sono alla quota più alta e seguono la figura di pianta della residenza, intervallate da tre torri semicilindriche, una a ovest e due a sud. Il versante nord non è dotato di torri poiché il muro basso limita il terrazzamento che si affaccia sulla parete rocciosa, difesa naturale dell'isolotto, con totale visuale verso le coste settentrionali del golfo.

Ambienti di servizio sono accostati alla murazione meridionale. Dopo la torre ovest e nei pressi della loggia è rappresentato un giardino con quattro *parterre*, ottenuti da due viali quasi perpendicolari. A est, al di sotto della ripida scala che conduce al maschio, si trova il *Jardin del Castillo* di forma irregolare, trapezoidale, sembrerebbe uno sperone, confina a sud con i depositi, *magazenis*; seguono due fossati che circondano le mura.

Alla punta est del giardino a quota inferiore si trova la piccola chiesa di *S.ta M.a del'orto domino*, il cui nome è derivato dal vicino orto *Ub orto domino*, i cui prodotti erano evidentemente destinati alla mensa reale. Anche questo è a quota più bassa, tra le mura esterne e la parete scoscesa, disegnata con le rocce rese da una lumeggiatura ad acquerello bruno.

Il castello nel rilievo della fine del Cinquecento

Il rilievo del castello di Ischia, in Figura 4, fa parte di una raccolta, nota come *Codice Tarsia*, conservata in catalogo presso la Biblioteca Nazionale di Napoli. Il codice si compone di due volumi; più precisamente, i due raccoglitori sono ascrivibili al tipo del 'libro di disegni', che raccoglieva soggetti anche eterogenei, bagaglio di conoscenza per gli architetti-ingegneri a partire dalla fine del XV secolo. I volumi napoletani contengono disegni tutti ascrivibili agli ultimi sessanta anni del XVI secolo. Le raffigurazioni sono schematicamente riconducibili ai seguenti temi: Antico, architettura civile, militare ed ecclesiastica, rilievi di città e territori, fontane, palazzi nobiliari[3].

Fig. 4 – Benvenuto Tortelli, L'isolotto del castello di Ischia, 1576-1593. Napoli, Biblioteca Nazionale.

Il disegno del castello ischitano, che si trova nel volume quasi tutto dedicato ai rilievi di città e di fortificazioni, fu eseguito da un tecnico esperto, informato anche delle tecniche di rilievo e rappresentazione riconducibili alla seconda metà del Cinquecento; l'attribuzione del disegno a Benvenuto Tortelli, la cui figura professionale, prima abbozzata, risponde perfettamente alle capacità dell'autore, si deve a Ida Delizia (Delizia, 1989; Delizia, 1991; Capano, 2019).

Ischia, tristemente nota per le incursioni piratesche e corsare, era stata saccheggiata da Dragut nel 1548 e nel 1552 e da Kair-ed-Din, il Barbarossa, nel 1554. In seguito alle devastazioni corsa-

re di tutte le coste del regno Filippo II aveva promosso una ricognizione dei presidi costieri (Capano, 2017).

Pirro Antonio Stinca fu incaricato di verificare le condizioni delle difese e lo stato economico di Ischia: città et insula[4] (Delizia, 1987). In entrambi i casi la situazione era deplorevole: l'università non versava le tasse erariali e le costruzioni erano in pessimo stato. Le case "*dishabitate et dirute*" non potevano essere ristrutturate per "*l'estrema povertà de cittadini de essa città*". Il versante occidentale dell'isolotto era "*de prete brusciate con alcuni boschi de arboscelli di cutoli", quello orientale "tutto arbostato di diversi arbori de vite se fa la maggior parte delli vini di detta insula … docati otto cento cinquanta che occorreno di spesa per anno per provvisione del capitaneo, et servienti, reparo del castello acconcio del ponte et altre spese necessarie*". Due anni dopo (1576) la Regia Camera propose di convertire i tributi non riscossi utilizzandoli per iniziare i lavori di ristrutturazione al castello "*per dare principio a detta fortificazione*", sperando così di motivare gli isolani e spingerli a pagare le tasse[5] (Delizia, 1987).

Tortelli, ingegnere regio responsabile delle torri costiere, fu autore del progetto di riqualificazione del castello e delle mura (Delizia, 1988). Nello stesso verbale si legge "*necessariamente bisogna per fare et resarcire alcuna parte de mura e torrione et per fare alcuni terrapieni dove bisogna et deroccarsi alcuna parte de case per fare piazza ale muraglie et altre cose necessarie a detta fortezza*". I documenti rimandano a un *resoconto* di Tortelli, non allegato e non ancora ritrovato, che prevedeva un costo per la ristrutturazione pari a 4.229 ducati.

Alcuni lavori furono condotti anni dopo; il contratto d'appalto, stipulato dal notaio Iacomaniello Iovane, risale al 1593. I lavori furono affidati a Nicola Romano. Le nuove fabbriche sarebbero state costruite secondo "*lo disegno del Regio Incingniero*"[6] (Delizia, 1987); le carte sono molto dettagliate per quanto riguarda i lavori, il nome degli operai, i materiali, le dimensioni dello scavo[7] (Delizia, 1987), mentre manca il nome dell'ingegnere progettista, autore del grafico di riferimento fornito all'appaltatore, identificato per la gran quantità di convergenza di informazioni proprio in Tortelli (Delizia, 1988), "*Ingegnero dela Regia Corte con carrico delle fortificazioni de questo Regno*"[8].

Il disegno è molto dettagliato, riprende il ponte di collegamento con l'isola, *Puente para en tirra firma*, sul cui lato nord vi è l'ansa utilizzata come approdo, *Desembarcadero*, da qui parte la cinta muraria esterna. A nord e a nord-ovest le mura si innestano con quelle del maschio e utilizzando la naturale parete scoscesa sono discontinue. Percorrendo ipoteticamente il periplo della delimitazione, partendo da ovest, vi è uno spiazzo, sul quale compare la scritta *Cisterna*, al centro è disegnato il pozzo. Queste informazioni sono su un *volet* che, una volta rialzato, mostra la ripida gradonata, scavata nel masso trachitico all'epoca di Alfonso I, che conduceva alla cattedrale e al vescovado, continuando poi verso l'abitato.

Le mura sono continue dallo spiazzo con cisterna (ovest) fino al castello (nord); la cinta lambisce i versanti ovest, sud ed est; a nord-est si innesta con il perimetro difensivo del maschio. Lungo le mura si trovano le seguenti indicazioni: la *torre del yngariga* (al centro del tratto meridionale), la *muralla nueba q. sendi acabar*, che possiamo tradurre come murazione nuova che scende verso la fine (a sud-est), la *torre dellos maccarones* (a est), la *puerta q.se ha decorra*, cioè la porta che è stata chiusa (sempre a est) e la *torre delos grillos* (ultima torre della cinta sul versante est). Le torri sono tutte circolari. Alcuni tratti della cinta sono contraddistinti dalle lettere *A*, *B* e *C*, chiaro rimando alle parti interessate dai lavori. Seguendo lo stesso andamento ovest-est, dietro alla *torre del yngariga* sono disegnate con un puntinato quattro stecche, forse un ancoraggio scavato nella parete rocciosa perpendicolare al muro di cinta (lettera *C*). La *muralla nueba…* è ringrossata e contraddistinta dalla lettera *B*. Il tratto più alto delle mura occidentali è indicato dalla *A*, ma il disegno in questo caso non ci fornisce altre informazioni.

La parte centrale del disegno è ottenuta da un tratto più chiaro che segue l'andamento della strada gradonata, accenna agli edifici e indica le emergenze come il *vescovado*, affiancato dalla cattedrale, il tempietto esagonale di San Pietro a Pantaniello e una ripida salita con scale a trabocchetto (*La montata*). L'autore cercò, utilizzando vari artifici, di creare una scala di priorità per i rilievi. Un disegno preciso per le parti rilevate che facevano parte del complesso militare e interessate dai lavori, contraddistinte anche dalle lettere; un disegno in pianta per gli edifici più importanti anche se delineati da un tratto meno carico: il complesso del vescovado, il tempietto di san Pietro a Pantaniello, la strada gradonata; chiari tratti di matita per accennare solamente al resto del costruito: abitazioni private, strade secondarie, aree coltivate. L'area centrale del versante orientale, probabilmente all'epoca poco edificata e con aree agricole, non è neanche accennata, ma lasciata in bianco per ospitare la scarna rosa dei venti e la scala grafica.

Conclusioni

Il disegno è di grande pregio, permette l'analisi degli aspetti difensivi e non solo di tutto l'isolotto fortificato: una sintesi compiuta di città-fortezza con strutture fortificate, spazi urbani, edifici civili, sedi delle massime istituzioni religiose e non ultima la residenza reale. È il primo rilievo, oggi noto, della residenza aragonese, trasformata per volere di Alfonso I, celebrata dalle fonti coeve e icona con il suo contesto dell'iconografia ischitana. Il manoscritto mostra anche dettagli di grande interesse come il rapporto tra gli appartamenti e i giardini, ricavati tra le fabbriche e la cinta muraria e adattati alla complessa situazione orografica. Dopo vari usi – fu, anche, utilizzato come carcere – , anni di abbandono e complesse vicende giudiziarie (Barbieri, 1981) l'isolotto è oggi un museo privato con varie funzioni ricettive, ma gli studi sulla sua origine e il suo sviluppo sono solo agli inizi.

Bibliografia

Barbieri G. 1981. *Requiem per un castello*. Casamicciola Terme: Associazione Cristofaro Mennella.

Birra C. 2015. *Gli Ingegneri Regi a Napoli (1571-1643). Amministrazione e architettura*. Tesi di dottorato, XXVII ciclo, relatore Di Mauro L. Napoli: Università degli Studi Napoli Federico II.

Buccaro A. 2019. L'ambiente professionale nel viceregno: l'eredità dello 'scienziato-artista'. In: *Leonardo e il Rinascimento nei Codici Napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria* Catalogo della mostra Napoli, 12 dicembre 2019 - 13 marzo 2020 (a cura di Buccaro A., Rascaglia M.), 219-227. Poggio a Caiano PO / Napoli: CB Edizioni / Federico II University Press - fedOA Press.

Buchner G., Rittmann A. 1948. *Origine e passato dell'isola d'Ischia*. Napoli: Gaetano Macchiaroli Editore.

Capano F. 2017. Le torri di Forio fra rappresentazione e valorizzazione. In: *La Baia di Napoli. Strategie integrate per la conservazione e la fruizione del paesaggio culturale* (a cura di Aveta A., Marino B.G., Amore R.), 2: *Interpretazione/Comunicazione e strategie di fruizione del paesaggio culturale*, 155-160. Napoli: Artstudiopaparo.

Capano F. 2019. L'isolotto del castello di Ischia. In: *Leonardo e il Rinascimento nei Codici Napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria*, catalogo della mostra Napoli, 12 dicembre 2019 - 13 marzo 2020 (a cura di Buccaro A., Rascaglia M.), 619-622. Poggio a Caiano PO / Napoli: CB Edizioni / Federico II University Press - fedOA Press.

Castagna R. 2017. Il Castello Aragonese di Ischia nei secoli della decadenza. La rassegna di Ischia, 11-22, 6.

Colletta T. 2006. *Napoli, città portuale e mercantile: la città bassa, il porto e il mercato dal VIII al XVII secolo*. Roma: Edizioni Kappa.

D'Ascia G. 1867. *Storia dell'isola d'Ischia descritta da Giuseppe D'Ascia*. Napoli: Stabilimento Tipografico di Gabriele Argenio, 1867 (edizione a cura di Castagna R. Ischia: La Rassegna d'Ischia, 2006).

Del Giudice G. 1863. *Codice diplomatico del regno di Carlo I e II d'Angiò*. Napoli: Stamperia della R. Università, 1863.

Delizia I. 1987. *Ischia: l'identità negata*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.

Delizia I. 1988. L'isolotto del castello di Ischia. In: Di Mauro L. *Domus Farnesia amplificata est atque exormata*, Palladio, 1, 40-44.

Delizia I. 1989. Un'antica pianta del Castello Aragonese. La rassegna di Ischia, 10, 29-31.

Delizia I. 1991. *Il* Castello d'Ischia. In: Napoli nobilissima, numero monografico: Ricordo di Roberto Pane, 264-272.

Faraglia N.F. 1876. Bilancio del Reame di Napoli degli anni 1591 e 1592. Archivio storico per le province napoletane, I, 211-227, 394-434.

Filangieri R. 1957. *I registri della cancelleria angioine*. III, 285. Napoli: presso l'Accademia.

Ghisetti Giaravina A. 2019, *Profilo dell'architettura a Napoli nell'età di Leonardo (1452-1519)*. In *Leonardo e il Rinascimento nei Codici Napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria* , catalogo della mostra Napoli, 12 dicembre 2019 - 13 marzo 2020 (a cura di Buccaro A., Rascaglia M.). Poggio a Caiano PO / Napoli: CB Edizioni / Federico II University Press - fedOA Press, 29-37.

Lauro A. 1964. *Ischia in alcuni documenti pontifici del Duecento*. Roma. s. n.

Lauro A. 1971. La chiesa e il convento degli agostiniani nel borgo di Celsa vicino al castello d'Ischia: ricerche e appunti. Ricerche contributi e memorie: atti del Centro Studi sull'Isola d'Ischia, periodo 1944-1970, 602-604.

Marin B. 2003. *La royale cité de Naples. Représentation gravées d'une capitale au XVI^e siécle*. In *Imago Urbis. L'immagine della città nella storia*. Atti del convegno, Bologna 2001, (a cura di Bocchi F., Smura R.), 175-191. Roma: Editore Viella.

Mariotti S.E. 1969. *Il castello d'Ischia*. Napoli: EPS 1969 (1° ed. Portici: Stab. Tip. Ernesto Della Torre, prefazione di Avena A.).

Monti P. 1980. *Ischia, Archeologia e Storia*. Napoli: Tip. F.lli Porzio.

Pontano G. 1769. Historiae Neapolitanae…. In *Raccolta di tutti i più rinomati Scrittori dell'Istoria generale del Regno di Napoli principiando dal tempo che queste Provincie hanno preso forma di Regno dedicate alla Maestà della Regnina Nostra Signora*. IV. Napoli: ed. Gravier.

Rubino G.E. 1970. Le castella in Calabria ultra. Napoli nobilissima, IX, 88-100: 94.

Strazzullo F. 1969. *Architetti e Ingegneri napoletani dal'500 al '700*. Napoli: Benincasa.

Stroffolino D. 1999. *La città misurata: tecniche e strumenti di rilevamento nei trattati a stampa del Cinquecento*. Roma: Salerno Editrice.

Vitelli G.P. 2011. *Potenzialità e prospettive delle tecnologie avanzate di rilevamento per la conservazione dell'architettura storica*, tesi di dottorato, XXVII ciclo, relatore Casiello S., Aveta. A., correlatore Marino B.G. Napoli: Università degli Studi Napoli Federico II.

Note

1. Napoli, Biblioteca Nazionale (d'ora in poi BNN), Sezione Manoscritti e Rari, Ms. XII.D.1 c. 12r.
2. Napoli, Archivio di Stato (d'ora in poi ASNa), *Regia Camera della Sommaria. Consultationum*, vol. IV, cc. 99-100.
3. BNN, Sezione Manoscritti e Rari, Ms. XII.D.74, Ms. XII.D.1. Recentemente il *Codice Tarsia* è stato esposto per la prima volta quasi completo in una mostra da poco conclusa, promossa dalla Biblioteca Nazionale di Napoli e dal Centro Interdipartimentale di Ricerca sull'Iconografia della Città Europea dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, curata da Alfredo Buccaro e Maria Rascaglia, *Leonardo e il Rinascimento nei Codici Napoletani. Influenze e modelli per l'architettura e l'ingegneria* (Napoli, Biblioteca Nazionale, 12 dicembre 2019 - 13 marzo 2020). Al catalogo si è fatto riferimento nelle note del presente saggio.
4. ASNa, *Regia Camera Sommaria. Consultationum*, vol. IV, ff. 129r, 131r, 131v.
5. ASNa, *Regia Camera Sommaria. Consultationum*, vol. IV, f. 1341r, 1341v.
6. ASNa, Prot. Notaio Iacomaniello Iovane (1592-1631), n. 792-793, ff. 88-89.
7. Napoli, Archivio Storico del Banco di Napoli, Banco dello Spirito Santo, matr. 6.
8. Il compenso di Tortelli era di «D. centoventi… per suo salario delli mesi de octobre, novembre, decembre proxime passati 1590"; ne dà notizia Faraglia, 1876, 424.

Maria Teresa Como

Da bóveda estrellada a cupola di rotazione. Le peculiarità della grande volta della Sala dei Baroni in Castel Nuovo

Abstract
The renovation of Castelnuovo, begun in 1443 by Alfonso d'Aragona just after his entry in Naples, and carried out through the interaction of Majorcan masters and local technicians, produced a fruitful contamination among architecture and building traditions, experimenting upon forms, techniques and materials. The experience of building the Sala dei Baroni vault triggered the spreading of a stone masonry culture in the areas of South Italy inside the Crown of Aragon giving rise within different geographic areas to specific local characters in Renaissance architecture (Nobile, 2013). At the same time the Sala dei Baroni vault itself constitutes a ibridation of an architectural and constructional typology due to the contamination with the local material, technical, and cultural context (Como, 2018). The imposing octagonal ribbed vault covering the Sala dei Baroni Great Hall, with 8 secondary keystones and 4 keystones in the corner squinches, designed by Guillelm Sagrera, is the largest gothic vault of this type. The formal and constructional Sagrera solution of the vault was traditionally used within the Iberian area of the Crown of Aragon (Serra Desfils, 2000; Ibáñez-Saragozá, 2015), but assumes here some peculiarities. On the basis of data on its history of construction and features, of the last architectural surveys, and in junction with direct analysis of the structure, the study interweaves the analysis of the shape and materials used with the historical reconstruction of the building process, also drawing up a complete architectural drawing of the vault. This detailed analysis highlights the technical construction peculiarities which distinguish it from the Iberian models and shift it from the model of bóveda estrellada to that of a masonry rotation dome, stressing the influence of local materials, traditional techniques, and local ancient models in the final hybrid solution gradually adopted during the constructional process.

Introduzione
La ristrutturazione di Castel Nuovo, il castello di fondazione angioina sul porto di Napoli, in un'architettura monumentale adeguata alle necessità congiunte della difesa e residenziali della Corona d'Aragona, fu avviata nel 1443 da Alfonso V appena dopo l'ingresso a Napoli e fu realizzata da maestranze provenienti da diversi contesti

Fig. 1 – L'intradosso della volta della Gran Sala di Castel Nuovo dalla galleria superiore.

culturali, maestri lapicidi maiorchini, esperti nell'arte del costruire in conci lapidei, e locali costruttori cavesi, esperti nel fabbricare con i materiali locali.

Nella riconfigurazione complessiva del castello, spicca quale grandiosa opera tecnico costruttiva la vasta volta stellata a copertura del grande ambiente di rappresentanza della Corona d'Aragona, la Gran Sala, detta *Sala dei Baroni*, per la cattura qui disposta nel 1486 dei baroni che avevano congiurato contro Ferrante I.

L'ampia volta mostrata in Figura 1, circa 26 m di luce, progettata dal mastro maiorchino Guglielmo Sagrera (1380-1456), è la più grande tra le volte stellate tardogotiche costruite, capolavoro per arditezza nella dimensione e per la sua grande stabilità, dimostrata dalla sua stessa esistenza e resistenza agli eventi sismici, come già il primo grande sisma del 1456, occorso durante la costruzione.

Giacché considerata sin dalla prima tradizione storiografica, seppur "*opera grande* […] *cosa catalana*" (Pane, 1971)[1], e dunque non affine alle espressioni canoniche del Rinascimento, la storiografia artistica italiana non vi ha prestato fino agli ultimi anni la dovuta attenzione, contribuendo di fatto allo scarso numero di studi in ambito

italiano, soprattutto riguardo agli aspetti architettonici e costruttivi, che sono centrali nello studio della grande volta. All'inverso, nella storiografia artistica iberica, lo studio delle opere di Sagrera è sempre stato vivo, da cui l'avanzamento nella storia dell'architettura (Domenge, 2007; 2009; 2010) e la rinnovata analisi *in situ* della grande volta, per studiarne forma e stereotomia dei conci delle nervature, riconoscendo nelle perizie tecniche del taglio caratteristiche indicative della paternità di Sagrera (Rabasa Díaz et al. 2012; Pérez de los Ríos 2016).

In Italia, la recente rilettura storiografica dell'architettura di un Rinascimento meridionale mediterraneo, che ha indicato proprio nell'innesto in area italiana della cultura iberica del taglio della pietra, di cui l'impresa costruttiva della volta della Gran Sala è elemento propulsore, le ragioni di un Rinascimento *sui generis* rispetto al tradizionale panorama storiografico italiano del Rinascimento (Nobile, 2013; Nobile, 2016; Garofalo, 2006), ha rimarcato l'importanza come modello della grande volta, sollecitandone l'approfondimento.

La soluzione formale e costruttiva della volta, una *bóveda estrellada*, tipica nell'area iberica della Corona d'Aragona (Serra Desfilis, 2000; Ibáñez-Saragozá, 2015), assume qui alcune peculiarità. L'intreccio dell'analisi negli aspetti della forma, materiali e costruttivi, sviluppata con la raccolta dei dati geometrici e materiali, l'analisi diretta e l'elaborazione di un disegno architettonico completo e la ricostruzione della storia della sua costruzione, ricavata dall'analisi dei documenti dei contratti trascritti da Filangieri (Filangieri, 1939), identificano le peculiarità tecnico-costruttive della grande volta e le giustificano come soluzioni proprie dell'iter della costruzione, frutto dell'innesto di una tipologia architettonica e costruttiva in un diverso contesto materiale, tecnico e culturale.

Forma e materiali della volta

Il tipo di volta della Gran Sala corrisponde alla forma voltata tardogotica stellata su pianta ottagona, che nelle aree iberiche, specie della Corona d'Aragona, si ritrova a copertura di spazi centrici (Serra Desfilis, 2000; Ibáñez-Saragozá, 2015), come le sale capitolari delle cattedrali di Pamplona (1318-55), Valencia (1356-1369), e Barcelona (1405-09) o le testate absidali delle chiese, come in San Salvatore a Oña (1450). La bóveda estrellada raggiunse poi, a fine XV secolo, espressioni singolari di altissima qualità a copertura di monumentali cappelle funerarie nelle cattedrali, come la Cappella di San Giacomo a Toledo (1435-40), la Cappella del Contestabile a Burgos (1482-92), e la Cappella del Vélez a Murcia (1490-1507) (Gómez Martínez 1998). A confronto con gli esempi iberici, la volta della Gran Sala è molto più ampia: la distanza tra murature di imposta è doppia rispetto a Valencia (13,5 m), supera quella di Oña (20 m) e anche la luce della cattedrale di Girona (22,98 m) che è la più ampia navata gotica del mondo (Huerta, 2004). L'analisi dettagliata della forma e dei materiali della volta stellata della Gran Sala ne mette in luce le peculiarità che la

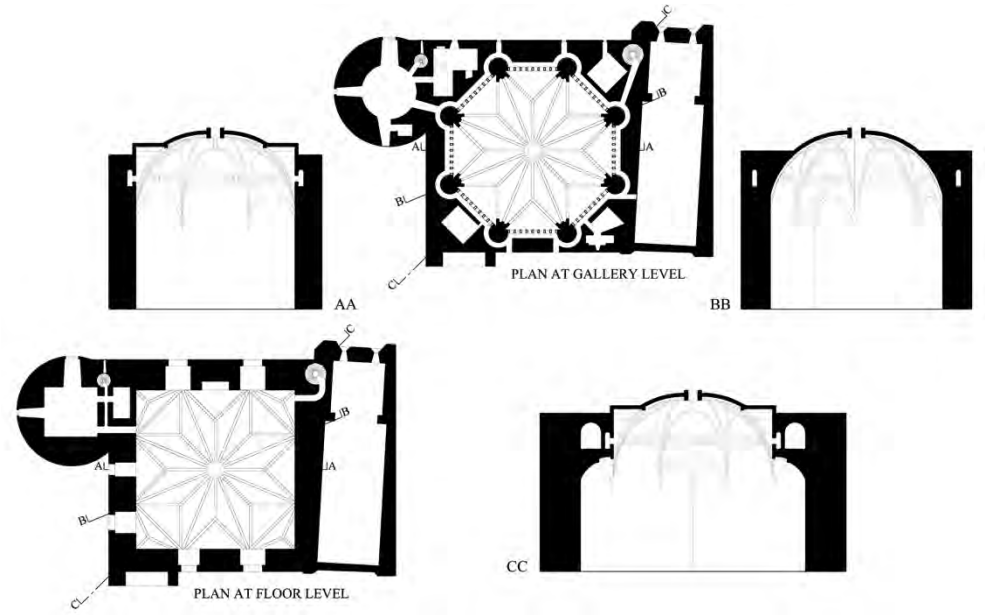


Fig. 2 – Pianta e sezioni della Gran Sala (da Como 2018).

distinguono dai modelli iberici. Sulla base degli ultimi rilievi architettonici (Chioccarella, 1997; Rabasa et al., 2012; Pérez de los Ríos, 2016) e dell'analisi diretta, lo studio della volta è stato sviluppato attraverso l'elaborazione di un disegno architettonico, riportato in Figura 2 (Como, 2018), in pianta e in un numero di sezioni adeguato a fornire una descrizione geometrica completa della volta e del complesso murature-volta, che era mancante in letteratura.

La grande volta copre uno spazio di pianta quadrata di 26 m di lato, circoscritto da pareti di 5 m di spessore, e in forma pressoché cubica, giacché l'altezza dal pavimento della volta in chiave all'intradosso è uguale a circa 28 m. Le dimensioni ne sottolineano la monumentalità: 26,07 m corrispondono a 100 piedi maiorchini (Rabasa et al., 2012) e la forma cubica richiama il Pantheon di Roma.

Il tracciamento della volta stellata è regolato sulla geometria dell'ottagono regolare che funge da piano di imposta della cupola; il sistema mette in luce un chiaro progetto geometrico che definisce e controlla le dimensioni dei diversi tipi di nervature che compongono la volta (Como, 2018).

A circa 13 m di altezza dalla quota del pavimento, l'ottagono regolare di imposta della volta è ottenuto tagliando gli angoli del quadrato con quattro arcate a sesto ribassato, che emergono direttamente dalle murature perimetrali e sostengono pareti centinate, in Figura 3. I piani retrostanti in quota, di superficie triangolare, sono

Fig. 3 – Le arcate generatrici l'ottagono d'imposta.

Fig. 4 – I pilastri cilindrici.

sostenuti da quattro pennacchi di curvatura cilindrica (Chioccarella, 1997), nervati da tre costoloni mediani che, come semiarchi emergenti dagli angoli, si innestano nella chiave al baricentro di ciascun triangolo (Rabasa et al., 2012). Su questi piani orizzontali in quota si sviluppa una galleria che affaccia sulla sala da ogni lato dell'ottagono, con una fila continua di otto aperture quadrate, in cornici monolitiche di piperno. Tra i fronti di affaccio sono otto grossi pilastri cilindrici, in Figura 4, in blocchi di piperno, sagomati a seguire la curvatura del pilastro, di altezza corrispondente alla galleria stessa, e che obbligano a girarvi intorno nel procedere lungo la galleria. I pilastri hanno diametro di circa 3 m e il centro è in corrispondenza degli angoli dell'ottagono di imposta della volta, perché dai centri dei pilastri dipartono gli assi geometrici delle nervature angolari (Pérez de los Ríos, 2016). L'ottagono geometrico di imposta della volta è quindi più interno all'ottagono sul filo dei fronti della sala ed è inoltre a quota maggiore del piano di imposta degli archi ribassati, proprio per ricavare lo sviluppo in altezza della galleria.

Direttamente dalle pareti, e con riferimento geometrico ai centri di ogni pilastro, si dipartono le nervature angolari della volta, un costolone angolare e due intermedi ai lati, che ammorsati ai pilastri retrostanti formano un'unica struttura in conci di piperno per tutta l'altezza della galleria, nella parte di avvio delle nervature.

I costoloni angolari sono composti da 33 conci modanati di piperno e seguono nello sviluppo la direttrice meridiana di un arco di circonferenza (Rabasa et al., 2012). Ai lati, i costoloni intermedi[2] divergono progressivamente da quelli diagonali

e, contornando 8 grandi unghie sporgenti dalle teste delle pareti murarie perimetrali, tracciano archi disposti sulla stessa superficie di rivoluzione, in modo tale che conci corrispondenti appartengono allo stesso parallelo della superficie di rivoluzione (Cocchiarella, 1997), fino a incontrare le nervature tiranti di legatura[3] in un punto medio sul parallelo passante tra i costoloni diagonali, geometricamente definito e fissato dalle chiavi secondarie. Costoloni intermedi e nervature tiranti compongono le nervature secondarie a forchetta, che corrono lungo la stessa superficie di rivoluzione dei costoloni diagonali, e che, come questi, sono in conci modanati di piperno ma di sezione minore. Costoloni diagonali e nervature tiranti seguono le direttrici di 16 meridiani equidistanti e dirigendosi verso la chiave si innestano in un anello murario in conci di piperno di diametro esterno pari a 2,8 m e interno uguale a 1,6 m, che apre la volta in chiave con un oculo. Le vele della volta in muratura di tufo, disposte sulle nervature principali e secondarie, sono congruenti alla stessa superficie di rivoluzione (Chioccarella, 1997; Rabasa et al., 2012). La superficie all'intradosso della cupola è pertanto conforme a una superficie sferica nervata lungo i meridiani ed è completata dall'oculo al parallelo passante per le chiavi secondarie. E poiché la volta emerge all'estradosso dal tetto di copertura in forma di calotta sferica, le vele compongono una vera e propria cupola di rotazione dall'altezza delle chiavi secondarie all'oculo. Alle reni la cupola si scompone nell'alternanza di 8 unghie e pennacchi, che, ammorsati ai pilastri dall'imposta al tetto, sono integrati alle massicce murature perimetrali.

Le vicende della costruzione

Il procedere del cantiere di Castel Nuovo è documentato dai contratti stipulati dalla Regia Corte dal 1443 al 1458, che Riccardo Filangieri raccolse e pubblicò per ricostruire la storia costruttiva del manufatto[4]. Le figure coinvolte e il loro alternarsi nei ruoli direttivi ed esecutivi mostrano l'avvio di una cooperazione tra mastri cavesi e maiorchini[5] e anche un reciproco scambio e adattamento delle competenze. I mastri cavesi sono tenuti a praticare la costruzione in conci e pietre tagliate in forme complesse e i mastri maiorchini devono *murare* in pietra di tufo e adattarsi al piperno come pietra da taglio. Intrecciando la ricostruzione delle fasi costruttive di Castel Nuovo con l'osservazione della consistenza materiale dell'opera, è evidente un graduale adattamento dei mastri maiorchini all'uso dei materiali locali durante il procedere dei lavori.

I documenti indicano l'intenzione di usufruire della pietra maiorchina per gli elementi più impegnativi della fabbrica, come per la grande volta stellata, in area iberica tutta in pietra da taglio per i conci di nervature e vele, opportunamente tagliati con l'arte della stereotomia. Fonti di archivio sul contenuto dei carichi delle navi provenienti da Maiorca documentano una eccezionale e abbondante importazione di pietre da taglio dal levante iberico per il cantiere di Castel Nuovo, tra cui la pietra maiorchina di Santanyí[6], una calcarenite di grana fine (Mas Gornals, 2017), la cui lavora-

zione e commercio erano gestiti dai mastri maiorchini. Le pietre venivano importate in grandi blocchi, in pezzi già tagliati di massima riferiti agli elementi e alle parti architettoniche che richiedevano maggiore perizia (Muntaner Bujosa, 1960); l'elenco contenente le dimensioni e la funzione degli elementi permette di conoscere la loro destinazione e gli elementi che si intendeva utilizzare per la volta stellata della Gran Sala[8]. Tuttavia, l'uso di materiali diversi, piperno e tufo giallo locali, che si evince dall'analisi materiale della volta, mostra che talune ragioni, quali semplicemente l'eccessiva quantità che si sarebbe dovuta importare, imposero la scelta di un materiale locale alternativo anche per quei pezzi speciali che i documenti delle rimesse indicavano importati. In sostituzione della pietra maiorchina si dovette scegliere tra le pietre locali dell'area napoletana di formazione vulcanica, quella più adeguata al taglio per la costruzione in conci. A questo fine si scelse la più dura, il piperno, di grana molto più grossolana della calcarenite maiorchina, che poteva essere estratta esclusivamente in prossimità della città ai fianchi della collina dei Camaldoli (Calcaterra et al., 2007).

L'iter costruttivo della volta della Gran Sala è documentato dal suo rendiconto finale (Filangieri, 1939). La costruzione fu affidata a Guglielmo Sagrera con il contratto del 20 dicembre 1452, dal quale risulta che fu pattuito il completamento della struttura muraria, cioè pareti e volta, in 20 mesi a partire dal primo gennaio 1453, per un compenso di 12.000 ducati. Nel contratto sono escluse le opere accessorie e di decoro all'interno, le aperture, gli ingressi, le scale e il pavimento e si riferisce che la Corte è tenuta a fornire tutto il materiale per la costruzione: la pietra importata da Puçol e da Mallorca, la calce, il legno per centine e impalcature, le quantità necessarie di piperno e di tufo come pietra rustica per la fabbrica e la ferramenta[9]. Non essendo stato rispettato il termine pattuito, il compenso fu ridotto a 11.000 ducati, anche se il ritardo si dovette principalmente alla mancata fornitura del materiale a carico della Regia Corte[10]. Poco dopo, il 21 novembre 1454, a seguito della morte di Sagrera, la Regia Corte stipulò un nuovo contratto con Joan Trescoll, collaboratore di Sagrera, con Joan e Jaume Sagrera, Coto Casamuri e Antonii Jerra. Nel contratto si concorda la consegna del lavoro a fine ottobre 1455, e si riporta nuovamente che la pietra di Maiorca e la pietra di piperno sono a carico della Regia Corte. A seguito di ulteriori proroghe, la Gran Sala fu terminata nel 1457 e inaugurata con il banchetto di Pasqua.

Nonostante previste nei contratti, le pietre di Puçol e di Maiorca non furono impiegate nella costruzione della Gran Sala e non furono realizzati in pietra di Maiorca anche molti altri elementi cui si riferivano i blocchi nelle richieste di rimessa[11]. Nella volta della Gran Sala fu utilizzata la pietra di piperno per tutti gli elementi architettonici in conci o che richiedono maggiore resistenza. Sono in piperno le nervature principali e secondarie, gli arconi agli spigoli del quadrato per l'ottagono di imposta, l'oculo in chiave, le chiavi di volta e, nella galleria, i pilastri cilindrici e i ritti e i traversi delle finestre; sono anche in piperno le fasce murarie verticali della scatola muraria negli innesti della volta. La parte restante della struttura, la scatola muraria

perimetrale di circa 5 m di spessore, le vele e le unghie della volta sono invece in muratura di tufo[12].

Conclusioni

La volta stellata della Gran Sala di Castel Nuovo si distingue dai modelli iberici in primo luogo per le sue peculiari caratteristiche di forma. Poiché tutte le nervature, costoloni diagonali e nervature secondarie a forchetta, sono disposte sulla stessa superficie emisferica e le vele in appoggio su di esse si adattano alla superficie tracciata dalle nervature, come riportato dalle più recenti misurazioni e saggi, la volta assume la forma di una vera e propria cupola di rotazione. Ciò è d'altra parte evidente osservando l'estradosso della volta emergere dal tetto di copertura di Castel Nuovo in forma di calotta emisferica. Nelle volte stellate dei modelli iberici citati, invece, costoloni diagonali e nervature secondarie non sono geometricamente disposti su una comune superficie di rotazione, ma hanno altezze diverse. Ciò implica che le vele in appoggio sulle nervature non possano comporre una unica superficie di rotazione, ma configurino campi di vele diversamente orientati, come una superficie pieghettata, congruente con le forme strutturali delle volte a crociera. Questa differenza di forma comporta un passaggio sostanziale dal modello architettonico strutturale di volta a crociera a quello a cupola di rotazione. La soluzione è analoga al passaggio dal modello architettonico strutturale di volta a padiglione al modello a cupola di rotazione messo in atto nella soluzione costruttiva di Brunelleschi per la cupola di Santa Maria del Fiore. La struttura nervata all'intradosso della cupola della Gran Sala e le otto unghie alle imposte, proprie delle *bóvedas estrelladas*, la fanno apparire una complessa struttura voltata a crociera, ma per forma essa è invece una cupola muraria di rotazione. L'apparenza e la peculiare soluzione d'imposta, perché la cupola è suddivisa alle reni in otto pennacchi murari, innestati nelle murature perimetrali dai massicci pilastri in piperno e in otto unghie che gravano sui pennacchi stessi, danno luogo a una soluzione ibrida e unica, frutto dell'innesto della cultura della costruzione in conci lapidei con il contesto locale, per peculiarità dei materiali, forme strutturali adeguate ad essi, cultura costruttiva, e modelli in un intenzionale recupero di forme e tecniche dell'antico.

L'intreccio con l'iter costruttivo della grande volta a cupola della Gran Sala mette in luce la difficoltà di approvvigionamento di pietra da taglio di importazione per la struttura della volta e la graduale sostituzione con materiali locali. La tradizionale fabbrica muraria in tufo e malta di pozzolana, che consente la realizzazione con mezzi semplici di murature in forme complesse come una cupola emisferica, associata ai modelli antichi *in situ* di cupole romane in *opus caementicium*, qui in blocchi grossolani di tufo e malta idraulica di pozzolana come nel così detto *Tempio di Mercurio* a Baia, guidarono i mastri maiorchini ad adottare la forma a cupola, che sarebbe stato invece molto complesso eseguire in conci lapidei e che nella soluzione ibrida della Gran Sala si rilevò di particolare resistenza e stabilità.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Servizio Patrimonio Artistico e Beni Culturali e l'Ufficio Coordinamento di Castel Nuovo del Comune di Napoli per il sostegno all'accesso alle parti generalmente non fruibili di Castel Nuovo, l'Archivio Storico del Comune di Napoli e Antonio Lombardo dell'Archivio fotografico della SABAP di Napoli.

Bibliografia

Calcaterra et al. 2007. The rediscovery of an ancient exploitation site of Piperno, a valuable historical stone from the Phlegraean Fields (Italy). Geological Society, 271, 23–31.

Calcaterra et al. 2013. Il piperno. In: *Le pietre storiche della Campania dall'oblio alla riscoperta* (a cura di M. De Gennaro, D. Calcaterra e A. Langella), 179-197. Napoli: Luciano.

Chioccarella L. 1999. L'idioma catalano: la grande cupola di Castel Nuovo. In: *Napoli versus coelum. La città e le sue cupole* (a cura di Baculo A.), 157-162. Napoli: Electa.

Como M.T. 2018. Inquiring on Structural Identity of Sala dei Baroni Vault. In: *Building Knowledge, Constructing Histories* (a cura di I. Wouters et al.), 1, 493-500. Leiden: Taylor & Francis.

Domenge J. 2007. Guillelm Sagrera. In: *Gli ultimi indipendenti* (a cura di E. Garofalo e M.R. Nobile), 58-93. Palermo: Caracol.

Domenge J. 2009. Guillem Sagrera e lo moderne des son temps. Revue de l'Art 166, 77-90.

Domenge J. 2010. La gran sala de Castel Nuovo, Memoria del Alphonsi regis triumphus. In: *Le usate leggiadrie. I cortei, le cerimonie, le feste e il costume nel Mediterraneo tra il XV e XVI secolo* (a cura di G. Colesanti), 290-338. Montella: CEFRASM.

Filangieri R. 1928. *La gran sala di Castel Nuovo in Napoli*. Milano: Bestetti &Tuminetti.

Filangieri R. 1934. *Castel Nuovo. Reggia angioina ed aragonese di Napoli*. Napoli: E.P.S.A.

Filangieri R. 1939. *Rassegna critica delle fonti per la storia di Castel Nuovo* III. Napoli: I.T.E.A., Estr. da: Archivio storico per le province napoletane, 1938, 63, 237-322.

Garofalo E. 2006. Napoli e il cantiere di Castel Nuovo. In: *Matteo Carnilivari Pere Compte 1506-2006: due maestri del gotico nel Mediterraneo* (a cura di Nobile M.R.). 124–127. Palermo: Caracol.

Gómez Martínez J. 1998. *El Gótico Español de la edad moderna, Bóveda de crucería*. Valladolid: Univeridad de Valladolid.

Huerta S. 2004. *Arcos, bóvedas y cúpulas*. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Ibáñez Fernández J., Zaragozá Catalán A. 2015. Absidi costruite, absidi progettate e ideali e absidi sublimi nella Corona d'Aragona durante il XIV e il XV secolo. In: *L'abside. Costruzione e geometrie* (a cura di M.R. Nobile e D. Sutera), 223-257. Palermo: Caracol.

Mas Gornals G. 2017. Hacia una tipología de la piedra de marés de Mallorca. Concepto, caracterización y estratigrafía. Boletín Geológico y Minero, 128(2), 301-328.

Muntaner Bujosa J. 1960. Piedra de Mallorca en el Castelnovo de Nápoles. Boletin de la Sociedad Arqueológica Luliana 31, 790-791, 615-630.

Nobile M.R. 2013. Volte in pietra. Alcune riflessioni sulla stereotomia tra Italia meridionale e Mediterraneo in Età Moderna. In: *La stereotomia in Sicilia e nel Mediterraneo. Guida al museo di palazzo La Rocca a Ragusa Ibla* (a cura di M.R. Nobile), 7-56. Palermo: Caracol.

Pane R. 1972. *Il Rinascimento nell'Italia meridionale*. I e II. Milano: Edizioni di Comunità.

Pérez de los Ríos C. 2016 *Aspectos formales y constructivos en la obra de Guillem Sagrera: el uso de las plantillas.* PhD. Universidad Politécnica de Madrid. ETSAM.

Rabasa Díaz et al. 2012. The 100 Ft Vault: The Construction and Geometry of the Sala dei Baroni of the Castel Nuovo, Naples. In: *Nuts & Bolts of Construction History* (a cura di R. Carvais et al.), 53-59. Paris: Picard.

Serra Desfilis A. 2000. É cosa catalana: la Gran Sala de Castel Nuovo en el contexto mediterráneo. Annali di Architettura, 12, 7-16.

Note

1. Trascrizione della lettera di Pietro Summonte a Marco Antonio Michiel del 1524.
2. I *terceletes* in spagnolo, o *tiercerons* in francese e inglese, del lessico gotico.
3. Le *legaduras* in spagnolo, o *liernes* in francese e inglese.
4. Si vedano (Filangieri, 1939, 77-87), e i volumi specifici (Filangieri, 1928) e complessivi (Filangieri, 1934) per la ricostruzione storica del castello al fine del restauro degli anni 1926 - 1940.
5. Come evidenziato nelle più recenti sintesi del cantiere (Garofalo, 2006).
6. Nei libri della Procura reale di Maiorca sono documentati carichi di pietra di Santanyí per Castel Nuovo nel 1447 e 1448, e cinque richieste di blocchi lavorati dal 1450 al 1455, trascritti in Muntaner Bujosa 1960.
7. Come dalle trascrizioni di (Muntaner Bujosa, 1960).
8. Nella commessa del 1453 sono indicate […] *huyt pedrés per fer hayt clans per la volta de la gran sala, co es tres palms dallaría e quatre de ampiaría* […] (ivi: 623).
9. " […] *Era tenguta la Cort donar al dit mestre Guillem Segrera per causa dela dita fabrica la pedra de Puçol, la pedra de Mallorques posada dins lo Castell nou, bons e bruffols les quen fossen mester lenyam clano per fer les formes e bastiments, e encara los havia de donar la Cort la calç e aximateix les havia de fer haver lo Senyor Rey lo munt de piperno e lo munt dela pedra dolç o molla per poder traure pedra rustega per la dita fabrica* […]" (Filangieri, 1939: 85).
10. "[…] *Es ver que ells havien promes acabar e complir la dita fabrica dins lo dit temps donant los la Cort la pedra que fos necessaria de Mallorques e de Puçol* […]" (ibidem).
11. In pietra maiorchina sono portali e decori delle aperture, e non altri elementi architettonici indicati dalle rimesse: le scala a chiocciola a occhio aperto e quella della camera degli Angeli (tranne la transenna) sono in conci di piperno e lo erano le chiavi di volta della Gran Sala, sostituite dopo l'incendio del 1919 (Filangieri, 1940).
12. Dalle foto scattate dopo l'incendio del 1919 (Archivi del Comune e della Soprintendenza SABAP di Napoli) si colgono indicazioni su materiale e apparecchio delle vele.

Gennaro Miccio

Il restauro della Cappella della Sindone di Torino

Abstract
Since 1668 the Guarini Chapel in Turin has hosted the Holy Shroud, a length of linen containing a double image approached by the head of a man's body, which according to Christian tradition is believed to be Jesus. In 1997, during the night between 11 and 12 April, a fire broke out. Frabosa marbles reached high temperatures and were suddenly cooled. So they fragmented into thousands of pieces. In the days following the fire, the collapse was also feared and the structure was made safe. So the "Construction site of knowledge" was born, with the aim of studying in depth the structure of the Chapel to obtain the restoration project. This document describes the analysis carried out and the discoveries on the dome of the Chapel, which was reopened to the public in September 2018, 21 years after the fire.

Introduzione

Prima di affrontare un tema così particolare che ha occupato oltre venti anni di attività degli uffici del Ministero, vorrei spiegare brevemente i motivi che mi consentono di parlare del restauro della Cappella della Sindone di Torino.

Tra i numerosi incarichi straordinari affidatimi dal Ministero per la cura e la tutela di prestigiosi monumenti sul territorio nazionale, nel 2012 fui nominato collaudatore statico in corso d'opera dell'intervento di "Riabilitazione Statica della Cappella della Sindone di Torino". Successivamente, nel 2016, allorquando fui designato dal Ministero quale Direttore del Segretariato regionale del Piemonte, ho naturalmente seguito l'ultimo intervento di restauro architettonico della Cappella, che fu riaperta al pubblico nel settembre 2018, 21 anni dopo l'incendio.

In verità la Cappella della Sindone era chiusa già dal 1992 per la esecuzione di alcuni interventi di ripristino resisi necessari a seguito del distacco di frammenti di stucco; il rovinoso incendio che rischiò seriamente di causare il crollo del monumento si sviluppò alla fine dei lavori, quando si era in attesa che il cantiere venisse disinstallato.

L'intero programma di tutti gli interventi che seguirono all'incendio si può suddividere in 4 fasi: quella dell'emergenza, avvenuta nell'immediatezza dell'incendio

e quella dell'urgenza, con la quale è stato scongiurato il crollo della Cappella e sono state messe in sicurezza tutte le sue parti. Poi c'è stata la lunga fase dedicata allo studio, all'approfondimento, alle indagini, alle ipotesi di intervento, alla individuazione dell'effettivo funzionamento della struttura, fino ad allora ignoto, e finalmente alla definizione della metodologia di intervento: questa fase, che durò circa dieci anni, fu definita giustamente "Il cantiere della conoscenza". Seguirono, poi, le fasi di "Riabilitazione Statica" e quella del restauro e del ripristino dell'apparato decorativo.

La metodologia di intervento che fu prescelta, e ritengo che sia un caso più unico che raro nel mondo del restauro monumentale, privilegiò non solo il ripristino dell'aspetto estetico del monumento, ma anche il comportamento statico della struttura, per valorizzarne la singolarità e l'originalità dovute a una idea geniale di Guarino Guarini che la progettò nel XVII secolo. Si scelse quindi di rispettare proprio l'idea del progetto statico originario con il progetto "Riabilitazione Statica della Cappella della Sindone", basato sui seguenti cardini: non aggiungere protesi o inserire meccanismi strutturali diversi da quelli ideati dal Guarini; non cambiare o modificare lo schema statico resistente originario; non aggiungere materiali diversi da quelli pensati in origine . Gli interventi previsti furono limitati al consolidamento delle parti murarie danneggiate ed alla sostituzione degli elementi marmorei che l'incendio aveva reso irrecuperabili e che non potevano ritornare a essere partecipi della resistenza della struttura; le sostituzioni sono state realizzate utilizzando gli stessi marmi prelevati dalla stessa cava di Frabosa e realizzati con le stesse suddivisioni in conci volute dal progettista.

Brevissimi cenni storici

Il termine Sindone deriva dal latino sindon – ŏnis, a sua volta derivato dal greco σινδών–όνος, voce di origine semitica che indica un tessuto di lino e per estensione i manufatti di tale materia.

La Sacra Sindone è un lenzuolo di lino tessuto a spina di pesce, in Figura 1, delle dimensioni di 4,41 m · 1,13 m, contenente la doppia immagine accostata per il capo del cadavere di un uomo, che secondo la tradizione cristiana è ritenuto essere di Gesù. Il lenzuolo comparve in Francia nel 1350, senza alcuna documentazione anteriore; il primo possessore noto in Europa fu Geoffroy de Charny, cavaliere e uomo di profonda fede, titolare del feudo di Lirey, i cui eredi la cedettero ai Savoia nel 1453.

Rapidamente la Sindone divenne una sorta di reliquia dinastica, palladio e segno di legittimazione della dinastia dei Savoia, all'epoca confinati in un piccolo ducato dell'alta Savoia francese con capoluogo Chambéry. Il possesso di una delle maggiori e più venerate testimonianze di culto della cristianità aiutò molto i Savoia, accrescendo il loro credito anche in campo politico, al punto da consentire a Emanuele Filiberto di attuare il progetto di spostare il centro politico e amministrativo nella parte oltralpe del ducato, ossia a Torino, nel 1563, dopo la vittoriosa battaglia di San Quintino. Emanuele

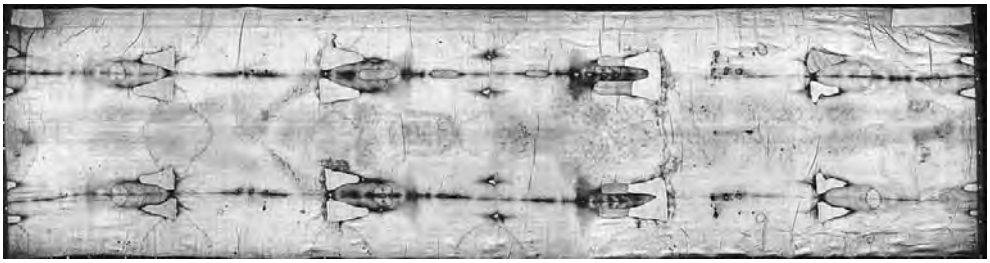


Fig. 1 – Immagine fotografica della Sindone.

Filiberto iniziò la costruzione del palazzo Ducale, alla quale parteciparono architetti e artisti reclutati in loco o in città vicine, che ingrandirono e rimodellarono incessantemente costruzioni preesistenti per soddisfare alle necessità della corte.

Il trasferimento a Torino della Sindone avvenne solo nel 1578, quando per giustificarlo fu trovato un motivo eccezionale per farla uscire da Chambery: il desiderio di abbreviare il pellegrinaggio votivo dell'arcivescovo di Milano, Carlo Borromeo, che nonostante l'età avanzata era fermamente intenzionato a raggiungere Chambery a piedi varcando le Alpi. La Sindone lasciò così Chambéry per uno spostamento a Torino che doveva essere provvisorio, ma che già nelle intenzioni del Duca si poteva ritenere, come fu, definitivo. Per custodire degnamente la Sindone, i Savoia nel 1600 decisero di costruire un'opera che potesse ospitarla nel cuore della città di Torino ma che fosse parte del palazzo Ducale, dove il sacro lenzuolo era temporaneamente ospitato; si pensò quindi di realizzare una Cappella che comunicasse direttamente con il palazzo già in parte costruito, ma che favorisse anche il culto ad opera del clero torinese da praticarsi dall'adiacente Duomo.

La prima fase dei lavori incominciò nel 1611, sul progetto di Ascanio Vittozzi e Carlo di Castellammonte e fu caratterizzata da un avanzamento che procedeva molto a rilento. Il progetto prevedeva un impianto ovale che si innalzava di pochi gradini al di sopra del livello del Duomo, mentre il dislivello da colmare tra il palazzo e il Duomo era di circa 6 m.

Nel 1657 la responsabilità del cantiere fu affidata allo scultore e architetto luganese Bernardino Quadri, che impostò una pianta circolare per la Cappella, sopraelevandola fino ad arrivare al livello del piano nobile del palazzo, seguendo i voleri dei Savoia, che chiesero anche che la cupola della nuova Cappella di Palazzo fosse più alta di quella del Duomo.

La mancanza di un progetto esecutivo che soddisfacesse quest'ultima richiesta interruppe bruscamente i lavori; in particolare, furono individuate ipotetiche carenze nelle tecniche di costruzione murarie di Quadri, che impedivano di costruire una cupola più alta di quella del Duomo in assenza di spazi necessari per realizzare ade-

guate strutture per contrastarne le spinte laterali. L'interruzione avvenne quando il cantiere aveva raggiunto la quota del primo registro della Cappella, con la realizzazione dello scurolo (la cripta sotterranea), della rampa destra di ascesa alla Cappella e dell'affaccio sul coro del Duomo.

A maggio 1668 venne ufficializzata la nomina di Guarino Guarini come ingegnere della Cappella della Sindone. La realizzazione dei lavori venne organizzata in modo da consolidare innanzitutto l'opera preesistente su cui aveva operato Quadri, al fine di conferire maggiore stabilità alla struttura.

Il progetto di Guarino Guarini

Guarini progettò un nuovo schema per la Cappella, inserendo sull'invaso cilindrico di Quadri un bacino tronco conico caratterizzato dalla presenza di tre grandi archi inclinati verso l'interno che contribuivano a ridurre di circa un quarto il piano di imposta del tamburo della cupola, con lo scopo di innalzare una struttura che fosse più leggera e che garantisse stabilità, seppur l'altezza fosse maggiore di quella della cupola del Duomo.

La preoccupazione di Guarini di ottenere una struttura leggera, sebbene di rilevante altezza, viene denunciata anche dalla presenza ai vari ordini di numerose aperture: 6 finestroni tondi in corrispondenza dei tre archi inclinati di base, altri 6 grandi finestroni ad arco in corrispondenza del tamburo. La cupola fu concepita come una sorta di "cestello" capovolto composto da sei ordini di archi sovrapposti e tra loro sfalsati, in maniera che l'appoggio dell'arco superiore gravasse sul colmo dell'arco inferiore: anche questa soluzione era evidentemente dettata dalla esigenza di alleggerire la struttura, introducendo tra gli spazi di ciascun ordine di archi sei "camere di luce" per ogni livello. Il risultato fu quello di avere un eccezionale effetto scenico di luce proveniente da una cupola che, in quanto tale, avrebbe potuto avere poche e ridotte possibilità di consentire la penetrazione della luce. I sei ordini di archi del "cestello", riducendo il loro sviluppo man mano che si sale, culminano in sommità nell'anello di imposta della stella lapidea a dodici punte, in cui spicca la colomba dello Spirito Santo.

La cupola era molto tecnologica per l'epoca: suddivisa in spicchi, con finestre a losanga poste sfalsate una sull'altra, tramite le quali la luce viene spezzata in moltissimi fasci come in un caleidoscopio, e, riflettendo sulle stelle di bronzo intarsiate nel pavimento, contribuisce a una maggiore luminosità che si distribuisce in tutto l'ambiente.

L'idea progettuale attuata dal Guarini riuscì a soddisfare tutte le esigenze stabilite dalla committenza: accesso diretto dal Palazzo, raggiungibilità anche dal Duomo tramite due scale simmetriche di oltre trenta gradini aperte solo in determinate circostanze, altezza complessiva della Cappella di gran lunga maggiore di quella della Cattedrale, superata alla fine dell›'800 solo da quella della Mole Antonelliana. Soprattutto, Guarini realizzò una costruzione che, oltre a effondere un eccezionale effetto scenografico, era strutturata su un sistema di archi di singolare disposizione

spaziale privati di evidenti provvedimenti atti a contrastare le spinte. Questa apparente carenza strutturale apparve subito evidente, tanto che un collaboratore di Guarini, lasciato provvisoriamente a dirigere l'opera in assenza del titolare, introdusse qualche provvedimento stabilizzante sul cestello, aggiungendo una sorta di costolature esterne, con andamento a gradoni, sulle quali collocò dei vasi in marmo. Il provvedimento fu sconfessato da Guarini che, però, non lo rimosse, giudicandolo inutile.

Nonostante le perplessità espresse da più parti, Guarini non espose mai la soluzione adottata per la Cappella della Sindone, limitandosi a esprimere nella sua opera l'Architettura Civile (Guarini, 1837) la seguente motivazione alla sua particolare opera "… *per stupire gli intellettuali e rendere gli spettatori atterriti*…".

Giudizi non certo lusinghieri sulla concezione statica e strutturale ideata dal Guarini per la Cappella della Sindone si sono susseguiti fino ai giorni nostri. Tra essi: "*Nella cupola della Sindone gli archi si impostano al sommo degli archi sottostanti: poteva mai ignorare il Guarini che per il razionalismo architettonico classico una soluzione siffatta era di quanto più arbitrario, anzi di assurdo, si potesse immaginare? Si può dubitare che il Guarini l'abbia scelta proprio per la sua irrazionalità? L'impostazione di un peso su un vuoto è un errore tecnico finché si pensa che le tecniche umane debbano imitare i modi della natura e rispecchiarne l'intrinseca razionalità: cessa di essere un errore quando si pensa che le tecniche umane vanno al di là dei modi naturali e cioè realizzano fenomeni che sono puramente umani, spirituali*." (Argan, 1968).

L'incendio e il recupero

Si arriva così alla notte tra l'11 e il 12 aprile del 1997, allorquando divampò un rovinoso incendio che comportò ingenti danni alla struttura della Cappella della Sindone, in Figura 2. I tentativi di spegnimento dell'incendio da parte dei Vigili del Fuoco provocarono effetti negativi sui vari elementi costituenti la struttura: i marmi di Frabosa, soggetti a un repentino riscaldamento dovuto al fuoco e a un successivo rapido raffreddamento causato dai getti d'acqua continui, avevano subito uno stress termico che procurò la frammentazione degli elementi in migliaia di pezzetti. Nei giorni successivi si temette il crollo, in quanto era abbastanza evidente lo spostamento verso l'esterno degli archi con apertura della cupola. Il crollo fu scongiurato con la messa in sicurezza della struttura, realizzata mediate cavi in acciaio tesi, posti all'esterno in maniera provvisionale con lo scopo di cerchiare il tamburo pericolante della cupola.

Le operazioni di salvaguardia e analisi che seguirono nei giorni successivi all'incendio resero note le condizioni dell'opera e nei mesi seguenti iniziò un lungo e metodico lavoro improntato soprattutto sulla conoscenza della struttura, rivelatasi molto complessa e avveniristica come concezione, per poter pervenire a un progetto che realmente riuscisse a ripristinare e non a sostituire l'originario schema statico e strutturale concepito da Guarini. Nacque così il "Cantiere della Conoscenza", che

Fig. 2 – Fotografia dell'incendio della Cappella della Sacra Sindone.

ebbe a disposizione le più moderne e sofisticate metodologie di indagine e di ispezione conoscitiva. Alla fine di questo lungo e articolato programma conoscitivo fu elaborato il progetto che diede vita a quattro distinte fasi esecutive, con i rispettivi cantieri di appalto: un lungo lavoro di restauro terminato il 27 settembre 2018, giorno in cui l'opera è stata restituita al pubblico.

Le analisi diagnostiche e le verifiche strutturali eseguite confermarono, come risulta dalla relazione strutturale del progetto "*una concezione strutturalmente corretta, per nulla bizzarra o difettosa, ma ben idonea alla stabilità sotto l'effetto delle azioni ordinarie. La necessità di intervento derivano dai terribili danni provocati dall'incendio del 1997*".

Le conclusioni alle quali si giunse a seguito dello studio e dell'analisi generale del monumento hanno costituito le linee guida per la redazione del progetto e la esecuzione degli interventi di ripristino strutturale e di restauro più in generale, qui di seguito sintetizzate.

L'analisi della struttura

Innanzitutto, non esiste una struttura portante della Cappella che abbia questo compito specifico rispetto agli altri elementi. La fabbrica della Cappella, come quella di

molti antichi monumenti, è un insieme di murature e marmi concepito unitariamente, senza alcuna intenzionale concezione di separare la struttura portante dall'apparato decorativo. Anche i paramenti marmorei del primo ordine e quelli del bacino tronco conico, che sono stati costruiti insieme alla retrostante muratura in mattoni di laterizio e a essa meccanicamente connessi con staffature metalliche, con il loro rilevante spessore hanno certamente svolto un ruolo importante nella sopportazione degli sforzi. Ciò soprattutto per il loro modulo elastico, talmente più elevato rispetto a quello delle murature da convogliare naturalmente la maggioranza degli sforzi sulle colonne, sulle paraste e sulle pareti marmoree delle superfici interne. Una successione continua di colonne, archi, gusci, pennacchi, il cornicione, le serliane e infine il Cestello, composto da archi marmorei sovrapposti, costituiscono un continuum coerente, capace di resistere agli elevati sforzi su essi concentrati.

La muratura esterna aderente ai blocchi marmorei, i grossi muri delle camere di luce, i maschi e gli arconi del Loggiato, i costoloni e gli archi murari del Cestello hanno probabilmente svolto un ruolo secondario di stabilizzazione della fabbrica più che di effettiva portanza, sia per il loro modulo inferiore, sia per il cedimento viscoso delle malte nel tempo.

Un ruolo essenziale di stabilizzazione e centratura degli sforzi hanno certamente svolto le cerchiature metalliche disposte alla base di ogni ordine di archi e della cui presenza ci si è resi conto solo durante la fase conoscitiva, in quanto erano inserite all'interno dello spessore murario. Questo regime statico intenzionale, conservato per secoli con la sola eccezione conosciuta di alcune connessioni difettose tra gli archi del cestello e di sforzi concentrati alla base dei costoloni murari, è stato sostanzialmente sconvolto dagli effetti dell'incendio che hanno spezzato le barre metalliche e che hanno portato la costruzione sull'orlo del collasso totale, come mostrato in Figura 3.

L'azione distruttiva degli effetti degli sbalzi termici differenziali si esplicò naturalmente soprattutto sulle superfici del guscio interno: colonne, lesene, arconi e rivestimenti del bacino bronco conico, incorniciature degli archi, cornicione, l'intera parete marmorea del loggiato, il cestello e la stella, tutti subirono una generale frammentazione; gli sforzi si spostarono nelle retrostanti murature, con addizionali effetti di fuori-piombo dovuti allo spezzarsi della catena principale e all'allentarsi delle altre, gli archi murari del loggiato si lesionarono gravemente e i costoloni del cestello non ressero. Le urgenti opere di salvaguardia provvisionali con le cerchiature esterne con cavi di acciaio realizzate dai vigili del fuoco prima e rinforzate successivamente evitarono il crollo totale, anche se numerosissimi furono gli elementi lapidei distrutti.

Le scoperte

Venne finalmente svelato il modello statico e strutturale concepito da Guarini con alcuni secoli di anticipo rispetto ai sistemi di cerchiatura e di assorbimento delle spinte affidate oggi a cavi di acciaio pretesi.

Fig. 3 – Immagini delle catene in ferro che componevano le cerchiature degli ordini degli archi risultate in più parti spezzate.

Guarini realizzò i sei ordini di cerchiatura alla base di ogni ordine di archi inclinati del cestello con delle barre di ferro unite tra loro da sistemi di aggancio, frutto di una accurata tecnologia per quei tempi. Indagini e analisi ci hanno convinti che l'intreccio dei 36 archi marmorei costituisce il principale elemento portante della concezione originale e che l'eventuale mancanza di quella sua perfetta efficienza ottenuta dalle cerchiature in ferro avrebbe obbligato a effettuare sui costoloni rilevanti e invasive protesi. Tale convinzione non ci deriva soltanto dall'immagine guariniana in Figura 4, dove manca la continuità dei costoloni, ma dall'approfondimento delle risultanze sperimentali che parevano evidenziare un inefficace comportamento degli archi marmorei del Cestello e confermare l'ipotesi di un sostanziale diretto scarico dei pesi sui costoloni murari.

Resta quindi escluso che il Guarini avesse bizzarramente concepito uno scenografico cestello affidando la portanza ai soli archi di muratura e ai costoloni e non agli archi marmorei con spessore 40 cm ,quando sarebbero stati sufficienti elementi decorativi di piccolo spessore, di ben minor costo e ben minor difficoltà di esecuzione e di posa. Ciò sarebbe stato anche contrario al suo insegnamento "*essendo la nostra idea di insegnare la maniera di tagliare le pietre affinché servano per far volte, archi e simili di meravigliosa e forte strutture*" (Guarini, 1837).

Per tutti questi motivi apparve indubbia la necessità di un ripristino della parte marmorea del Cestello nella sua completa efficienza come parte sostanziale e inso-

Fig. 4 – A sinistra: Facciata interna del S. Sudario di Torino (da Guarini, 1686); a destra: Immagine fotografica prima del restauro..

Fig. 5 – Immagini dello smontaggio di uno degli archi del cestello.

stituibile di quella "*struttura ideale*" che è strettamente necessaria alle discese dei carichi e alla stabilità. Il ripristino strutturale del cestello pose non semplici problemi di riparazioni meccaniche e sostituzioni parziali fin dall'esame preliminare della fabbrica.

Allo scopo di confermare la fattibilità di tali operazioni venne provvidenzialmente effettuata, dal 6 al 12 luglio 2006, l'operazione di smontaggio di un semiarco del primo sottolivello del cestello, a sinistra in Figura 5. Con sorpresa, malgrado le accuratissime precauzioni assunte per l'effettuazione delle operazioni, i tre conci marmorei da smontare si spezzarono in numerosi, irregolari frammenti. All'apparenza i conci marmorei sembrarono solo in alcuni punti spezzati, e solamente soggetti a ''peeling'' superficiale di alcuni millimetri. Si sperava che gli archi avessero solo bisogno di un restauro delle superfici, ma il tentativo di smontaggio mostrò

l'esistenza di numerose e diffuse fratturazioni interne, non visibili dall'esterno, tali da trasformare senza sforzo un concio in numerosi irregolari frammenti, a destra in Figura 5. Tale patologia, tipico risultato degli effetti termici differenziali dell'incendio, fino ad allora sospettata ma non provata, necessitava ulteriori conferme e una indagine sull'ampiezza dei suoi effetti. Essendo impensabile procedere a ulteriori e diffusi tentativi di smontaggio per ragioni di sicurezza, ma soprattutto per evitare sistematiche distruzioni non necessarie, si decise di approfondire la situazione con le tomografie soniche, prove non distruttive già soddisfacentemente tarate sulle colonne marmoree della Cappella.

Le numerose tomografie longitudinali, effettuate su tutti e 6 gli ordini, purtroppo confermarono ampiamente la gravità e la generalità del fenomeno di frattura interna che non potevano essere anticipate da semplici ispezioni visive. Sulla base di questa diagnosi, considerate le premesse di progetto, che intendevano ridare al Cestello il ruolo originario di fondamentale struttura portante, e volendo riabilitare l'intera Cappella conservandone la straordinaria immagine originaria, si escluse di affidare la portanza e la stabilità a protesi artificiali e si decise di conservare l'immagine attraverso infinite riparazioni dei conci marmorei lasciandoli in sito. Tale soluzione, rispettosa della concezione di Guarini, avrebbe però presentato gravi difficoltà tecniche, non essendo sicuro che resine o malte, capaci di riparare fessure e fratture dell'ordine del millimetro, avrebbero potuto conferire continuità attraverso invisibili microfratture dei conci lasciati in sito. Inoltre, non andava dimenticata la fragilità del marmo di Frabosa, che fu la causa iniziale del primo restauro a causa della caduta dei frammenti.

Fu possibile constatare che i costoloni esterni appaiono aggiunti rispetto al disegno originario della Cappella quale appare nel testo del Guarini alla Tav. 3 (Guarini, 1837), nella quale sono visibili dei modesti aggetti destinati ad accogliere i mensoloni e a sopportare le urne, non gli odierni veri e propri costoloni correnti lungo i meridiani esterni della cupola, che interferiscono illogicamente con le sottili volte del loggiato. Come fu evidenziato mettendo a nudo la muratura, il completamento dei costoloni nella attuale geometria appare ottenuto a posteriori mediante una inidonea aggiunta di corsi orizzontali di mattoni. I costoloni si mostrarono infatti non idonei a trasferire gli sforzi quando l'incendio li sovraccaricò sia trasferendo verso l'esterno la discesa dei carichi per l'effetto termico, sia facendo mancare la deviazione centripeta esercitata dalle catene, per cui furono luogo di gravi dissesti ai quali si dovette immediatamente porre temporaneo rimedio.

L'accurato programma di indagini e di verifiche dell'efficienza dei materiali proseguì, ovviamente, anche per le parti sottostanti del tamburo con finestroni e del bacinio tronco conico, rivelando una situazione compromessa solo per alcune colonne e lesene, nonché per l'intero arco sghembo e qualche ulteriore elemento marmoreo degli arconi: tutti questi elementi giudicati non più efficienti per far parte della

compagine resistente della Cappella furono sostituiti. Il progetto di riabilitazione fu elaborato facendo riferimento a tutti i precedenti documenti e rilievi disponibili e ai rilievi effettuati direttamente su taluni dettagli strutturali essenziali. I dati utilizzati riguardarono rilievi geometrici, prove con martinetti piatti, carotaggi, esami endoscopici, prove ultrasoniche e misure georadar nelle murature, sondaggi geognostici, misurazioni con georadar, prove con onde sismiche superficiali e verifiche sismiche. Anche i nuovi elementi marmorei introdotti furono sottoposti a prove di laboratorio e a tomografie per individuare l'eventuale presenza di difetti interni, distacchi tra i vari strati non visibili e micro lesioni, in presenza dei quali l'elemento veniva scartato.

Dopo attenti esami di laboratorio si decise anche di non procedere allo smontaggio di alcune colonne le cui tomografie risultavano non eccessivamente danneggiate e il loro consolidamento, previsto all'inizio in laboratorio, fu invece effettuato in opera con l'uso di resina e di imperniature.

L'efficacia di tutti i consolidamenti fu verificata con sezioni tomografiche eseguite nella stessa posizione delle indagini pre-consolidamento, che evidenziarono la perfetta sigillatura delle microlesioni, cui corrisponde un aumento delle caratteristiche meccaniche del materiale.

Specifica attenzione e perizia tecnologica fu destinata al progetto e alla realizzazione dei vari elementi costitutivi delle nuove cerchiature degli ordini degli archi. Furono ideati particolari elementi sferici per il bloccaggio dei cavi di acciaio, in grado di compensare anche quelle piccole eccentricità derivanti da un non perfetto posizionamento dei cavi rispetto alle direzioni calcolate. Particolari pezzi speciali furono pensati anche per realizzare il posizionamento dei cavi in corrispondenza dei punti di cambiamento della direzione della catenaria: il pezzo metallico è unico e non assemblato e gli alloggiamenti dei cavi furono realizzati scavando con il laser all'interno del blocco di acciaio: in questo modo, come mostrato nelle Figure 6, 7 e 8, non furono introdotte ulteriori tensioni interne dovute ai collegamenti o alle saldature necessarie che si sarebbero avute se fosse stato adottato un elemento assemblato e formato da vari profilati.

Ulteriori e numerosi furono gli accorgimenti adottati in fase sia progettuale che realizzativa per pervenire a uno dei restauri più complessi eseguiti dal Ministero. Vale la pena accennare anche alla particolare modalità adottata finanche in fase di collaudo strutturale allorquando il cestello, già consolidato, fu sottoposto a una simulazione di sollecitazione sismica in grado di produrre gli stessi effetti causati da una accelerazione vibrazionale proveniente da una determinata direzione: i dati raccolti dalla stazione di monitoraggio, mantenuta sempre in funzione sin dall'avvio dei primi interventi, evidenziarono una trascurabile deformazione dei vari elementi e, soprattutto, del ritorno elastico del sistema a conclusione della sovrasollecitazione indotta.

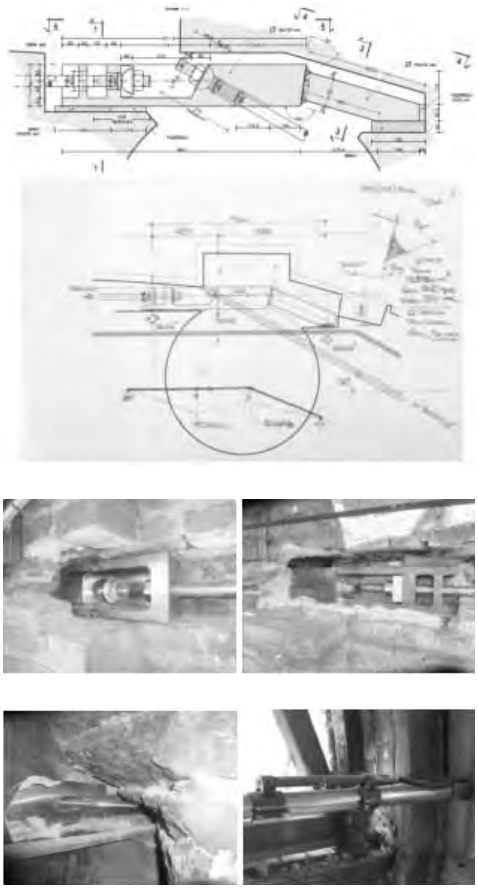


Fig. 6 – Disegni di progetto dei particolari per il bloccaggio dei nuovi tiranti in acciaio e immagini reali dei dispositivi.

Fig. 7 – Sedi in monoblocco di acciaio per i dispositivi di bloccaggio.

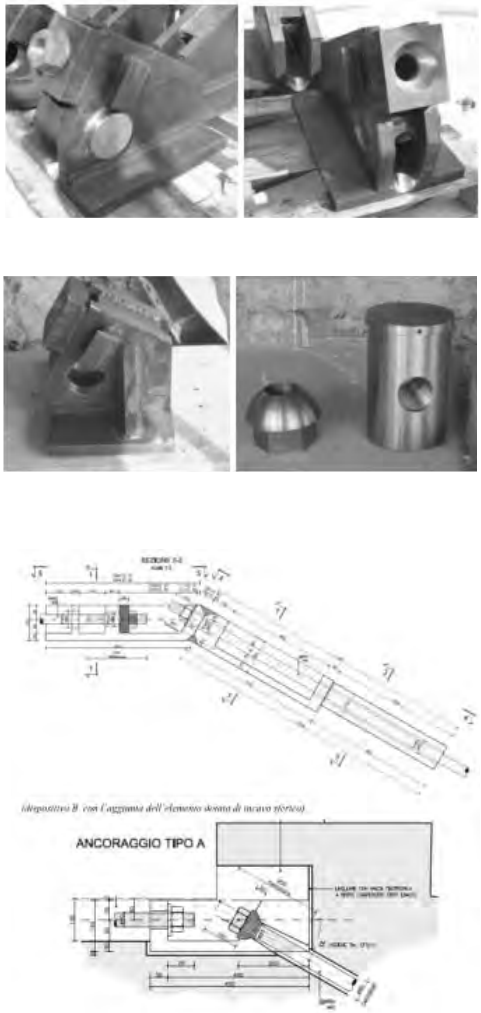


Fig. 8 – Dispositivi sferici per il bloccaggio dei tiranti.

Bibliografia

Guarini G. 1686. *Disegni di architettura civile et ecclesiastica*. Torino: Eredi Giannelli.
Guarini G. 1837. *Architettura Civile del padre d. Guarino Guarini-Opera postuma*. Torino: Gianfrancesco Mairesse.
Argan G.C. 1968. *Storia dell''Arte italiana*. Firenze: Sansoni.

Raffaele Amore, Mariangela Terracciano

I "mulini reali" di Caserta. Nuove acquisizioni e strategie di conservazione e riuso

Abstract
This contribution outlines the architectural, formal-compositional, typological-functional and constructive characteristics of some of the 'Mulini Reali' made between the late 18th and early 19th centuries, along the route of the 'Acquedotto Carolino', through reading critical of archival documents and direct field investigations. Specifically, the historical and constructive events of the 'Mulini di San Benedetto', 'Mulini della Valle' and 'Mulino di Sala' are examined, with the aim of outlining possible conservation and reuse strategies, which are essential to give back to the community heritage unjustly ignored and left in the grip of degradation and neglect.

Introduzione
L'esistenza di un importante *corpus* documentario costituito dall'inventario dei Beni della corona realizzato tra il 1826 e il 1827 dall'amministratore dello Stato di Caserta, cav. Antonio Sancio (Loffredo, 2006; Brancaccio, 2019; Barra e Puca, 2018) ha consentito a molti studiosi di sviluppare interessanti ricerche su complessi edilizi realizzati nell'area casertana contemporaneamente alla costruzione della nuova reggia e facenti parte del patrimonio di "Casa Reale". Si è trattato di studi storico-documentali che hanno messo in luce la consistenza e lo sviluppo di architetture a servizio di importanti attività produttive, i cui introiti dovevano servire al mantenimento della Reggia. Tali manufatti possono essere inseriti nel più vasto disegno, iniziato da Carlo III e proseguito da Ferdinando IV, teso a creare una rete di infrastrutture e di servizi nel territorio di Terra di Lavoro, a sostegno di iniziative produttive nel settore tessile e in quello della trasformazione di prodotti agricoli. Nell'ambito delle ricerche condotte sull'argomento risultano di grande interesse quelle dedicate ai cosiddetti *Mulini Reali* (Messana, 2008; Serraglio 2008; Capano, 2010), un sistema di mulini costruiti lungo il percorso dell'Acquedotto Carolino (Capano, 2010, 857; Di Stefano, 1973), che oggi si presentano, salvo quello di Montebriano, in condizioni di estremo degrado e incuria.

Il presente contributo vuole delineare il quadro storico, i caratteri architettonici, formali-compositivi, tipologici-funzionali e costruttivi di tali architetture, attraverso la lettura critica del repertorio di dati raccolti sul campo. L'esame e la classificazione della documentazione storico-archivistica e iconografica rappresentano straordinari

strumenti di indagine e di conoscenza che trovano il loro completamento se si combinano con i risultati dell'esame diretto e pluridisciplinare della consistenza fisica del manufatto architettonico e delle sue condizioni di degrado. L'indagine metrica e l'individuazione dei materiali e delle tipologie costruttive impiegate per la realizzazione di un edificio consentono, infatti, di relazionare e di confrontare le risultanze delle fonti iconografiche e documentali con la stratigrafia strutturale degli elementi della fabbrica. Per tale motivo le indagini dirette sulla materia dei manufatti architettonici storici secondo un approccio di tipo "archeologico" (Doglioni, 1997; Brogiolo e Cagnana, 2012) costituiscono un elemento di integrazione essenziale dei risultati delle ricerche storiche, archivistiche e bibliografiche, consentendo una lettura e una interpretazione contestuali e interdisciplinari dei dati raccolti (Di Stefano, 1990; Aveta, 2008), che supporta e valida i dati storici.

Per tale ragione, ad arricchimento delle ricerche storico-archivistiche-documentarie già elaborate da altri Autori, il presente contributo si pone l'obiettivo di fornire una prima sintetica lettura della consistenza materiale dei Mulini di San Benedetto, del Mulino ai Ponti di Valle e del Mulino di Sala.

Mulini di San Benedetto

Il primo complesso molitorio[1] a essere realizzato su iniziativa dei Borbone fu quello di San Benedetto[2], in un'area attraversata dal tratto terminale dell'Acquedotto Carolino[3], che era stata fino a quel momento utilizzata come cava di pietre per la costruzione della Reggia. Nel maggio del 1770 iniziarono, sotto la direzione di Vanvitelli e con la collaborazione del figlio Carlo, i lavori di costruzione dei mulini che si conclusero nell'estate del 1772. Le spese di costruzione di circa 7000 ducati[4] furono sostenute dalla Giunta degli Allodiali[5], perché la struttura era destinata al patrimonio privato di Ferdinando IV. Il complesso comprendeva due *Molini*, dotati entrambi di quattro macine, posti a due quote altimetriche differenti. L'edificio del primo mulino, detto superiore, era composto da due livelli: il pianterreno ospitava il gran "casone" con le macine, mentre al piano superiore vi erano cinque stanze destinate per comodo dei "Molinari", cui si accedeva salendo una scala coperta situata a destra dell'ingresso al casone. Il corpo a "L" che dava sulla strada ospitava una grande scuderia e metteva in collegamento il mulino con l'osteria, composta da un ambiente diviso da archi, da due altri bassi e da una piccola scuderia; al piano superiore erano ubicate dodici stanze, destinate a uso abitativo. Il secondo mulino, detto inferiore, era sempre su due livelli: il piano terra era costituito da un ambiente con le macine, mentre al primo piano vi erano due stanze per "comodo de Molinari", cui si accedeva attraverso una scala coperta a destra.

Tra il molino superiore e quello inferiore fu realizzata una grande vasca[6] che raccoglieva le acque dallo scaricatoio del primo mulino e le riversava nelle fonti del secondo. Di fianco a tale vasca fu realizzato un giardino di delizie[7], che conferiva al complesso produttivo anche un carattere ameno che non si ritrova nella costruzione degli

altri mulini, ma che si spiega se si considera che il complesso in esame era parte del patrimonio personale del re. Il dislivello esistente nella direzione nord-sud tra il corpo di fabbrica superiore e quello inferiore poteva essere superato mediante una scala che si svolgeva ai lati del citato giardino, perpendicolarmente ai due corpi di fabbrica principali. Una rampa carraia collegava i due piazzali antistanti gli ingressi ai due casoni, dove avvenivano le operazioni di carico e scarico dei prodotti. Nel 1813 l’architetto di corte Luca De Lillo realizzò una piccola chiesetta a servizio dei mugnai[8]. A partire dal 1839 il mulino subì una serie di trasformazioni e ampliamenti[9]: furono costruiti nuovi magazzini e una piccola scuderia a spese dei Baroni Farina, cui era stata affidata la gestione del complesso. La scuderia con tetto a falde fu ubicata in un angolo dello slargo posto davanti all’ingresso del mulino inferiore, mentre i magazzini, divisi in tre stanze coperte a volta, furono realizzati in adiacenza all’edificio d’ingresso[10]. Al di sopra di tali magazzini furono costruite due stanze per la clientela[11]. Nel 1849 fu approvata la richiesta di ricostruzione e di ampliamento dell’aia secondo il progetto redatto dell’architetto della Reale Amministrazione Giuseppe Minervini[12].

Intanto, nel 1840, in un mulino a Santa Maria di Capua Vetere furono installate quattro macine animate da macchina a vapore. A fronte di tale innovazione tecnologica che inevitabilmente rendeva meno competitivo l’arcaico sistema ad acqua, i Baroni Farina chiesero di poter rinnovare e adeguare i macchinari a servizio dei due mulini, installando dei “turbini idraulici” introdotti dal Fourneyron in Francia. Il relativo progetto di Gaetano Genovese e di Antonio Bucci fu approvato nel gennaio del 1841 per una spesa di 3000 ducati, che sarebbero stati pagati dai Farina, nel caso di “mal riuscita”[13].

Con l’Unità di Italia i Mulini di San Benedetto continuarono a essere gestiti dai Farina per qualche anno. Alla vigilia della Grande Guerra, il complesso fu acquisito dal Demanio Militare per essere trasformato in una caserma con annessa fabbrica di calzature e depositi. In quegli anni fu costruito un nuovo padiglione per la lavorazione delle tomaie e una tettoia per la pesa di avena e foraggi per il vitto dei militari. Occupato durante la Seconda guerra mondiale, il complesso fu riconsegnato dal comando anglo-americano alla Direzione Militare di Artiglieria nel 1946. Un rilievo con inventario del 1953, redatto dalla 10ª Direzione Lavori Genio Militare, documenta che il complesso, in cattivo stato di conservazione, aveva la stessa consistenza di oggi. Nel 1983 avvenne il passaggio di consegna dalla Direzione Militare dell’Artiglieria al Comando di Presidio Militare: iniziò così lo svuotamento di tutti gli edifici del complesso che da allora versa in stato di abbandono.

Nonostante l’incuria, sono ancora leggibili le tracce dell’originario impianto e delle successive trasformazioni, soprattutto planimetricamente. La mancanza del rivestimento di intonaco lascia intravedere la tessitura delle murature di tufo a blocchi regolari che si diversificano per epoca di costruzione, in funzione della grandezza dei conci. Le strutture più antiche conservano ancora volte in tufo, mentre le aggiunte

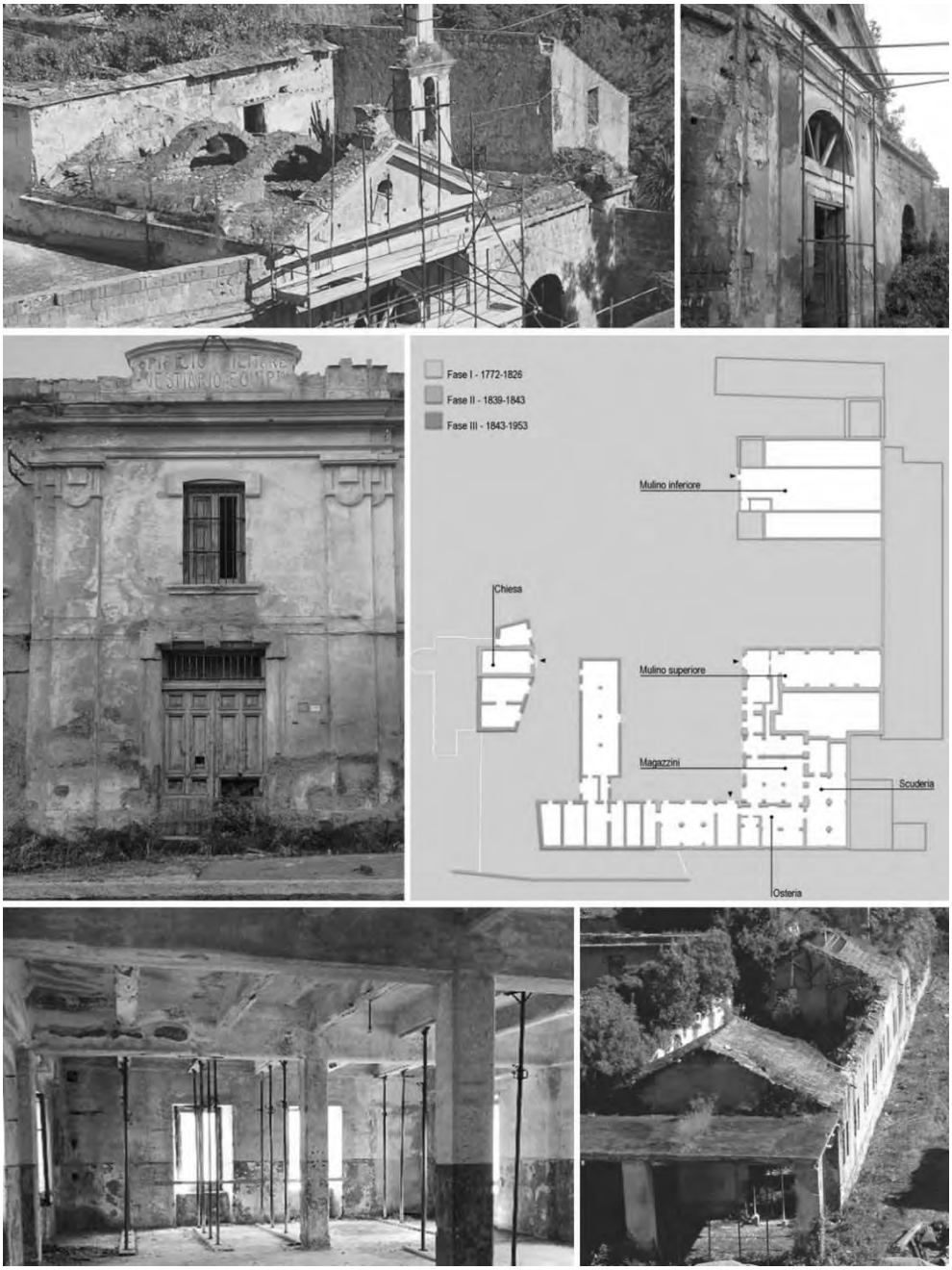


Fig. 1 – I Mulini di San Benedetto. Planimetria con indicazione delle diverse fasi costruttive e foto dello stato attuale.

più recenti presentano coperture a tetto molto semplici, per la gran parte in fase di crollo. La chiesetta, sebbene inglobata in edifici realizzati successivamente, è ben riconoscibile nelle sue forme e decorazioni originarie, nonostante queste si presentino fortemente compromesse. Non mancano strutture in cemento armato realizzate negli anni Trenta, con possenti travi principali e secondarie intradossate. La facciata prospiciente la strada presenta un disegno di inizio Novecento, vagamente liberty, frutto di un successivo intervento di trasformazione.

In Figura 1 sono riportate la planimetria con indicazione delle diverse fasi costruttive e una serie di foto dello stato attuale dei Mulini di san Benedetto.

Mulini ai Ponti di Valle

Per sfruttare il salto di quota di circa 19 metri che le acque del condotto Carolino dovevano compiere per immettersi nel ponte canale della Valle di Maddaloni, Ferdinando IV fece realizzare tra il 1793 e il 1795 il Mulino ai Ponti di Valle, impegnando una somma di 31.421,89 ducati [14]. Qualche anno dopo, sempre per volere del sovrano, fu realizzata, su un terrazzamento a quota più bassa, una fonderia alla quale si sarebbe dovuta affiancare una “ramiera”[15]. Il progetto non fu portato a termine a causa dei noti eventi verificatisi nel regno nel 1799. Sebbene non si trovi riscontro nella documentazione archivistica, fu molto probabilmente Carlo Vanvitelli a progettare sia il primo mulino che la ferriera e la piccola chiesa annessa.

La ferriera[16], concessa in affitto alla famiglia Mastelloni, cessò la sua attività intorno al 1822[17] e fu riconvertita anch’essa, per una spesa di 350 ducati[18], in un mulino a “tre macine” che fu dato in fitto per 800 ducati a Pasquale Marra per la durata di un anno, da giugno 1823 a giugno 1824[19]. Successivamente, nel 1824, entrambi i mulini furono concessi in fitto a Ferdinando Proto per 8 anni[20] e, poi, dal 1832 ai Baroni Francesco e Ferdinando Farina[21]. Il “casone delle macine” del mulino inferiore era costituito da un ampio vano principale d’ingresso con pavimento in basoli. Nella prima stanza vi era un piccolo ufficio per lo scrivano e, a destra del vano d’ingresso, l’accesso al magazzino, illuminato da una finestra. Un ingresso esterno conduceva alle scuderie, articolate in due stanze con quattro mangiatoie. L’accesso alle abitazioni superiori dei mugnai avveniva con una scaletta esterna che smontava su una loggetta con pavimentazione in quadroni. Nel lato a mezzogiorno vi era l’aia utilizzata quale “spanditoio” e lavatoio del grano. Annesso al “casone delle macine” del mulino superiore vi era uno stanzino per lo scrivano e, a sinistra, i locali adibiti a scuderie; a destra era ubicata un’osteria, con panche, tavoli, dispensa e cantina. Una scala interna conduceva invece alle abitazioni superiori[22].

Nel luglio del 1839 il muro del casone del mulino superiore che non riusciva più a contenere la spinta dell’acqua fu consolidato a opera dell’architetto De Lillo, il quale risarcì le lesioni e ammorsò il muro dissestato con quello opposto, realizzando tre archi, i cui piedritti erano inglobati all’interno della muratura[23].

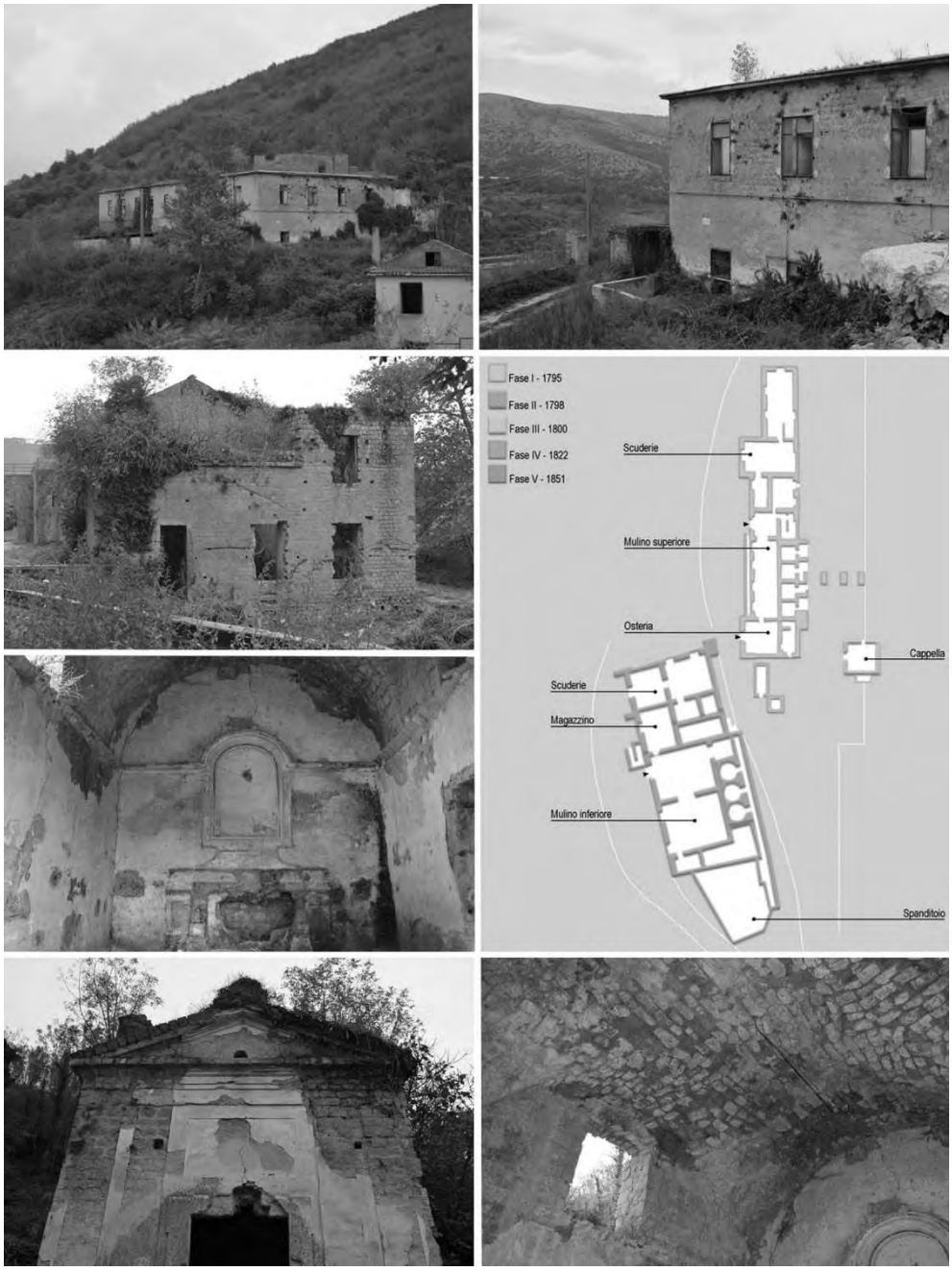


Fig. 2 – I Mulini della Valle. Planimetria con indicazione delle diverse fasi costruttive e foto dello stato attuale.

Durante gli scontri tra i volontari garibaldini e le truppe borboniche, il complesso subì gravi danni, testimoniati dal rapporto del 21 febbraio del 1861 dell’architetto Toscani[24]. Dopo un periodo di abbandono, il 29 luglio 1861, per ordine del Generale Pinelli, le truppe occuparono il mulino per vigilare il passaggio del ponte e arginare il fenomeno del brigantaggio[25]. Successivamente, la struttura fu abbandonata e oggi versa in grave stato di degrado. La mancanza degli intonaci rende facilmente leggibili le tessiture murarie, che si presentano regolari e di buona fattura. La mancanza delle strutture di copertura ha danneggiato tutti gli orizzontamenti. La chiesetta presenta sulla facciata principale ancora lacerti di intonaco della primitiva decorazione; all’interno sono visibili l’apparecchio murario della volta in conci di tufo sagomati e calce e i resti dell’altare. Una semplice operazione di pulizia e sgombero dei materiali di risulta consentirebbe un più accurato rilievo di quanto ancora resta dell’impianto produttivo.

In Figura 2 sono riportate la planimetria con indicazione delle diverse fasi costruttive e una serie di foto dello stato attuale dei Mulini della Valle.

Il Mulino di Sala

Il Mulino di Sala fu costruito tra il 1832 e il 1833, secondo il progetto dell’architetto di corte Pietro Bianchi, coadiuvato da Gaetano de Lillo, per un costo di 8.549,76 ducati[26]. La decisione di costruire un nuovo mulino in adiacenza al grande vialone della Reggia vanvitelliana fu presa a seguito della richiesta dei baroni Farina di realizzare un impianto in sostituzione di un altro dei mulini che gestivano, quello di Montebriano[27], che era divenuto scarsamente produttivo perché di difficile accessibilità, essendo ubicato all’interno del Giardino inglese del Sito reale.

Realizzata la struttura e acquistati i macchinari, ci si rese conto che il mulino era alimentato da una bassa portata d’acqua, potendo disporre solo delle acque non utilizzate per le esigenze del Giardino inglese[28] e dunque si rese necessaria la realizzazione di un nuovo condotto idrico, a servizio del Mulino e dell’adiacente *Gualchiera,* allora gestita da Raffaele Sava, che assicurasse un flusso di acqua idoneo alle esigenze di entrambe le strutture. Il nuovo condotto fu realizzato a spese di Sava[29]; il 4 gennaio 1835 l’Amministrazione reale consegnò definitivamente la struttura ai Farina[30].

Il mulino si sviluppava su un lotto di forma trapezoidale, cinto per tre lati da muri e con il lato occidentale confinante con il vialone della Reggia, ed era costituito da due corpi di fabbrica. Il primo, prospiciente la strada di accesso, era destinato a taverna e a scuderia; il secondo, posto a confine con il vialone della reggia, era adibito a mulino. Al piano terra a sinistra rispetto alla scala si sviluppava il “casone” con quattro macine, a destra l’ufficio e due magazzini. La scala posta dietro l’ufficio conduceva al piano interrato, dove vi erano le ruote motrici orizzontali; i piani superiori, primo piano e loggia, erano destinati a residenze. Il casone delle macine era aerato da quattro aperture prospicienti il cortile e da una che si affacciava nel cavedio del canale di scarico. Il piano interrato (*carcere*) era composto da quattro stanze, dove erano

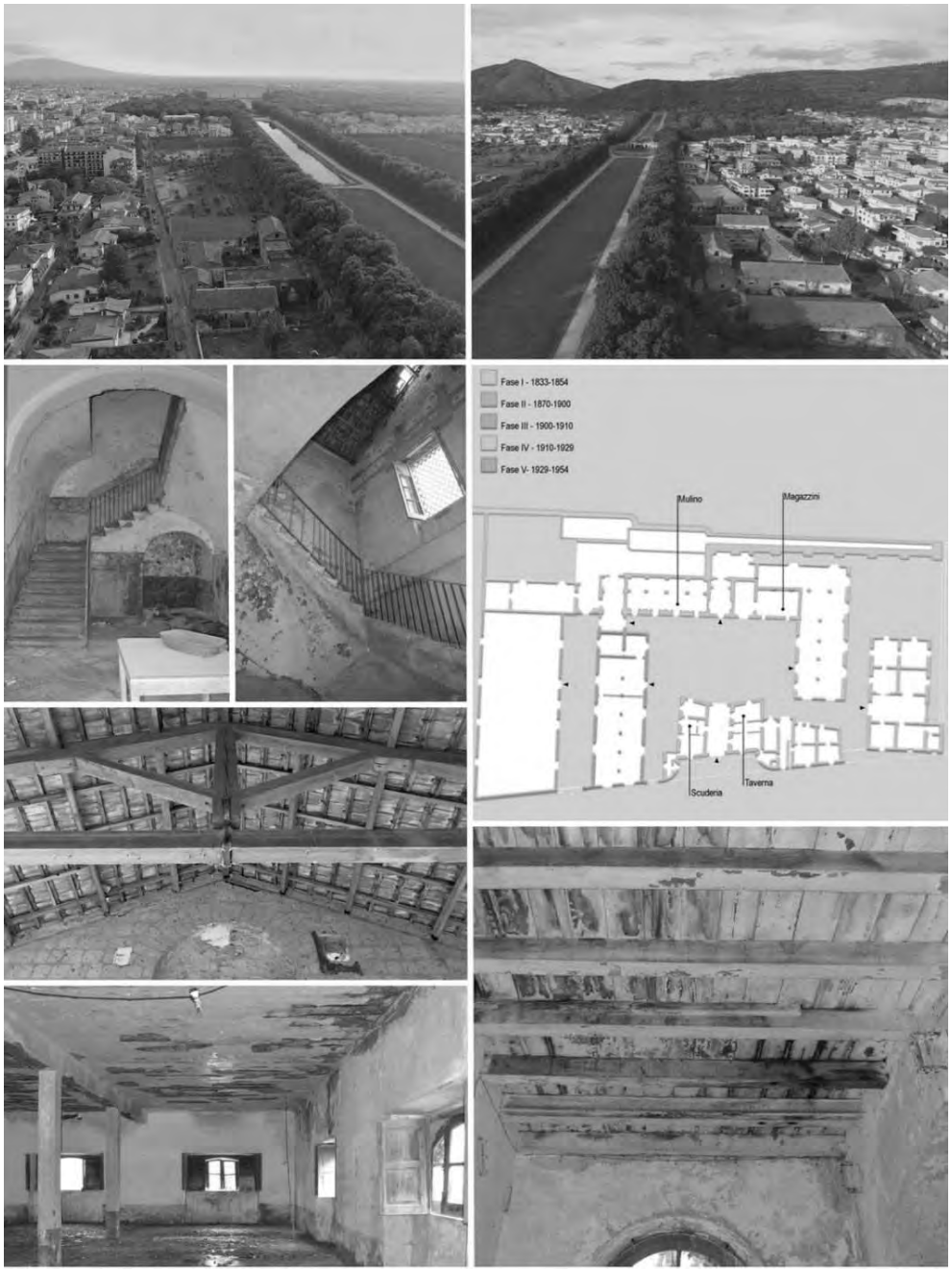


Fig. 3 – Il Mulino di Sala. Planimetria con indicazione delle diverse fasi costruttive e foto dello stato attuale..

posizionate le ruote orizzontali (*ritrecine*). L’acqua, dopo aver azionato tali ruote, si immetteva nello scaricatoio, per poi defluire nel canale dell’acquedotto Carolino che alimentava la Fontana dei Delfini. Nel cortile, a sud, erano ubicati lo *spanditoio* e il *lavatoio* del grano, oltre un piccolo giardinetto. Gli alloggi dei *lavoranti* erano ubicati tutti ai piani superiori; vi erano stanze per gli affittuari, l’abitazione dello scrivano, e, sulla loggia, l’abitazione del capo dei *molinari*.

Successivamente, nel 1854 i baroni Farina fecero richiesta alla Reale Amministrazione di poter realizzare anche due mulini per la semola[31], che furono costruiti sul suolo prima destinato a giardino, sul versante meridionale del complesso, e ai quali erano annessi un’altra aia e un’altra scuderia. Il progetto fu affidato a Giuseppe Minervini, che realizzò l’ampliamento con una spesa di 2.906,34 ducati; le spese di ampliamento furono sostenute dagli stessi locatari. Il mulino fu gestito dai Farina fino al 1867[32], per poi passare al Ministero della Guerra. In seguito, probabilmente per il cattivo funzionamento della turbina che permetteva di azionare i palmenti[33], l’attività molitoria fu dismessa, l’edificio fu convertito stabilmente a usi militari e furono realizzati nuovi alloggi e la mensa[34], occupando ampie porzioni dei cortili originari. La planimetria redatta dal Corpo Reale del Genio Civile nel 1927[35] ben evidenzia la consistenza dell’edificio a quella data, quando fu aggiunto anche un grande deposito su un’area adiacente all’originario muro di confine del mulino a sud. Da allora la struttura non ha subito ulteriori trasformazioni ed è stata utilizzata come deposito e residenza militare fino al 2007, quando è stata dismessa ed è entrata a far parte del Demanio.

A seconda delle epoche storiche in cui sono stati costruiti i diversi edifici che compongono l’attuale consistenza del Mulino di Sala, si trovano impiegate tecniche costruttive diverse: murature in tufo giallo e malta di calce e pozzolana, utilizzate per la costruzione degli edifici più antichi, e strutture a telaio in cemento armato, nelle parti aggiunte ad inizio Novecento; solai in legno con travi a doppia orditura e tavolato superiore realizzati a secco nel corpo di fabbrica dell’originario mulino, solai a travi a *panconcelli* nell’edificio costruito a metà Ottocento e solai latero cementizi nel locale mensa, più recente. La mancanza di manutenzione e l’abbandono hanno innescato processi di degrado molto significativi, causati, in massima parte, dalle infiltrazioni d’acqua piovana che hanno ammalorato i solai. Particolarmente gravi sono le condizioni dei solai in calcestruzzo armato dell’edificio novecentesco, che presenta una copertura piana non adeguatamente impermeabilizzata. La rottura di pluviali e grondaie ha determinato fenomeni di ruscellamento dell’acqua lungo le facciate con conseguente ammaloramento dell’intonaco. Non si rilevano, viceversa, particolari e significativi dissesti statici, a eccezione del crollo parziale di un solaio in travi di legno e panconcelli nell’edificio realizzato a fine Ottocento e di alcune altre porzioni di solai lignei più antichi.

In Figura 3 sono riportate la planimetria con indicazione delle diverse fasi costruttive e una serie di foto dello stato attuale dei Mulini di Sala.

Conclusioni

Il successo di pubblico registrato dal polo museale della Reggia di Caserta negli ultimi anni rappresenta un forte stimolo per la programmazione di ulteriori iniziative di valorizzazione e sviluppo delle molteplici peculiarità di Caserta e della sua provincia, in parte preesistenti alla costruzione della Reggia, in parte ad essa intimamente legate, come nel caso dell'Acquedotto Carolino e dei Mulini Reali.

In particolare, il sistema costituito dall'acquedotto con i suoi ponti e dai Mulini reali può contribuire alla conoscenza della storia recente di un territorio troppo spesso mortificato dagli eventi di cronaca. In tal senso, un processo di rifunzionalizzazione dei Mulini Reali può essere l'occasione per reintrodurre nel ciclo produttivo strutture abbandonate che nonostante tutto conservano i segni e le memorie della grande stagione della città di Caserta.

È evidente che tale operazione dovrà tenere in debito conto le caratteristiche dei singoli complessi, assecondandone la vocazione, nel pieno rispetto dei loro valori e della loro integrità materiale. Ad esempio, l'eventuale progetto di restauro del mulino ai Ponti della Valle di Maddaloni dovrà confrontarsi con gli straordinari valori paesaggistici dell'area dove è ubicato. Per i Mulini di San Benedetto non si potrà prescindere dalle caratteristiche del contesto urbano in cui risulta immerso, a seguito dell'urbanizzazione di espansione della Caserta contemporanea. Per il Mulino di Sala, invece, si dovrà tener conto sia della strategica vicinanza alla Reggia che della presenza della contigua industria tessile, anch'essa in stato di abbandono. C'è da augurarsi che nei prossimi anni si possa passare dagli studi documentari agli approfondimenti utili a reali interventi di restauro di un patrimonio storico-architettonico colpevolmente dimenticato negli ultimi decenni.

Bibliografia

Amore R. 2017. Castel Nuovo: materiali dei restauri e restauro dei materiali. In: *Castel Nuovo in Napoli. Ricerche integrate e conoscenza critica per il progetto di restauro e di valorizzazione* (a cura di Aveta A.), 216-232. Napoli: Ed. artstudiopaparo.

Aveta A. (a cura di) 2008. *Diagnostica e conservazione: l'insula 14 del Rione Terra.* Napoli: Ed. Scientifiche Italiane.

Aveta A. (a cura di). 2017. *Castel Nuovo in Napoli. Ricerche integrate e conoscenza critica per il progetto di restauro e di valorizzazione.* Napoli: Ed. artstudiopaparo.

Aveta A., Marino B.G., Amore R. 2017. Materia e realtà storica: catturare la trasformazione: un approccio trans-disciplinare per la conservazione. ΑΝΑΓΚΗ, speciale GEORES 2017, novembre 2017. 30-36. Torino: Alinea.

Barra F., Puca A. (a cura di). 2018. *Antonio Sancio. Platea di Carditello*. Roma: Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo.

Brancaccio G. (a cura di). 2019. *Antonio Sancio. Platea di San Leucio.* Roma: Ed. Ministero dei beni e delle attività culturali e del turismo

Brogiolo G. P., Cagnana A. (a cura di). 2012. *Archeologia dell'Architettura. Metodi e interpretazioni.* Firenze: Ed. All'insegna del Giglio.

Capano F. 2010. Architetture del lavoro in area casertana tra Sette e Ottocento: “architetti ingegneri” alla scuola di cantiere di Luigi Vanvitelli. Atti del 3° Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana di Storia dell’ingegneria, 857-868. Napoli: Ed. Cuzzolin.

Cirillo O. 2008. *Carlo Vanvitelli. Architettura e città nella seconda metà del Settecento.* Firenze: Ed. Alinea.

Di Stefano R. 1973. Luigi Vanvitelli: ingegnere e restauratore. In: *Luigi Vanvitelli*, 171- 246. Napoli: Edizioni Scientifiche Napoletane.

Di Stefano R. 1990. *Il consolidamento strutturale nel restauro architettonico.* Napoli: Ed. Scientifiche italiane.

Di Maria L., Petrazzuollo R., Renga G., Rossetti D. 1985. L’antica ferriera di “Ponti della Valle” di Maddaloni (Ce). Indagine sul campo. Bollettino dell’Associazione di Archeologia Industriale, 10-12. 25-27.

Doglioni F. 1997. *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell’architettura.* Trieste: Lint Editoriale Associati.

Fiengo G. 1990. *L’acquedotto di Carmignano e lo sviluppo di Napoli in età barocca*. Firenze: Ed. Leo S. Olschki.

Fiengo G., Guerriero L. (a cura di). 2003. *Atlante delle tecniche costruttive tradizionali: lo stato dell’arte, i protocolli della ricerca, l’indagine documentaria*; Atti del I e del II Seminario Nazionale di studio *Lo stato dell’arte, i protocolli della ricerca*, Aversa, 22 gennaio, *L’indagine documentaria. Bilanci e prospettive*, Agerola-Amalfi 21-23 settembre 2001. Napoli: Ed. Arte Tipografica.

Gianfrotta A. 1998. A. De Simone, Pianta dell’attuale Ferriera di Valle con la riduzione a molini a tre macine. In: *Orbis Pictus: le rappresentazioni cartografiche dalle collezioni della Reggia di Caserta*, (scheda n.27). Caserta.

Gianfrotta A. (a cura di). 2000. *Manoscritti di Luigi Vanvitelli nell’ Archivio della Reggia di Caserta 1752-1773*. Roma: Pubblicazioni degli Archivi di Stato.

Guerriero L., Fiengo G. (a cura di). *Murature tradizionali napoletane. Cronologia dei paramenti tra il XVI ed il XIX secol.* Napoli: Ed. Arte Tipografica.

Loffredo E. 2006. Platee e planimetrie dell’archivio storico della Reggia di Caserta. *Rivista di Terra di Lavoro*, Bollettino on line dell’Archivio di Stato di Caserta, I, 272-79.

.Messana V. 2008. Architettura e tecnologia della produzione: i mulini Reali. In: *Carlo Vanvitelli* (a cura di Gravagnuolo B.), 249-266. Napoli: Ed. Guida.

Ministero per i Beni e le Attività Culturali (a cura di). 2010. *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio del patrimonio culturale: Allineamento alle nuove Norme tecniche per le costruzioni.* Roma: Ed. Gangemi.

Serraglio R. 2008. L’Acquedotto Carolino: il sistema prodittuvo dei mulini. Atti del 2° Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana di Storia dell’ingegneria, 1073-1080. Napoli: Ed. Cuzzolin.

Webgrafia

http://www.rterradilavoro.altervista.org/articoli/02-04.pdf

Note

1. Archivio Storico della Reggia di Caserta (in seguito ASRC), *Dispacci e Relazioni* (in seguito D.R.), b. 1606, f.lo 27.

2. Antonio Sancio, *Platea de fondi beni e rendite che costituiscono lo Stato di Caserta formata per ordine di S.a M.a Francesco I mo Re del Regno delle Due Sicilie P.F.A. dall'Amministratore cavalier Sancio*, s.d. ma 1826 ca. ASRC, vol. 3558., p. 253.
3. Per risolvere anche i problemi di approvvigionamento d'acqua di Napoli il Sovrano aveva esplicitamente richiesto al Vanvitelli che le acque del Carolino, servita Caserta, fossero indirizzate verso il monte Coro nel territorio di Maddaloni per immettersi nell'Acquedotto del Carmignano. ASMuN, Acqua di Carmignano. Costruzione del tronco di S. Benedetto, vol. 1829, f. 99 e f. 103 (Fiengo, 1990, pp. 171-179).
4. ASRC, *D.R.*, b. 1578, f.lo 224/17-224/15, anno 1771; cfr *Ivi*, b. 1578, f.lo 235, anno 1771. Solo successivamente i Mulini di San Benedetto furono aggregati alla Reale Amministrazione di Caserta (A. Sancio, *Platea de' fondi* cit., p. 235-256).
5. Con dispaccio del 26 Novembre 1768 fu istituita la Giunta degli Allodiali del re o camera allodiale, trasformata l'11 gennaio 1790 in Intendenza o Sovrintendenza o Reale azienda allodiale, con la funzione di amministrare gli interessi del sovrano nei Siti Reali.
6. *Ivi*, p. 254; cfr. R. Serraglio, *L'Acquedotto Carolino cit.,* p. 1075; cfr, V. Pascale, *Molini di S. Benedetto. Terzo decennio sec. XIX.*, (scheda n.28), in *Orbis Pictus. Le rappresentazioni cartografiche dalle collezioni della Reggia di Caserta* di G. Nitto*,* Caserta 1998, p.63.
7. ASRC, *D.R*, b. 1581, f.lo 238.
8. ASRC, *D.R.*, b. 1754, f.lo 47, anno 1813.
9. I lavori manutenzione dei mulini, come tutti i beni di Casa Reale dati in fitto a privati, erano approvati ed eseguiti della Reale Amministrazione, su richiesta dei gestori, secondo progetti redatti dagli architetti di corte (ASRC, *Incartamenti della Reale Amministrazione* (in seguito I.R.A), b. 1931, f.lo 470, anno 1843; cfr. *Iv*i, b. 1973, f.lo 91 quinquies, anno 1847; *Ivi*, b. 2011, f.lo 327, anno 1849-1850; *Ivi*, b. 2023, f.lo 312).
10. ASRC, *I.R.A.*, b. 1881, f.lo 472, anno 1832.
11. ASRC, *I.R.A.*, b. 1901, f.lo 534, anno 1840.
12. ASRC, *I.R.A.*, b. 1999, f.lo 264, anno 1849.
13. ASRC, *I.R.A.*, b. 1913, f.lo 468, anno 1840.
14. ASRC, *D.R*, b. 1754, f.lo 47.
15. A. Sancio*, Platea de' fondi* cit., pp. 249-251; cfr. S. Abita, *Caserta e la sua reggia: Il Museo dell'Opera e del territorio,* Napoli 1995, p. 54.
16. La Real ferriera aveva forma rettangolare ed era divisa in due ampi locali comunicanti, dove erano situate le macchine. Una delle due stanze di lavorazione era attrezzata con un grosso maglio a cui facevano capo due forni, mentre per il maglietto c'era una forgia apposita, anch'essa animata idraulicamente in Archivio di Stato di Napoli (in seguito ASNa), *Ministero dell'Interno*, I inventario, vol. 2251, fasc. 4, inc. 58-61; crf. Di Maria et Alii, *L'antica ferriera di "Ponti della Valle" di Maddaloni (Ce). Indagine sul campo,* in «Bollettino dell'Associazione di Archeologia Industriale», nn. 10-12, 1985, pp. 25-27.
17. Già pochi anni dopo dalla sua realizzazione la ferriera non doveva rendere quanto ci si aspettava, tant'è che l'Ispettore Generale delle Reali Polveriere e Salnitriere, ing. Pulli, fu incaricato di valutare di trasformarla in cartiera.
18. Il relativo progetto fu affidato prima ad Antonio De Simone, che aveva sostituito Carlo Vanvitelli durante il Decennio francese come Architetto di corte, poi a Pietro Bianchi, per l'avvenuta morte di De Simone.
19. ASRC, *I.R.A.*, b. 1794, f.lo 1506, anno 1822.

20. ASRC, *I.R.A.*, b. 1790, f.lo 1337, anno 1824.
21. ASRC, *I.R.A.*, b. 1824, f.lo 66, anno 1832.
22. ASRC, *I.R.A.*, b. 1855, f.lo 301 bis, anno 1836.
23. ASRC, *I.R.A.*, b. 1901, f.lo 489, anno 1839 e seguenti.
24. ASRC, *I.R.A.*, b. 2059, f.lo 217, anno 1861.25ASRC, *I.R.A.*, b. 2164, f.lo 522, anno 1861.
26. Vincenzo Pascale, *Molino Nuovo al ponte di Sala*, 1826 ca., ASRC, *Piante planimetriche di edifici e siti dello Stato di Caserta…*, n. 65/F.
27. ASRC, *I.R.A.,* b. 1814, f. lo 156, anno 1831-1835.
28. *Ibibem*.
29. *Ibibem*.
30. ASRC, *Misure e lavori* (in seguito M.L), b. 3284, f.lo 007. All’atto della consegna del complesso fu redatta una relazione descrittiva da parte dell’architetto Gaetano de Lillo.
31. ASRC, *I.R.A.*, b. 2063, f. lo 467, anno 1854.
32. Istituto Storico e di Cultura dell’Arma del Genio di Roma, *Divisione Militare di Napoli, Direzione di Capua, Piazza di Caserta, Mulino di Aldifreda*, 1868, EM 19/A 1338.01 e EM 19/A 1338.02.
33. ASRC, *I.R.A.*, b. 2380, f. lo 183, anno 1884.
34. È stato possibile ipotizzare la stratificazione del complesso grazie all’analisi di due cartografie: *Planimetria di Caserta*, 1907, (Archivio di Stato di Caserta, d’ora in poi ASCe), e *Planimetria catastale*, foglio 26, 1912, (ASCe).
35. ASCe, Corpo Reale del Genio Civile, Planimetria allegata ai lavori per il progetto di un nuovo magazzino, 1927.

Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio

Lo sviluppo dei bacini idroelettrici in Alta Valtellina (1906-1960)

Abstract
This paper analyzes the evolution of hydroelectric industry in Alta Valtellina (Sondrio, Italy) since 1906, when the water concessions were purchased and the first hydroelectric power plant in Grosotto, joined to Milan by a 150 chilometers high voltage line, was projected. After the construction of this first plant, was realized the little Boscaccia plant (1917); in the beginning of Twenties started the construction of plants supplied by artificial basins. When the Roasco plant was finished (1922), started the construction of Cancano I dam, that took the springs of Adda river and whirled in the Fraele plant, established in 1928. Then was built the hydroelectric plant of Stazzona (1939), located underground in a cave. After the World War, II, the construction of plants in Alta Valtellina continued with the hydroelectric power plant in Lovero (1948) and San Giacomo dam (1950), which followed the monumental Cancano II dam (1956).

Premessa
Raccontare lo sviluppo idroelettrico in Alta Valtellina dal 1906 al 1960 non significa solo intrecciare la storia di una delle più importanti aziende municipalizzate del nostro Paese e le progressive trasformazioni di questo meraviglioso territorio montano, ma anche indagare quanto tali processi siano stati nel tempo importanti esempi di innovazione e modernità maturati quasi sempre in ambito politecnico, consentendo a politici, amministratori, architetti e ingegneri, laureati e docenti dell'Ateneo milanese, di sperimentare i loro saperi allo scopo di fornire autonomia energetica al Comune di Milano e consentire il suo sviluppo economico e sociale. Da anni Fondazione AEM – Gruppo A2A[1], in collaborazione con il Politecnico di Milano, promuove sul tema diverse attività di ricerca e divulgazione scientifica che hanno portato alla realizzazione di mostre, saggi, e convegni, consultabili sinteticamente in bibliografia.

La centrale di Grosotto e la nascita dell'Azienda Elettrica Municipale di Milano.
Per favorire il processo di modernizzazione tecnologica e industriale cui l'Italia andò incontro all'inizio del secolo scorso, lo Stato attuò una serie di riforme tese a favorire un progressivo decentramento amministrativo; tra queste ebbe grande importanza per l'ammodernamento del Paese la municipalizzazione dei pubblici servizi

(Bolchini, 1999). Il primo disegno di legge sulla municipalizzazione fu presentato l'11 marzo 1902 alla Camera da Giovanni Giolitti, che ricopriva allora l'incarico di ministro dell'Interno durante il governo Zanardelli. Il disegno, diventato legge il 29 marzo 1903, evidenziò fin da subito come per la sua effettiva natura economica l'illuminazione fosse il servizio più conveniente a essere municipalizzato.

Il caso più importante di municipalizzazione di servizi elettrici avvenne a Milano, che poté in quegli anni definirsi senza dubbio una "città elettrica". Caratterizzata da una lunga tradizione di illuminazione pubblica, con l'Ottocento e la scoperta del gas illuminante, Milano seguì l'esempio delle grandi città europee, costruendo nel 1845 l'officina di Porta Ludovica per la distillazione del carbon fossile e la distribuzione del gas manifatturato. Acquisita dalla società francese Union des gaz, l'impresa ottenne dal Comune il monopolio dell'illuminazione pubblica e, di fatto, anche quello della vendita ai privati (Morosini et al., 2010).

Nella seconda metà dell'Ottocento si iniziò a sperimentare l'uso dell'energia elettrica per l'illuminazione pubblica e privata. A Milano nel 1877 fu illuminata la piazza Duomo con una lampada ad arco voltaico che meravigliò gli spettatori intervenuti per la maggiore intensità della luce rispetto ai lampioni a gas, ma non ci furono poi sviluppi concreti. La svolta avvenne per opera di Giuseppe Colombo, professore del Politecnico, uomo politico e lungimirante imprenditore, che, reduce dall'Esposizione internazionale di elettricità del 1881 a Parigi, istituì il Comitato per l'applicazione dell'elettricità, sistema Edison, in Italia. Nacque così la Società Edison e nel 1883, in via Santa Radegonda, accanto al Duomo, cominciò a funzionare la prima centrale termoelettrica europea a corrente continua che rese possibile l'illuminazione elettrica di piazza Duomo, del Teatro alla Scala e delle adiacenze. La centrale di Santa Radegonda fu per data di avvio la seconda al mondo, dopo quella di Pearl Street a New York, realizzata direttamente da Edison.

Negli anni successivi, il Comune di Milano affidò alla Edison il servizio di illuminazione pubblica nella città e spezzò il monopolio dell'illuminazione a gas. Anche i privati poterono essere allacciati alle nuove reti elettriche e per un certo periodo l'illuminazione elettrica e quella a gas convissero nelle strade e nelle case dei milanesi. Nel 1895 il Comune affidò alla Edison anche la gestione delle linee tramviarie, fino ad allora trainate da cavalli, che furono elettrificate. L'espansione della Edison, che nel 1898 aveva costruito a Paderno d'Adda anche una innovativa centrale idroelettrica a corrente alternata, rese concreto il pericolo di un nuovo e più vasto monopolio che spaziava dall'illuminazione, alla fornitura della forza motrice per le imprese, sino alla gestione dei trasporti.

Nei primi del Novecento la contesa sulle tariffe, tra le più care in Italia, spinse il Comune di Milano a prospettare un intervento diretto nel campo dell'energia elettrica. Il 28 dicembre 1903, il Comune, retto dal sindaco Giovanni Battista Barinetti alla guida di una coalizione di radicali, socialisti e repubblicani, deliberò di costru-

ire la centrale termoelettrica di piazza Trento, emblema per decenni di modernità e futura musa ispiratrice del pittore Umberto Boccioni (Trisoglio, 2012). La progettazione e la direzione dei lavori furono affidati al laureato del Politecnico di Milano Tito Gonzales dell'Ufficio Tecnico comunale (Morosini et al., 2020) e la centrale fu inaugurata il 30 giugno 1905 dalla nuova giunta liberal-conservatrice, guidata dal sindaco Ettore Ponti, che proseguì sulla via della municipalizzazione, nonostante le resistenze interne (Pavese, 2011). Il funzionamento dell'impianto termoelettrico fu concepito fin dall'inizio per lavorare in parallelo alla produzione idroelettrica, assolvendo il servizio di integrazione e riserva (Comune, 1909; Gonzales, 1912, 1913, 1915). A partire dal 1904, il Comune vagliò diverse proposte per l'utilizzazione di forze idrauliche, tra cui quelle relative al fiume Toce in territorio di Baceno, al basso corso dell'Adda presso Cavenago, o ancora all'alto corso del Liro, in Valle Spluga e la sistemazione del Lago di Lugano per la regolazione e il conseguente sfruttamento del Tresa, per poi spostare l'attenzione su progetti di derivazione in Alta Valtellina già presentati alla Prefettura di Sondrio dalla locale Società per l'utilizzazione di forze idrauliche (Toso, 2015).

Il Comune, attraverso l'opera degli assessori Giuseppe Ponzio e Cesare Saldini, entrambi professori al Politecnico, sviluppò il progetto avviando, come già aveva fatto la Edison, la ricerca di risorse idriche per la produzione idroelettrica. Sin dal 1906 iniziarono le procedure di acquisto delle concessioni d'acqua e la progettazione di un impianto idroelettrico a Grosotto, in Alta Valtellina, collegato alla città di Milano da una lunga linea ad alta tensione (65 kV) che dopo un percorso di 150 chilometri, salendo al Passo del Mortirolo e passando dalla Val Camonica e dalla Val Cavallina, si collegava alla centrale di piazza Trento a Milano.

L'acquisto delle concessioni trovò inizialmente l'opposizione dei comuni valtellinesi e della provincia di Sondrio, ma nel 1906, grazie alla lungimiranza di Giuseppe Ponzio, allora Assessore ai Lavori Pubblici, il Comune ottenne le concessioni per lo sfruttamento delle risorse idrauliche dell'alto corso dell'Adda e del torrente Roasco e affidò il progetto dell'impianto a tre ingegneri e docenti del Politecnico, il futuro rettore del fascismo Gaudenzio Fantoli per lo studio della derivazione, unica sua collaborazione professionale con AEM, Giacinto Motta (Morosini et al., 2020) per la parte elettromeccanica e Carlo Mina (Morosini, 2020) per le opere idrauliche ed edilizie. Il progetto iniziale prevedeva la realizzazione di tre centrali in Alta Valtellina che dovevano sfruttare le acque dell'Adda in località Le Prese, Grosotto e Tirano, e una centrale sul torrente Roasco. Il Comune di Milano intraprese direttamente la realizzazione di una prima centrale, attraverso la costituzione di un apposito Ufficio esecutivo dell'impianto idroelettrico di Grosotto, evitando così di anticipare l'iter burocratico per la costituzione dell'azienda municipalizzata milanese, che avrebbe comportato un eccessivo ritardo nel completamento dell'opera. La centrale derivava le acque direttamente dal corso del fiume Adda, intercettate in località Le

Prese e convogliate verso Grosotto tramite un canale in galleria con uno sviluppo complessivo di 12 km sulla sponda sinistra orografica della valle[2;]. un tratto di canale scoperto immetteva infine le acque in un bacino artificiale di decantazione e da qui la inviava alle tre vasche di carico, da cui partono tuttora le tre condotte forzate dirette alla centrale. L'ipotesi avanzata dal Comune di Milano considerava le caratteristiche di ciascuna centrale all'interno di un sistema concepito per ottenere una ottimizzazione della produzione e del trasporto, con una visione strategica che accompagnerà anche le successive revisioni dei piani di utilizzazione (Toso, 2015). Nel luglio 1909, quando i lavori di costruzione della centrale di Grosotto e della linea di collegamento stavano volgendo al termine, il Comune deliberò la costituzione dell'Azienda Elettrica Municipale: in ottemperanza alla legge Giolitti, la delibera andava ratificata da un referendum popolare, che si tenne il 10 aprile 1910 e che ebbe esito largamente positivo. Il 16 ottobre 1910 la centrale di Grosotto iniziò a produrre energia e a rifornire la città di Milano; così l'8 dicembre nacque ufficialmente l'Azienda Elettrica Municipale (AEM) di Milano (Morosini et al., 2010).

Le difficoltà incontrate dalla municipalizzata dopo la sua istituzione e l'insorgere della Grande Guerra portarono subito a una prima massiccia revisione dei piani di sviluppo progettati da Gonzales. Nel 1913 si prospettò un primo progetto per lo sfruttamento complessivo delle risorse idrauliche dell'Adda tra la sorgente e Tirano, prevedendo la costruzione in Val di Fraele di un serbatoio della capacità di 10 milioni di metri cubi, che doveva servire a garantire un funzionamento continuo della centrale di Grosotto, integrando le magre invernali del fiume. Una successiva domanda, presentata da Comune di Milano nel 1915, prevedeva la realizzazione di una centrale in località Isolaccia, comune di Valdidentro, che sfruttasse il salto dal serbatoio di Fraele, nonché una seconda derivazione dalla Val Viola Bormina. Il progetto rimase di fatto però in sospeso per lo scoppio del conflitto, trovandosi il cantiere in prossimità dell'estremità occidentale del fronte di guerra (Toso, 2015).

Sempre nel 1915, il Comune di Milano autorizzò preventivamente AEM a studiare un aggiornamento del suo apparato produttivo e di distribuzione in vista dell'imminente municipalizzazione del servizio tranviario, che avvenne solo nel gennaio del 1917, dopo una lunga e difficile dialettica tra la Società Edison, AEM e l'amministrazione comunale. All'interno del piano di assunzione del servizio tranviario, l'azienda elettrica dovette così garantire il necessario approvvigionamento energetico per i trasporti pubblici, precedentemente fornito dalla Società Edison, studiando in emergenza nuovi investimenti idroelettrici in Alta Valtellina che portarono alla costruzione nel 1917 della piccola centrale della Boscaccia Nuova. Durante la guerra AEM si trovò quindi a operare su diversi fronti, assicurando anche la salvaguardia degli impianti in Valtellina, a pochi chilometri dal fronte, per garantire alla città di Milano un constante approvvigionamento energetico per sé e il suo sistema produttivo, in particolare quello bellico (Trisoglio, 2016).

L'espansione idroelettrica tra le due guerre

Bisognò aspettare il marzo del 1918 perché AEM riprendesse i grandi progetti di altre installazioni idroelettriche, portate poi a compimento con la costruzione della nuova centrale del Roasco, con l'impianto di Fraele e con l'invaso di Cancano I.

Al termine del conflitto, mutata la normativa sulle derivazioni delle acque pubbliche per incoraggiare una razionalizzazione degli utilizzi idrici[3], la società Terni presentò un progetto di utilizzazione delle medesime risorse idroelettriche in Alta Valtellina, da utilizzare per i propri impianti elettrometallurgici, inizialmente considerato dal Genio Civile di Sondrio migliore di quello presentato da AEM (Bolchini, 1999). Il progettista del Politecnico di Milano Angelo Omodeo prevedeva per la Terni la costruzione di cinque reti di derivazione idraulica e di quattro centrali che ne sfruttassero le acque in salti successivi; il serbatoio principale sarebbe stato realizzato in Val di Fraele, alimentando la centrale principale situata a Premadio. Tito Gonzales approntò in contrapposizione una nuova domanda, approvata dal Genio Civile nel giugno 1920, prevedendo da parte di AEM il raddoppio della capacità del serbatoio di Fraele e lo sfruttamento di diversi corsi d'acqua provenienti dalla valli laterali, nonché la realizzazione di cinque impianti in serie, per utilizzare il salto complessivo dalla sorgente fino a Tirano.

Per seguire i cantieri, AEM istituì la Direzione Lavori Impianti Idroelettrici, a capo della quale fu nominato Silvio Apostoli, già co-progettista e direttore dei lavori per la costruzione della linea elettrica Grosotto-Milano all'interno dell'Ufficio esecutivo del Comune di Milano e successivamente incaricato, assieme all'ingegnere politecnico Carlo Leidi, della sezione produzione dell'Ufficio tecnico AEM (Toso, 2015). A fronte degli ulteriori rallentamenti sui progetti in Val di Fraele, la Direzione approntò un nuovo progetto che interessava la Val Grosina, con la creazione di uno sbarramento ad arco a gravità, primo esempio in Italia, del torrente Roasco in località Fusino e di una centrale idroelettrica in grado di sviluppare una potenza di 20 MW. Realizzata per la parte architettonica dal grande architetto Piero Portaluppi (Morosini et al., 2020), che aveva allora già progettato le due centrali idroelettriche Edison di Verampio e Crego, la centrale entrò in servizio nel 1922, disponendo di un serbatoio di 200.000 m^3 su un salto di circa 500 m.

Nel 1922 cominciò la costruzione del grande impianto di Fraele, prevista in tre fasi: completamento del bacino e della centrale, realizzazione del canale Viola e delle derivazioni integrative dalla Val Braulio e dai torrenti minori. I lavori iniziarono proprio nel periodo in cui si verificò la tragedia del Gleno[4] e la variante di progetto per la diga di Fraele di Gonzales e Apostoli, con la soluzione ad arco a gravità singolo invece del precedente progetto ad archi multipli, venne approvata solo in seguito alle osservazioni della commissione ministeriale incaricata di vagliare il progetto, della quale faceva parte anche il già citato Gaudenzio Fantoli. Nel 1928 venne così ultimata la diga di Cancano I, alta 43 m per un invaso di circa 24 milioni di metri

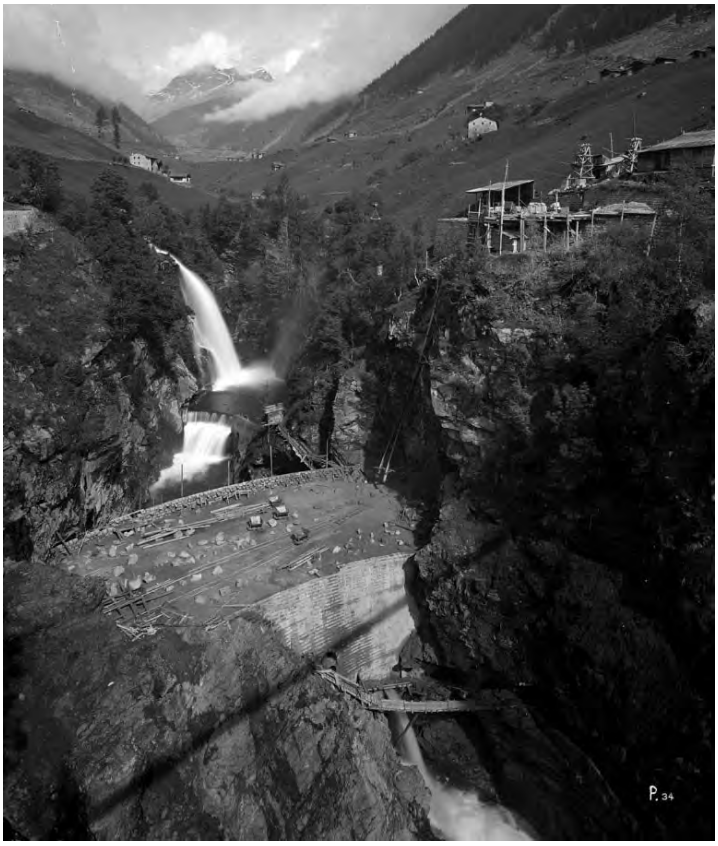


Fig. 1 – La diga di Fusino in costruzione. Antonio Paoletti, anni Venti (Archivio storico fotografico AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

cubi, e avviata la nuova centrale di Fraele a Isolaccia, progettata per la parte architettonica in stile tardo eclettico dall'architetto bergamasco Giulio Paleni.

Ripercorrendo la storia dei cantieri valtellinesi è evidente una continuità dei lavori tra l'ultimazione dell'impianto del Roasco, in Figura 1, l'aggiornamento tecnico dell'impianto di Grosotto e l'avviamento dell'impianto di Fraele, che si concretizzarono nel difficile contesto politico e amministrativo degli anni Venti sotto la guida di AEM da parte di Giuseppe Belluzzo, professore del Politecnico di Milano, ministro dell'Economia nazionale e poi della Pubblica istruzione, del commissario straordinario Carlo Cicogna Mozzoni, e successivamente di Albino Pasini, docente al Politecnico di Milano e presidente fascista di AEM dal 1928 al 1943 (Morosini et al., 2020).

Completate tra il 1929 e il 1932 le derivazioni con il bacino di Cancano I, l'azienda mise in progetto la costruzione dell'impianto "in caverna" di Stazzona che,

utilizzando il corso dell'Adda da Sernio a Tirano, con un salto di 92 m avrebbe assicurato un nuovo incremento di produzione. Le difficoltà dovute al contesto economico e industriale di quegli anni rallentarono di molto la costruzione dell'impianto, inaugurato solo nel 1938, volgendo l'attenzione dell'impresa al miglioramento degli impianti esistenti. Contemporaneamente all'aumento della potenza elettrica in Valtellina e all'ammodernamento delle centrali e dei sistemi di trasmissione, a Milano nei primi anni Trenta fu così avviato un grande piano di aggiornamento della rete pubblica di distribuzione per fornire energia anche ai nuovi quartieri residenziali e industriali sorti ai limiti della città in progressiva espansione. Dal 1932 al 1934 furono costruite le grandi stazioni ricevitrici Nord e Sud allo scopo di ricevere l'energia proveniente dalla Valtellina e di ridistribuirla uniformemente su tutto il territorio comunale (Morosini et al., 2010).

L'estensione dei lavori necessari per la costruzione degli impianti rese inoltre evidente l'impatto notevole che gli impianti idroelettrici ebbero sul paesaggio alpino, impatto al quale, per motivi culturali, non seguì però in quegli anni una vera e propria opposizione. Non va trascurato che le associazioni che si rivelarono determinanti per la diffusione di una cultura di salvaguardia del paesaggio in Italia, quali il Club Alpino Italiano, CAI, e il Touring Club, ebbero origine dagli stessi ambienti sociali che incoraggiavano il progresso scientifico e industriale e che le stesse opere che oggi giudicheremmo di eccessivo impatto ambientale servirono anche alla fondamentale regolazione degli imprevedibili regimi torrentizi delle regioni montane. Il CAI promosse molto presto anche il dibattito su problematiche ambientali dell'area alpina quale il disboscamento. Il Touring Club Italiano appoggiò le iniziative volte da un lato alla tutela delle bellezze paesistiche, dall'altro alla loro accessibilità, incoraggiando lo sviluppo dell'infrastruttura turistica, e si fece portavoce delle istanze della tutela del paesaggio anche in campo istituzionale, considerando l'incoraggiamento dello sviluppo idroelettrico un'azione strategica per il riassetto idrogeologico del territorio (Toso, 2015).

Nel 1940, con la direzione dei lavori dell'ingegnere politecnico Andrea Roverselli, si diede avvio alla costruzione di altro grande bacino in Val di Fraele situato a monte dell'invaso di Cancano I, dove con la diga di San Giacomo, alta 83 m e lunga ben 960 m, si mise in opera la realizzazione di un serbatoio di 64 milioni di metri cubi, in Figura 2. Per la sua edificazione, furono costruiti il villaggio operaio temporaneo di Digapoli e una linea filoviaria di 62 km, all'epoca la più lunga filovia del mondo, per trasportare al quartiere in alta quota il cemento che arrivava a Tirano tramite ferrovia. Contemporaneamente, l'azienda mise in lavorazione l'impianto di Lovero, utilizzando il salto disponibile tra lo scarico di Grosotto e la presa di Stazzona. Entrambi i cantieri, a causa del secondo conflitto mondiale, subiranno continui rallentamenti e saranno conclusi solo nel dopoguerra, fornendo appoggio logistico alla lotta partigiana durante la Resistenza.

Fig. 2 – La diga di Cancano I e di San Giacomo, 1949 (Archivio storico fotografico AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

Dal dopoguerra al boom economico: dalla diga di San Giacomo (1950) alla centrale di Grosio (1960)

Avviata la centrale "in caverna" di Lovero nel 1948 e conclusa la realizzazione della grande diga di San Giacomo nel 1950, si inaugurò un nuovo progetto per l'utilizzo integrale delle risorse idriche dell'Alta Valtellina, rendendo in parte obsoleti i precedenti impianti.

Nel 1951 per volontà del nuovo presidente Roberto Tremelloni, già ministro dell'Industria e del Commercio (1947-1948) nel governo De Gasperi e al'epoca docente del Politecnico (Ciuffetti, 2017; Morosini et al., 2020), e del direttore di AEM Filippo Carati, laureato al Politecnico, furono avviati tre grandi piani quadriennali dell'impresa, incentrati sull'ampliamento e l'ottimizzazione dell'intero sistema idroelettrico in Alta Valtellina.

La prima fase di sviluppo (1952-1956) riguardò la costruzione della grande diga di Cancano II per la centrale di Premadio e l'aggiornamento delle linee elettriche di trasmissione. Contemporaneamente, a Milano l'aumento della richiesta di energia deter-

minò la dismissione dell'obsoleta centrale a carbone di piazza Trento e obbligò AEM ad aderire assieme a Edison, Falck, Agip al consorzio STEI, Società Termoelettrica Italiana, per la costruzione a Tavazzano di una centrale termoelettrica a metano. La seconda fase di sviluppo si concluse nel 1960 con la costruzione della centrale idroelettrica di Grosio e la realizzazione a Milano della nuova rete delle sottostazioni elettriche di distribuzione. Con l'avviamento nel 1961 della centrale termoelettrica a metano di Cassano d'Adda, realizzata insieme all'Azienda Servizi Municipalizzati, ASM, di Brescia, si aprì la terza e ultima fase di ampliamento industriale di AEM, che si chiuse con l'incremento idrico concesso dalle derivazioni dello Spöl nel 1963, ottenute grazie a un pionieristico accordo internazionale tra Svizzera e Italia (Trisoglio, 2015).

Già nel 1950 fu avviata in Val Fraele la centrale provvisoria di San Giacomo, destinata ad utilizzare il dislivello fra il serbatoio di San Giacomo e quello di Cancano: essa venne poi demolita nel 1956, con la messa in esercizio della nuovo diga di Cancano II. La nuova diga ad arco a gravità[5], progettata dagli ingegneri Felice Contessini e Guido Oberti, entrambi docenti al Politecnico di Milano rispettivamente di Costruzioni idrauliche e Scienza delle costruzioni, collaudò una inedita costruzione in due fasi che comportò lunghe indagini sperimentali e prove su modelli presso l'Istituto Sperimentale Modelli e Misure, ISMES, di Bergamo, di cui Oberti fu anche direttore (Castellano, 1984).

Alta 136 m, questa ardita realizzazione, in Figura 3, è importante anche per la notevole ampiezza del raggio di curvatura e per la vastità del suo bacino, che ampliò di molto la capacità del precedente invaso di Cancano I, destinato ad essere sommerso con la precedente diga. Con la realizzazione dell'opera, anche la chiesetta di Sant'Erasmo, edificata da AEM su progetto di Albino Pasini nel 1933 in memoria dei dipendenti caduti in guerra e sul lavoro, venne completamente smontata e ricostruita più a monte, dove ancora oggi si trova (Ciuffetti, 2017).

Nel progetto predisposto dall'ingegnere politecnico Eugenio Barioli, si estese con apposite derivazioni lo sfruttamento delle acque della vicina Valfurva, con i torrenti Zebrù, Frodolfo e Gavia, ricchi di apporti glaciali, che andavano a costituire un bacino di 240 milioni di metri cubi e alimentavano, con un salto di 672 m, la nuova centrale in caverna di Premadio, progettata per la parte architettonica da Mario Salvadè, laureatosi architetto al Politecnico di Milano nel 1939, sviluppava una potenza di 150 MW (Trisoglio, 2015). Contemporaneamente la precedente centrale idroelettrica di Fraele perse progressivamente importanza rispetto a quella di Premadio.

Avviato l'impianto di Cancano II, fu possibile passare alla seconda fase di sviluppo che prevedeva una nuova centrale idroelettrica a Grosio, utilizzando in primo luogo, tramite una lunga derivazione in caverna, le acque scaricate da Premadio con un salto di circa 600 m e, in secondo luogo, quelle del torrente Roasco. Entrambe le acque dovevano confluire nel bacino della nuova diga a speroni tracimabile della Val Grosina, progettata da Felice Contessini e alta circa 52 m, che permise di creare un

Fig. 3 – La diga di Cancano II. Paolo Moreschi, 1956 (Archivio storico fotografico AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

serbatoio di circa 1,4 milioni di metri cubi destinato a scopi multipli: compensazione e rifasamento delle portate scaricate dalla centrale di Premadio, regolazione parziale delle acque del torrente Roasco e alimentazione dell'impianto in caverna di Grosio, avviato come si è detto nel 1960 con gli edifici di servizio progettati dall'architetto politecnico Ladislao Kovacs (Menini, 2013). Come nel caso di Premadio, anche la storica centrale del Roasco venne sorpassata da quella di Grosio, che diventò la centrale pilota del nuovo intero sistema idroelettrico AEM.

A completare l'ottimizzazione e lo sfruttamento integrale delle risorse idriche dell'Alta Valtellina, nei primi anni Sessanta AEM attuò il progetto di derivare le acque del torrente Spöl, affluente del fiume Inn che ha origine in territorio italiano e che era entrato negli obiettivi di espansione idroelettrica per l'azienda già dal 1942, in Figura 4. A garanzia di un'equa ripartizione dell'utilizzazione idrica, nel 1957 fu siglato dopo laboriose trattative un pionieristico accordo internazionale tra le due nazioni (Trisoglio, 2015). Con questa convenzione, il governo svizzero dava il consenso a che il governo italiano approvasse la concessione di derivare dal suo

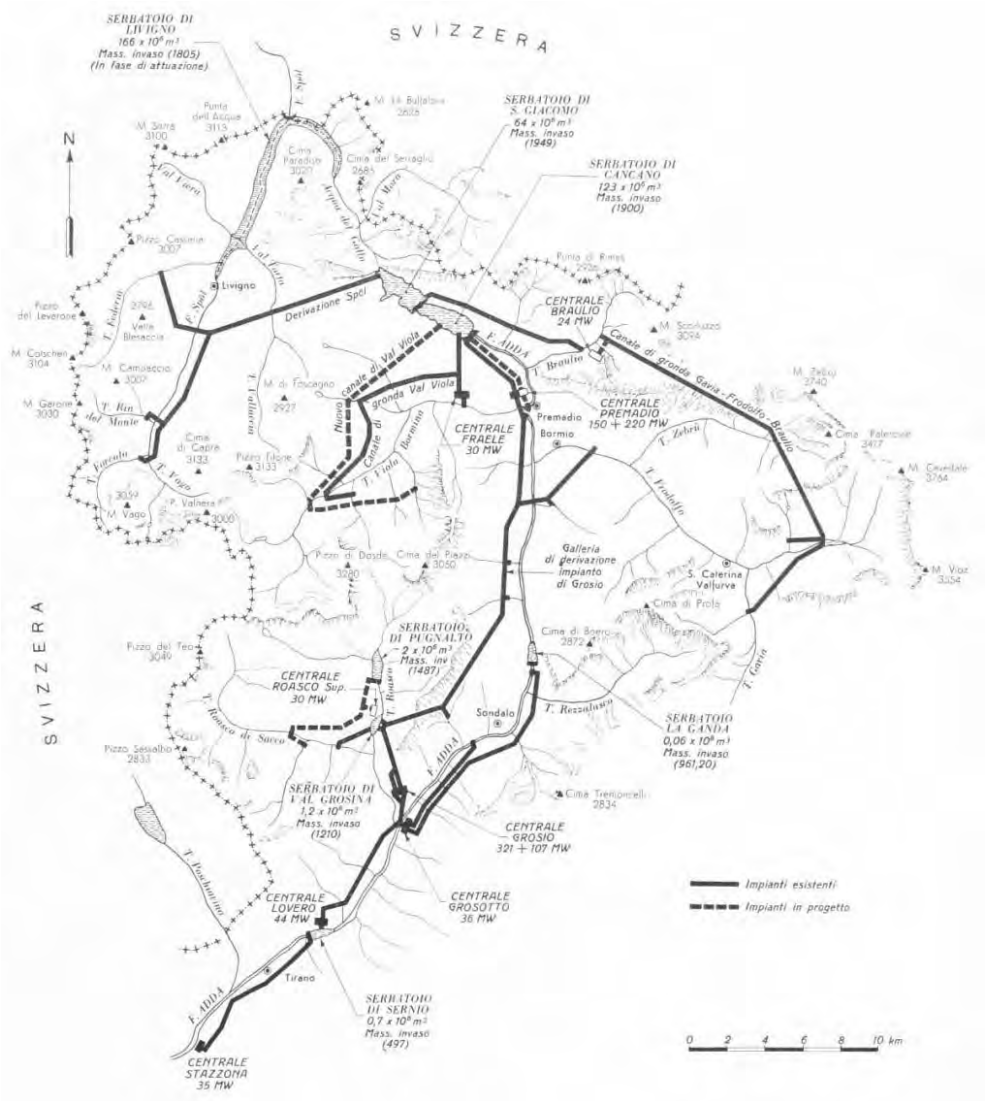


Fig. 4 – Planimetria degli impianti AEM in Alta Valtellina all'inizio degli anni Sessanta (Archivi Storici AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

corso naturale una parte delle acque del torrente Spöl allo scopo di produrre energia elettrica. A sua volta il Governo italiano assunse l'impegno di assentire al diritto di utilizzare, da parte del beneficiario svizzero della concessione, l'acqua residua dei torrenti mediante la creazione di un bacino di accumulo nella valle di Livigno.

Bibliografia

Archivi Storici Fondazione AEM (ASFAEM), Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano.

Bolchini P. 1999. *Storia delle aziende elettriche municipali*, (a cura di). Roma-Bari: Laterza.

Castellano A. 1984. Le dighe di ritenuta in Valtellina nella prima meta del XX secolo. In Costruire in Lombardia 1880-1980. Rete e infrastrutture territoriali, 87-118. Milano: Assimpredil-Electa.

Ciuffetti A. 2017. *Il fattore umano dell'impresa. L'Azienda elettrica municipale di Milano e il welfare aziendale nell'Italia del secondo dopoguerra*. Venezia-Milano: Marsilio-Fondazione AEM.

Comune di Milano. 1909. Proposta di municipalizzazione per azienda speciale dell'impianto elettrico. Milano: Stabilimento Tipografico Giuseppe Civelli.

Gonzales T. 1912. Gli impianti elettrici del Municipio di Milano. Il Politecnico - Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale, LX, 577-596; 641-661.

Gonzales T. 1913. Gli impianti elettrici del Municipio di Milano. Il Politecnico - Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale, LXI, 161-185; 609-626.

Gonzales T. 1915. Gli impianti elettrici del Municipio di Milano. Il Politecnico - Giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale, LXIII, 225-252.

Menini G. (a cura di). 2013. I luoghi dell'acqua. Architetture e paesaggi delle centrali elettriche in Valtellina. Sondrio: Fondazione Gruppo Credito Valtellinese.

Morosini S., Paletta G., Silvestri A., Trisoglio F. (a cura di). 2010. I luoghi storici dell'energia. Luce e gas a Milano 1910-2010: Catalogo della mostra. Milano: Fondazione AEM-Politecnico di Milano.

Morosini S., Silvestri A., Trisoglio F. 2020. Protagonisti politecnici di AEM in Alta Valtellina. Atti dell'8° Convegno di Storia dell'Ingegneria - 4th International Conference (a cura di S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano), Napoli, 6-7 aprile.Napoli: Cuzzolin.

Pavese C. 2011. *Un fiume di luce. Cento anni di storia della AEM*. Milano: Rizzoli-Fondazione AEM.

Toso F.C. 2015. Paesaggi della cultura politecnica in Alta Valtellina: gli impianti storici di AEM nel racconto dei cantieri idroelettrici. Storia in Lombardia, XXXV(1), 55-80.

Trisoglio F. 2012. Centrali elettriche a Milano e New York tra Otto e Novecento: le opere di Thomas E. Murray e Tito Gonzales. Atti del IV Convegno dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria (a cura di S. D'Agostino), Napoli aprile, 465-480. Napoli: Cuzzolin Editore.

Trisoglio F. (a cura di). 2015. Acqua e luce. Un secolo di energia rinnovabile per lo sviluppo del territorio: catalogo della mostra. Milano: Fondazione AEM.

Trisoglio F. 2016. L'Azienda elettrica municipale di Milano e la Guerra. Spunti di ricerca dagli Archivi Storici AEM. In: Scienza, tecnica e industria durante la Grande Guerra, (a cura di P.P. Poggio e M. Zane), 233-252. Brescia: Fondazione Luigi Micheletti – Liberedizioni.

Trisoglio F. 2017. I fotografi dell'energia: uomini, architetture e territori nell'Archivio storico fotografico AEM. In: Fotografia per l'architettura del XX secolo in Italia. Costruzione della storia, progetto, cantiere, (a cura di M.A. Crippa, M. Forni, F. Zanzottera F), 346-373. Cinisello Balsamo: Silvana Editoriale.

Note

1. La fondazione d'impresa, costituita nel 2007, ha finalità di pubblica utilità e solidarietà sociale e si propone di perseguire, nell'ambito territoriale della Regione Lombardia, la

salvaguardia e la valorizzazione della storia e della cultura aziendale dell'Azienda elettrica municipale di Milano, oggi Gruppo A2A. In merito ai suoi fondi archivistici, in particolare fotografici e filmici si veda (Trisoglio, 2017).

2. Lungo l'intera lunghezza del canale erano predisposti manufatti per piccole derivazioni d'acqua a uso agricolo, in virtù di accordi stabiliti coi proprietari dei terreni attraversati e con i rispettivi comuni.
3. Regio Decreto n. 2161 del 9 ottobre 1919: il decreto includeva provvedimenti per agevolare la costruzione di serbatoi e laghi artificiali. L'approvazione delle concessioni favoriva le proposte che soddisfacessero un più generale interesse e dessero maggiori garanzie di utilizzazione razionale.
4. Il disastro della diga del Gleno, avvenuto nel 1923, portò alla formazione della Commissione nazionale grandi dighe, incaricata di valutare la sicurezza dei progetti e dei cantieri per gli sbarramenti allora in costruzione e di provvedere all'aggiornamento della normativa.
5. Il primo getto di cemento della grande diga fu posato il 30 giugno 1953 e i lavori dell'Impresa Lodigiani continuarono senza sosta fino all'ottobre del 1956.

Stefano Morosini, Andrea Silvestri, Fabrizio Trisoglio

Protagonisti politecnici di AEM in Alta Valtellina

Abstract
This paper describes the important connections between the Politecnico di Milano and the Azienda Elettrica Municipale di Milano (AEM). Since the foundation of the AEM (1910), many managers and executives were graduated and/or teachers of the Politecnico di Milano. Regarding the role of the AEM evolution of hydroelectric industry in Alta Valtellina (Sondrio, Italy), will be presented some short biographies of the most important polytechnic characters who projected and realized big plants.

Introduzione
Se buona parte dell'élite politecnica ha costituito nel tempo a vari livelli la struttura portante di molte imprese industriali private, quali ad esempio la Società Edison o la Pirelli, non meno importante fu l'impatto nelle municipalizzate e, in particolare, presso AEM.

Le origini di questo legame profondo tra le due istituzioni si possono rilevare nella stessa costituzione della municipalizzata, quando una équipe di professori e laureati politecnici contribuì a costituire le basi dell'azienda, sia a livello politico, grazie all'impegno degli assessori Giuseppe Ponzio e Cesare Saldini, sia a livello tecnico-ingegneristico, con la consulenza e la collaborazione di tecnici di altissimo spessore come Gaudenzio Fantoli, Carlo Mina, Giacinto Motta e Tito Gonzales.

Partendo dal vertice dall'azienda e analizzando la provenienza dei diciannove presidenti o commissari straordinari di AEM in un arco di tempo compreso tra il 1910 e il 1996, si rilevano solo cinque laureati o professori del Politecnico di Milano: Giuseppe Belluzzo, Albino Pasini, Cesare Biffi, Roberto Tremelloni e Enrico Cerrai. Nonostante l'indubbio prestigio di alcune di queste figure, la così modesta percentuale, il 26,3% del totale, non deve trarre in inganno (Morosini, 2015). Infatti, sfogliando i nomi dei membri delle commissioni amministratrici dell'azienda, si nota che dei novantanove profili professionali chiamati ad assumere le decisioni della municipalizzata ben quarantacinque sono soggetti "politecnici", quasi il 50%. È interessante osservare poi come questa percentuale si alzi notevolmente negli anni subito successivi alla costituzione di AEM e nel periodo della ricostruzione, in occasione di momenti cardine nello sviluppo dell'impresa.

Prendendo invece in esame i dieci direttori dell'azienda, sette erano laureati o insegnavano presso il Politecnico di Milano: Tito Gonzales, Emilio Piazzoli, Mario Cattaneo, Romeo Interlenghi, Filippo Carati, Vincenzo Grugni e Augusto Scacchi. Un'alta percentuale, giustificata non solo dall'importanza del ruolo dirigenziale, ma anche dalle alte competenze richieste in campo ingegneristico, che solo il Politecnico di Milano poteva fornire con i suoi corsi di laurea.

Sebbene questa sintetica analisi abbia circoscritto le "alte sfere" dell'impresa, se entrassimo nel merito della struttura della municipalizzata il valore dell'esperienza politecnica verrebbe ancora più confermato dai profili meno conosciuti, ma non meno importanti, dei numerosi ingegneri che hanno collaborato nei vari livelli tecnici e organizzativi allo sviluppo di AEM. L'azienda sembra proseguire dunque nel solco della tradizione dell'Ufficio tecnico municipale, reclutando sovente laureati e professori provenienti dal Politecnico di Milano non solo in ruoli apicali, ma anche, e soprattutto, nelle mansioni tecniche di progettazione, produzione e gestione dei servizi.

Per mostrare l'eterogeneità e la qualità delle figure politecniche che sono state protagoniste nello sviluppo di AEM, sono riportati di seguito alcuni sintetici profili biografici dedicati a ingegneri e architetti che attraverso la loro attività illustrano bene le osmotiche intersezioni tra impresa, Politecnico di Milano e sviluppo idroelettrico del territorio. La successione delle biografie corrisponde grosso modo ai tempi dei rispettivi incarichi in AEM.

Giuseppe Ponzio (1853-1908)

Laureato ingegnere industriale al Politecnico di Milano nel 1875, divenne assistente di Giuseppe Colombo, conseguendo la libera docenza in Disegno e costruzione delle macchine nel 1888. Nel 1893 divenne straordinario e nel 1906 ordinario di Costruzione delle macchine. Insieme a Cesare Saldini prese parte nel 1893 al Congresso di Chicago, visitando e studiando l'organizzazione dei laboratori di meccanica delle università americane e facendosi promotore di un progetto, interamente sostenuto dagli industriali lombardi, che portò all'istituzione, presso il Politecnico di Milano, del primo laboratorio italiano di meccanica sperimentale, che divenne operativo nel 1895 e del quale Ponzio assunse la direzione nel 1898 (Carboni et al., 2013). Esso consentiva esperimenti e confronti sul funzionamento delle macchine più comuni e sopperì notevolmente alle carenze della formazione pratica degli ingegneri meccanici. Sul piano libero professionale progettò diversi stabilimenti industriali e introdusse importanti perfezionamenti in vari ambiti produttivi, in particolare nelle motrici a vapore e nei sistemi di stampaggio meccanico (Pavese, 2011). Negli anni 1895-99 fu a Milano assessore ai pubblici servizi nella giunta guidata da Giuseppe Vigoni, e qui predispose con la Edison un più favorevole contratto di convenzione tranviaria. Ricoprì lo stesso incarico durante il sindacato di Ettore Ponti (1905-09), occupandosi del servizio di distribuzione dell'acqua potabile, della rete fognaria, della naviga-

Fig. 1 – La targa affissa al Politecnico di Milano in ricordo di Giuseppe Ponzio. (Archivio storico fotografico AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

zione fluviale, della questione delle strade e soprattutto sostenendo ed elaborando il progetto tecnico-finanziario che permise la realizzazione della centrale idroelettrica di Grosotto, che gli fu dedicata dopo la scomparsa. In Figura 1 è riportata la targa affissa in suo ricordo al Politecnico di Milano.

Tito Gonzales (1872-1946)

Nato a Torino da una famiglia di umili origini, si laureò nel 1895 in Ingegneria industriale - indirizzo meccanico al Politecnico di Milano, affrontando notevoli difficoltà e sacrifici. Conseguita la laurea, fu nominato assistente di Chimica tecnologica e contemporaneamente prese servizio come insegnante di materie scientifiche alle scuole complementari dell'orfanotrofio maschile di Milano. La svolta nella sua carriera professionale avvenne nel giugno 1897, quando fu assunto presso l'Ufficio tecnico municipale di Milano con l'incarico di capo dei Servizi industriali e poi di direttore dei Servizi elettrici municipali. Inizialmente Gonzales progettò impianti per lavatoi, bagni pubblici e scuole; a partire dal 1903, anno della legge Giolitti sulla municipalizzazione dei pubblici servizi, cominciò a occuparsi dei problemi relativi alla produzione, al trasporto e alla distribuzione di energia elettrica (Trisoglio, 2012). Quando nel dicembre 1903 il Comune deliberò di costruire una centrale termoelettrica comunale e, contemporaneamente, di acquisire le risorse idriche necessarie per un impianto idroelettrico in Valtellina, la progettazione e la direzione dei lavori furono affidati al giovane Gonzales. Dopo la costruzione dell'impianto di Grosotto e la co-

stituzione di AEM, Gonzales nel 1911 fu nominato direttore generale dell'azienda, incarico che tenne fino al 1921, per poi divenire consulente progettista e direttore dei lavori di costruzione dei nuovi impianti idroelettrici in Alta Valtellina, seguendo in particolare i lavori per le centrali del Roasco e di Fraele. A partire dal 1922 Gonzales riuscì a far fruttare l'amicizia e la stima reciproca con Giacinto Motta, diventato nel frattempo presidente della Società Edison, per ampliare i suoi interessi in ambito lavorativo. Negli stessi anni diresse infatti i lavori di alcuni impianti Edison (1922-23) e ebbe incarichi dirigenziali in imprese elettriche dell'orbita Edison. Al culmine della sua carriera, nel 1934 Gonzales fu nominato direttore generale e poi consigliere della Società Edison, carica che ricoprì fino a pochi mesi prima della morte.

Carlo Mina (1860-1944)
Laureato ingegnere al Politecnico di Milano nell'indirizzo civile nel 1883, diresse l'esecuzione di molte tratte ferroviarie italiane e svizzere. Dal 1891 al 1897 fu assistente e incaricato di Architettura pratica al Politecnico di Milano. Negli stessi anni iniziò a dedicarsi alla progettazione di impianti idroelettrici, cogliendo fra i primi le potenzialità del settore. Nel 1898, su incarico della Società Lombarda per la Distribuzione di Energia Elettrica, fu impegnato nella progettazione dell'impianto idroelettrico sul Ticino di Vizzola, e nel 1906, per conto di AEM, progettò (in collaborazione con Giacinto Motta e Gaudenzio Fantoli) la parte idraulica e edilizia dell'impianto di Grosotto. In seguitò realizzò quale libero professionista la progettazione di altre importanti centrali idroelettriche, tra le quali Turbigo (Milano), Vigevano (Pavia), Tirano e Venina in Valtellina. Legato da rapporti professionali e di amicizia a Fantoli e a Motta, per tutta la sua carriera professionale si impegnò a sostenere economicamente il Politecnico di Milano, e lasciò in eredità la sua collezione di libri di ambito tecnico alla biblioteca dell'Istituto di Idraulica.

Giacinto Motta (1870-1943)
Ottenuto a Pavia il diploma di perito agrimensore, si iscrisse a Genova alla Scuola superiore di Ingegneria navale e quindi al Politecnico di Milano, dove si laureò nel 1894 nell'indirizzo elettrotecnico. Un anno dopo fu chiamato all'Istituzione elettrotecnica Carlo Erba del Politecnico, prima come assistente e nel 1900 come titolare dell'insegnamento di Tecnologie elettriche. Nel 1902 diresse la Scuola laboratorio di elettrotecnica per operai, istituita quell'anno dalla Società Umanitaria, dalla Società d'Incoraggiamento d'Arti e Mestieri e dall'Istituzione elettrotecnica Carlo Erba. L'anno successivo divenne dapprima direttore, e quindi consigliere delegato dell'Unione telefonica lombarda, poi Unione telefonica italiana. Nel 1906 fu incaricato dal Comune di Milano come progettista per la parte elettromeccanica dell'impianto di Grosotto, in particolare della lunga linea ad alta tensione che collegava la centrale a Milano. Membro del Consiglio di Amministrazione di AEM dal 1911 al 1912, nel

1916 venne chiamato a dirigere la Edison e nel 1918 ne divenne consigliere delegato. Dimostrando doti gestionali di prim'ordine, seppe ampliare l'attività dell'azienda, portandola, anche tramite l'acquisto di diverse società elettriche, a divenire la maggiore realtà elettrica italiana e una delle più importanti in Europa (Pavese, 2011). Per sostenere anche economicamente il Politecnico di Milano, istituì nel 1920 la Fondazione Carlo Esterle, che nel 1925 divenne la Fondazione Politecnica Italiana. Fu deputato dal 1924 al 1939.

Piero Portaluppi (1888-1967)
Laureato in Architettura al Politecnico di Milano nel 1910, Piero Portaluppi fu senza dubbio una delle figure più rappresentative dell'élite politecnica. Docente per 53 anni presso l'Ateneo milanese, professore ordinario dal 1936 di Composizione architettonica e Preside della facoltà di Architettura del Politecnico di Milano (1939-45 e 1948-63), come architetto ebbe un brillante percorso professionale che lo portò a confrontarsi con diversi ambiti lavorativi e innovative soluzioni costruttive. Presidente dell'Ordine degli architetti della Lombardia (1945-61), Portaluppi fu infatti attivo nel restauro di grandi complessi monumentali e progettista di prestigiose residenze, di numerosi edifici rappresentativi e, in particolare, di centrali elettriche. Allievo e assistente di Gaetano Moretti, già progettista per Benigno Crespi della centrale Taccani a Trezzo d'Adda, Portaluppi portò avanti e aggiornò l'opera del maestro, coniugando nel linguaggio architettonico la cultura storica con la fantasia e l'innovazione, come testimoniano le centrali idroelettriche costruite per la Società per imprese elettriche Ettore Conti tra il 1913 e la metà degli anni Venti in Val d'Ossola. In questo ultimo campo, l'attività di Portaluppi si dimostrò particolarmente fertile e ricercata, tanto da ottenere una commissione anche da AEM, non solita ad assegnare ad architetti la progettazione degli edifici delle proprie centrali. Al termine della prima guerra mondiale, infatti, AEM decise di incrementare la propria produzione con l'avvio dei lavori della nuova centrale idroelettrica del Roasco, inaugurata poi nel 1922, e la predisposizione di un grande invaso in Val di Fraele. Per la parte architettonica della centrale di Roasco (1918-20) venne così cooptato Piero Portaluppi e, per la prima volta, AEM si avvalse di un architetto estraneo all'Ufficio tecnico comunale, ma sempre di provenienza politecnica. L'architettura della centrale (Trisoglio, 2016), con la sua voluta indecisione stilistica caratterizzata da richiami medievali e rinascimentali, in Figura 2, è ancora oggi inserita teatralmente nel tessuto ambientale e storico valtellinese. In particolare, è evidente il dialogo stilistico instaurato con il vicino castello Visconti-Venosta di Grosio che ricorda, anche se con modalità diverse, l'intervento di Moretti per la centrale Taccani a Trezzo d'Adda. Le merlature del "maniero elettrico", unico richiamo all'edificio storico sovrastante, diventano in Portaluppi una ironica ripetizione, in uno stile dotto e scanzonato che sarà presente anche in opere successive come indelebile marchio di fabbrica.

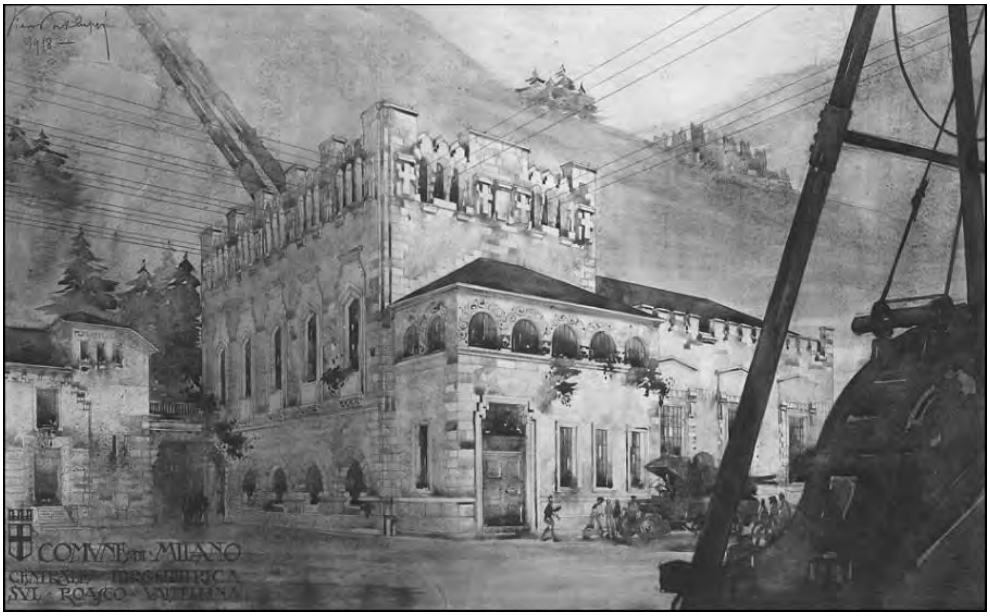


Fig. 2 – Il progetto di Piero Portaluppi per la centrale idroelettrica AEM del Roasco (Archivi Storici AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

Giuseppe Belluzzo (1876-1953)

Veronese, di modesta origine, si diplomò all'istituto tecnico e con una borsa di studio del Ministero della Pubblica istruzione si iscrisse al Politecnico di Milano, dove frequentò brillantemente l'indirizzo industriale, laureandosi con lode nel 1898. Iniziò quindi presso l'Ateneo milanese la carriera universitaria come assistente alla cattedra di Costruzione di macchine, di cui era titolare Giuseppe Ponzio. Nel 1910 divenne ordinario di Costruzione di motori termici ed idraulici. La sua attività scientifica si caratterizzò per la produzione di una lunga serie di scritti sui temi della sua titolarità, con diverse applicazioni industriali anche in ambito bellico e con impieghi nella Grande Guerra. Con l'avvento del fascismo Belluzzo iniziò la sua carriera politica. Tra i suoi numerosi incarichi, fu membro del Consiglio di Amministrazione di AEM dal 1921 al 1923 e presidente dal 1923 al 1925 (Pavese, 2011). Fu eletto deputato nel 1924, l'anno successivo assunse l'incarico di ministro dell'Economia nazionale e nel 1928 divenne ministro della Pubblica istruzione. Cessato il suo incarico ministeriale si trasferì alla Scuola d'ingegneria di Roma e assunse la cattedra di Costruzione di macchine. Fu nominato senatore nel 1934. Con l'avvento della Repubblica uscì indenne dalla procedura di discriminazione per i suoi trascorsi fascisti e tornò a dedicarsi all'attività scientifica.

Albino Pasini (1888-1972)
Nel 1911 conseguì la laurea in Ingegneria civile al Politecnico di Milano, dove venne nominato assistente di corsi attinenti le costruzioni stradali e ferroviarie, e poi professore incaricato di vari insegnamenti: Trazione (1925-43), Costruzioni idroelettriche (1932-37) e Costruzioni idrauliche (1937-44). Divenuto presidente di AEM nel 1928, collaborò alla costituzione dell'ANAS e nel 1934 divenne Presidente della Federazione delle aziende municipalizzate italiane, svolgendo un'opera di difesa delle associate dai tentativi di privatizzazione. Uomo organico al regime fascista, alla guida di AEM si caratterizzò per una gestione oculata del bilancio e quindi per la progettazione di una serie di nuovi impianti idroelettrici in Alta Valtellina (Pavese, 2011). Approntò infatti la modifica della centrale della Boscaccia, la costruzione di due impianti a Lovero e Stazzona e soprattutto diede avvio ai lavori del nuovo bacino di ritenuta di San Giacomo, appena a monte del lago di Cancano, con una capacità di 64 milioni di m^3 (Morosini et al., 2010). Nel dopoguerra si trasferì a Roma ritirandosi a vita privata.

Roberto Tremelloni (1900-1987)
Di famiglia di modeste condizioni economiche, si diplomò ragioniere all'Istituto tecnico Carlo Cattaneo, e dopo una prima breve esperienza come contabile, iniziò a collaborare alla Gazzetta dello Sport e alla redazione sportiva del quotidiano milanese La Sera, passando quindi alla cronaca cittadina. Iscritto al gruppo giovanile del Partito repubblicano, partecipò al primo conflitto mondiale nel corpo degli alpini. Nell'ottobre 1922, a pochi giorni dalla marcia su Roma, si iscrisse al Partito socialista unitario. Fu assunto alla Confederazione generale del lavoro e fu chiamato a dirigere Battaglie sindacali, la rivista dell'organizzazione, fino alla sua soppressione. Allontanatosi dalla politica attiva, nel 1926 si laureò in Scienze economiche e commerciali a Torino e nel 1930 fu nominato libero docente di Economia politica all'Università di Ginevra. A Milano partecipò alla nascita de Il Sole 24 Ore e al periodico Mondo economico. Con la Liberazione assunse la carica di commissario del Ministero della produzione industriale per l'alta Italia. Fu redattore del programma economico del PSI e nel 1946 venne eletto dapprima al Consiglio comunale a Milano e quindi all'Assemblea Costituente. Sottosegretario di Stato per l'industria e commercio, condusse la difficile opera di rilancio dell'industria italiana. Con la scissione di Palazzo Barberini, aderì al neonato Partito socialdemocratico italiano; fu ministro delegato alla presidenza del Comitato interministeriale per la ricostruzione e presiedette l'inchiesta parlamentare sulla disoccupazione. Oltre all'impegno politico continuò la sua opera di studioso, e dal 1951 divenne professore incaricato di Economia ed organizzazione aziendale presso il Politecnico di Milano. A partire dall'ottobre del 1951 fu nominato presidente della AEM, dove redasse un primo piano quadriennale 1952-55 per la realizzazione di una più grande diga a Cancano, della

nuova centrale idroelettrica di Premadio e di una nuova linea di trasporto ad alta tensione della lunghezza di 175 chilometri fra Premadio e Milano (Ciuffetti, 2017). Nel secondo quadriennio, 1956-59, con la collaborazione tecnica di Filippo Carati, progettò e realizzò il nuovo impianto di Grosio e un nuovo elettrodotto da 220 kV da Grosio a Milano. Nel terzo quadriennio, 1960-63, promosse la costruzione della centrale termoelettrica di Cassano d'Adda. Nel 1962 si dimise dalla presidenza della AEM e tornò dopo sette anni al governo come ministro del Tesoro per il quarto gabinetto Fanfani, poi ministro delle Finanze del governo Moro, prima esperienza di governo di centro-sinistra in Italia. Con il terzo governo Moro, Tremelloni fu il primo socialista nella storia d'Italia ad assumere l'incarico di ministro della Difesa e si trovò ad affrontare le delicate vicende dell'eversivo "Piano Solo", organizzato dal generale Giovanni De Lorenzo nel 1964. Nei primi anni settanta concluse il suo impegno politico e si ritirò a vita privata.

Filippo Carati (1901-1980)

Artefice insieme a Roberto Tremelloni della ricostruzione e dello sviluppo di AEM nel secondo dopoguerra, Carati si laureò nel 1923 in Ingegneria industriale, sezione elettrotecnica, al Politecnico di Milano, dove assunse l'incarico di assistente straordinario di Costruzioni idroelettriche, acquisendo notevoli conoscenze idrauliche e elettrotecniche. La sua alta competenza lo condusse a collaborare fino al 1927 con la Falck in Valtellina, curando in particolare la rete di trasporto e di alimentazione degli stabilimenti, per poi passare all'AEM in un rapido *cursus honorum* che lo portò in pochi anni al ruolo di direttore dell'esercizio di Milano. Nel frattempo proseguì la sua carriera accademica come professore incaricato al Politecnico di Costruzioni Idrauliche e poi, nel dopoguerra, di Impianti elettrici industriali e di Centrali elettriche. Consulente tecnico per la Federazione Aziende Municipalizzate, di cui fu il rappresentante nel Comitato Energia di ricostruzione Alta Italia, nel 1950 a seguito di un concorso pubblico fu nominato direttore generale di AEM. Chiamato nel 1963 a far parte come consigliere dell'Enel, in ossequio alle disposizioni istituzionali dell'ente abbandonò i suoi incarichi sia in AEM sia al Politecnico, mantenendo tale ruolo fino al 1973 (Morosini, 2015). Consigliere di amministrazione del CESI (Centro elettrotecnico sperimentale italiano), del CISE (Centro Informazioni Studi Esperienze) e dell'ISMES (Istituto Sperimentale Modelli e Strutture), fu anche molto attivo in ambito associativo presso l'Associazione Elettrotecnica Italiana (AEI) e normativo presso il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano). Tornando alla sua esperienza in AEM, Carati affrontò alcuni dei momenti più importanti e delicati per lo sviluppo della municipalizzata, fra i quali si ricordano il completamento e lo sviluppo degli impianti e degli invasi idroelettrici valtellinesi, la conversione della centrale di piazza Trento a metano prima della sua naturale dismissione, la costruzione della centrale termoelettrica di Tavazzano prima e di Cassano d'Adda poi, la riorganiz-

Fig. 3 – Filippo Carati (a destra) mostra al presidente Luigi Einaudi gli oggetti dello stand AEM alla Fiera di Milano del 1953 (Archivio storico fotografico AEM, Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano).

zazione del sistema elettrico cittadino; condusse le trattative con la Svizzera per lo sfruttamento delle acque della valle di Livigno, accordi che sono ancora oggi fondamentali nell'ambito della giurisprudenza sulla utilizzazione internazionale delle acque di confine (Trisoglio, 2015). Carati si può inoltre considerare anche il primo vero storico di AEM, con il suo saggio *Sviluppo degli impianti dell'AEM a Milano e in Valtellina dal 1910 al 1950.*

In Figura 3 è riportata una fotografia che testimonia l'importanza dell'attività di Carati in AEM.

Bibliografia

Archivi Storici Fondazione AEM (ASFAEM), Fondazione AEM – Gruppo A2A, Milano.

Carboni C. *et al*. 2013. *Il Politecnico di Milano e la formazione delle classi dirigenti locali e nazionali*. Cinisello Balsamo (Milano): Silvana.

Ciuffetti A. 2017. *Il fattore umano dell'impresa. L'Azienda elettrica municipale di Milano e il welfare aziendale nell'Italia del secondo dopoguerra*. Venezia-Milano: Marsilio-Fondazione AEM.

Morosini S., Paletta G., Silvestri A., Trisoglio F. (a cura di). 2010. *I luoghi storici dell'energia. Luce e gas a Milano 1910-2010*: Catalogo della mostra. Milano: Fondazione AEM-Politecnico di Milano.

Morosini S., Trisoglio F. 2015. Politecnico di Milano e AEM: intersezioni prosopografiche tra tecnici, manager, amministratori. Storia in Lombardia, XXXV(1), 35-54.

Pavese C. 2011. *Un fiume di luce. Cento anni di storia della AEM*. Milano: Rizzoli-Fondazione AEM.

Trisoglio F. 2012. Centrali elettriche a Milano e New York tra Otto e Novecento: le opere di Thomas E. Murray e Tito Gonzales. Atti del IV Convegno dell'Associazione Italiana di Storia dell'Ingegneria (a cura di S. D'Agostino), Napoli aprile, 465-480. Napoli: Cuzzolin Editore.

Trisoglio F. (a cura di). 2015. *Acqua e luce. Un secolo di energia rinnovabile per lo sviluppo del territorio*: catalogo della mostra. Milano: Fondazione AEM.

Trisoglio F. 2016. *L'Azienda elettrica municipale di Milano e la Guerra. Spunti di ricerca dagli Archivi Storici AEM*. In: *Scienza, tecnica e industria durante la Grande Guerra*, (a cura di P.P. Poggio e M. Zane), 233-252. Brescia: Fondazione Luigi Micheletti - Liberedizioni

Valentina Guagliardi

Gli "edifici baraccati" nel territorio di Cosenza dopo il terremoto del 1905

Abstract
The history of Calabria, and in particular of its villages, is closely linked to the seismic events that have affected the territory over the centuries, with loss of human lives and often irreparable damage to the building heritage, in particular to the historical-architectural heritage. Among the earthquakes that occurred in the region, that of September 8, 1905 is among the most intense and destructive, with effects concentrated mainly in the Vibo Valentia and Cosenza areas. Significant damage to buildings was recorded especially in the province of Cosenza, with numerous buildings either completely destroyed or declared uninhabitable. The reconstruction of the inhabited centers of Torzano and Castrolibero was entrusted to the Neapolitan Committee, founded specifically to respond to the emergency situation created, which intervened by creating the so-called "slum buildings". The chosen technique involved the use of a wooden framework inside the masonry, which served as the " wooden framework skeleton of the building"; a constructive procedure that recalled the anti-seismic system adopted for the design of the buildings built after the 1783earthquake - at the time proposed by Giovanni Vivenzio - which responded to the need to obtain, in a short time, comfortable housing solutions. The proof is that, in 1907, only two years later, the reconstructed neighborhoods were inaugurated. The analysis of the case study highlights the resistance characteristics of the wood under seismic action, when combined with masonry to constitute a baraccata system; a system that in recent years has regained interest from the scientific point of view given the material's performance capabilities, on the structural level, on the physical-technical level, and on the technological-productive innovation level. Aspects to which today we add a new focus on the use of eco-compatible materials, due to the urgency of demands for sustainable use and for high energy efficiency required for construction.

La Calabria e il sisma

La Calabria è una regione a elevato rischio sismico perché ospita una delle più grandi faglie sismo-genetiche dell'intera penisola italiana (Baratta, 1910); infatti, attraverso i secoli, l'assetto del territorio calabrese è stato più volte alterato dai numerosi eventi sismici che si sono verificati, con perdite di vite umane e danni, spesso irreparabili,

al patrimonio edilizio, in particolare a quello storico-architettonico. Dal 1626 al 1905 sono stati registrati molti terremoti[1] con magnitudo pari o superiore a 6.0, che hanno interessato borghi della Calabria centro-meridionale con conseguenze sul patrimonio costruito, più volte distrutto e ricostruito con nuovi caratteri formali e tipologici, nonché con tecniche costruttive differenti. In particolare, la sequenza sismica del 1783 in Calabria, con epicentri variabili dalla regione dell'Aspromonte all'istmo tra il golfo di Sant'Eufemia e il golfo di Squillace, e il terremoto di Casamicciola del 1883, portano il Governo borbonico a emanare un regolamento per le nuove edificazioni e per le ricostruzioni, basato sull'impiego di un sistema costruttivo che prevede l'uso di una ossatura di legno, costituita da travi orizzontali, ritti verticali e aste diagonali, opportunamente collegate tra loro a formare un reticolo riempito con muratura. Tale sistema, conosciuto come "casa baraccata", viene illustrato e descritto da Giovanni Vivenzio nel suo "Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del 1783" (Vivenzio, 1783). L'unione del legno alla muratura rende più uniforme la risposta alle azioni sollecitanti delle varie membrature che compongono la struttura, aumentando così la resistenza dell'edificio (Barucci, 1990). Le prescrizioni borboniche diventano legge nel 1785 e rimangono in vigore fino al 1854, ma il costruito, nonostante il Regolamento, continua a essere espressione del tessuto sociale; infatti l'edilizia minore è costruita direttamente dai proprietari, con materiali reperiti in loco e a basso costo messi in opera con tecniche costruttive non consolidate, mentre per la realizzazione di "edifici di tipo specialistico" (Caniggia, 1979) i proprietari, grazie alle loro possibilità economiche, si rivolgono a tecnici e a maestranze qualificate, che applicano le prescrizioni del Governo[2].

Il terremoto del 1905 colpisce "*una regione povera di risorse naturali, appesantita dalla crisi agraria degli ultimi decenni dell'Ottocento e la cui edilizia era già stata compromessa dai terremoti precedenti*" (Baratta, 1908), innescando inevitabilmente una serie di conseguenze dirette, legate alle condizioni di vita della popolazione calabrese, e indirette, legate alle trasformazioni sociali e politiche. Il territorio provato dalle catastrofi naturali riporta alla luce i mali della società, quali mancanza di infrastrutture, agitazioni politiche, migrazione transoceanica, le cui conseguenze si riversano sull'economia e sul tessuto sociale della regione (Baratta, 1908).

Il terremoto del 1905

Alle 2:45 della notte tra il 7 e l'8 settembre 1905 "*una scossa di terremoto fortissima prolungatasi per venti secondi in senso ondulatorio di soprassalto svegliava le città*", e improvvisamente una notte calma e serena si trasforma in una notte di dolore e morte[3]. Oltre all'area racchiusa tra Monteleone, l'attuale Vibo Valentia, e Nicastro, il sisma colpisce le provincie di Cosenza e di Reggio: interrompe la vita ordinaria, la stravolge in modo repentino e genera tra la popolazione smarrimento, disordine, un senso di fine, uno stato di afflizione e melanconia.

Nei giorni successivi molti sono i giornalisti, afferenti a testate sia locali sia nazionali, che descrivono e immortalano gli effetti del sisma e i luoghi del disastro stravolti dalla furia della natura[4] (Pugliese, 1996). Il governo attiva subito i primi soccorsi inviando, già lo stesso 8 settembre, reparti militari e tecnici del Genio Civile, il giorno dopo arriva l'onorevole Carlo Ferraris, Ministro dei Lavori Pubblici; dall'11 al 14 settembre anche il giovane re d'Italia, Vittorio Emanuele III, vuole visitare i luoghi interessati dal sisma per accertarsi del danno e verificare, in prima persona, la validità delle operazioni di soccorso intraprese (Savaglio, 2009).

Il dato relativo alle vittime e ai feriti di alcuni paesi è molto confortante, lo stesso non può dirsi del patrimonio edilizio pubblico e privato che subisce danni rilevanti, mentre gli edifici ritenuti "addirittura" sicuri, un po' dappertutto, risultano inermi di fronte alla forza immensa della natura[5]. Dalle statiche ufficiali risulta che la maggior parte dei comuni della Calabria, Ulteriore e Citeriore, è interessata dal sisma "*…per un totale di 331 Comuni con 752 abitati popolati con 1.189.306 persone, di cui 82 comuni parzialmente o totalmente distrutti, 107 comuni grandemente danneggiati e 142 comuni lievemente danneggiati…". "Le case danneggiate nelle tre provincie risultarono 14.100, delle quali 6.700 vennero demolite in tutto o in parte e 7.400 puntellate", mentre in riferimento al numero di vittime sono 557 ripartite in 44 comuni*" (Baratta, 1908).

La causa del crollo di molti edifici è da ricercare nelle tecniche costruttive usate per edificare cui si aggiungono il degrado legato al passare del tempo e i risultati delle riparazioni eseguite per rimediare alle lesioni prodotte dagli eventi sismici precedenti. Le costruzioni che non riportano danni sono quelle eseguite con materiali migliori e procedimenti costruttivi a regola d'arte[5].

Il Parlamento cerca di aiutare la Calabria con la Legge speciale n. 255 del 25 giugno del 1906[6], che autorizza e finanzia vari interventi, e cerca di garantire i prestiti ai privati attraverso la fondazione di un Istituto di credito. La ricostruzione e la rinascita economica sono però rallentate sia dal ritardato avvio dell'attività dell'Istituto, che diventa operativo solo nei primi mesi del 1908, sia dal terremoto del 28 gennaio 1908, che colpisce un'area ancora fortemente segnata dalle ferite del precedente sisma.

Lo Stato, nonostante la pubblicazione nel 1909 di nuove norme per le aree sismiche[7] (Guerra, Savaglio, 2006), che si dimostrano in contrasto con le disposizioni impartite nel 1905, non è in grado di dare un supporto nella gestione delle emergenze nell'immediato post-sisma; pertanto, con l'intento di aiutare le popolazioni colpite dal terremoto, nascono spontaneamente in ogni regione d'Italia vari "Comitati di soccorso Pro Calabria"[8]. Questi Comitati decidono di far fronte alle emergenze abitative con tre soluzioni costruttive differenti che prevedono la costruzione di "baracche", progettate dall'Ing. Camposano, per gestire la prima emergenza, di "edifici semi-stabili", per i quali si usa il legno e si adottano sistemi di realizzazione sicuri ma veloci e la cui durata prevista è di 5÷6 anni, e quella di "edifici stabili", che richiedono tempi più lunghi e costi maggiori e per i quali il legno è escluso, o comun-

que utilizzabile solo quando abbia funzione collegante. In relazione a quest'ultima categoria si generano conseguentemente due sottoclassi: *le case a struttura mista con legno* e le *case in cemento armato* (Baratta, 1908). Ogni Comitato di soccorso decide d'intervenire seguendo una delle tecniche costruttive descritte, in funzione delle sue potenzialità finanziarie e in rapporto alla zona in cui operare, ai materiali utilizzabili e ai mezzi di trasporto. Le difficoltà maggiori riscontrate dai Comitati sono relative al costo dei materiali, in particolare i mattoni che in Calabria risultano molto costosi anche per questioni di trasporto e al costo delle case in cemento armato, per le quali risulta difficoltoso reperire localmente sabbia e ghiaia e bisogna ricorre alla frantumazione o alla macinazione di rocce silicee.

La ricostruzione dei centri abitati di Torzano e Castrolibero

Torzano[9], l'attuale Borgo Partenope, situato a 525 m sul livello del mare, è uno dei più colpiti tra i Casali di Cosenza, con 11 case completamente distrutte o quasi, la Chiesa e altre 59 abitazioni da riparare, e altri 3 edifici da ridurre al solo piano terra; fortunatamente nel bilancio delle vittime si contano solo due morti.

Castrolibero[10] sorge sul versante orientale della Valle del Crati, rispetto a Cosenza, a 573 m sul livello del mare; il paese è già stato più volte colpito da fenomeni sismici, in particolare nel 1638 e nel 1854 era stato completamente distrutto. Nel borgo, a seguito del terremoto del 1905, si contano 7 vittime e 4 feriti; per quanto riguarda le abitazioni la situazione è subito critica, poiché 23 case sono completamente distrutte, 49 case, la Chiesa madre, il Municipio, la scuola sono "sconquassate" ma riparabili, risultando mediante danneggiate e riabitabili con l'ausilio di interventi di rinforzo e 7 edifici sono da riportare al solo livello terreno.

Il *Comitato Napoletano Pro Calabria*, guidato dal sindaco della città campana, il marchese Ferdinando del Carretto, si occupa della ricostruzione di questi due centri abitati, per la quale si sceglie di utilizzare *edifici stabili* della sottoclasse *case a struttura mista con legno,* che nella loro concezione costruttiva riprendono le caratteristiche della casa baraccata borbonica. Il tipo di casa, ideato e studiato dall'ing. Silvestro Dragotti[11], ufficiale del Corpo dei Civici Pompieri di Napoli, è composto da due vani al livello terreno, comunicanti tra loro ma dotati di accessi separati; lo stesso progetto viene utilizzato dal Comitato per ricostruire non solo Castrolibero e Torzano, ma anche Castiglione Marittimo, l'attuale Falerna in provincia di Catanzaro. La fondazione, del tipo a platea con spessore di 80 cm, è "*formata da pietrame calcareo cementato da buona malta*" e ha una risega di 20 cm "*sul vivo dei muri perimetrali [cui] trovasi affondata l'intelaiatura di base dell'ossatura scheletrica della casa*" (Baratta, 1908).

L'intelaiatura di base è composta da correnti di castagno a spigolo vivo, alla quale, attraverso opportuno incastro, sono collegati quattro ritti, anch'essi in castagno con sezione quadrata, che si sviluppano fino all'altezza di gronda e servono di "*sostegno ai puntoni delle incavallature*" (Baratta, 1908), come mostrato in Figura 1.

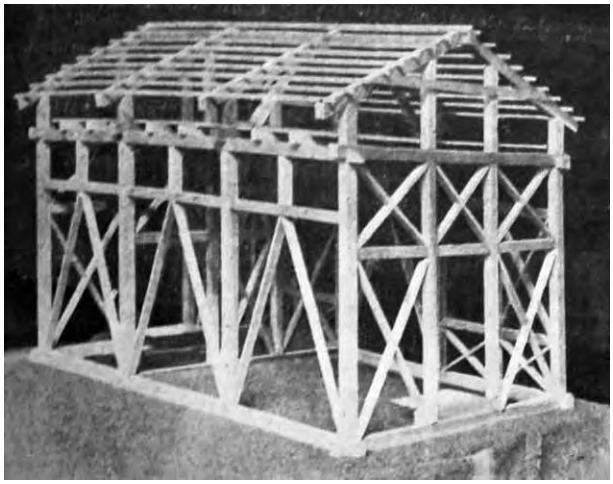


Fig. 1 – L’ossatura in legno di una casa di Castrolibero (da Baratta, 1908).

I puntoni intermedi sono sostenuti da due ritti per ogni lato, uno dei quali è in corrispondenza della intersezione della parete divisoria; anche sulle pareti di prospetto ci sono due ritti che sorreggono le incavallature estreme grazie alla presenza di una catena. Vi sono poi due intelaiature orizzontali: una, prossima al solaio del sotto-tetto e formata da correnti abbinati, che ha la funzione di collegare i ritti e di sostenere il solaio; un’altra, intermedia, che ha lo scopo di rinforzare il sistema. L’apparecchiatura così concepita viene resa indeformabile grazie all’inserimento di croci di S. Andrea, di seattoni o altri pezzi utili al mero rinforzo; “*appositi incastri, chiavarde, staffe e croci in ferro collegano i vari pezzi , così si forma una vera e solida gabbia di legno, semplicemente appoggiata sulla platea, la quale per se stessa è indeformabile e capace di sopportare anche direttamente il peso del tetto*” (Baratta, 1908), come mostrato in Figura 1. L’ossatura in legno è poi riempita di muratura in pietrame calcareo e malta, fino a costituire le pareti perimetrali verticali di spessore 50 cm e le partizioni interne verticali di 40 cm; internamente le pareti sono rivestite da intonaco dipinto, mentre all’esterno sono lasciate grezze, in alcuni casi abbellite con pietre di forme e colori differenti a formare una trama.

Lo strato di rivestimento della copertura è realizzato con tegole uso Marsiglia, rette da una ossatura di travicelli in abete. Sulla intelaiatura intermedia poggiano delle tavole che servono a formare la copertura delle camere e a creare un sotto-tetto da utilizzare come magazzino, che si raggiunge mediante una scala ricavata nel vano più piccolo. Il pavimento, “*formato da una gettata di calcestruzzo in cemento con pietrisco sottile, sopra vespaio di pietrame calcareo*” (Guerra, Savaglio, 2006), è sopraelevato 40 cm dal piano di campagna; il dislivello viene superato con la creazione di gradini di accesso realizzati con tavole di castagno o di quercia.

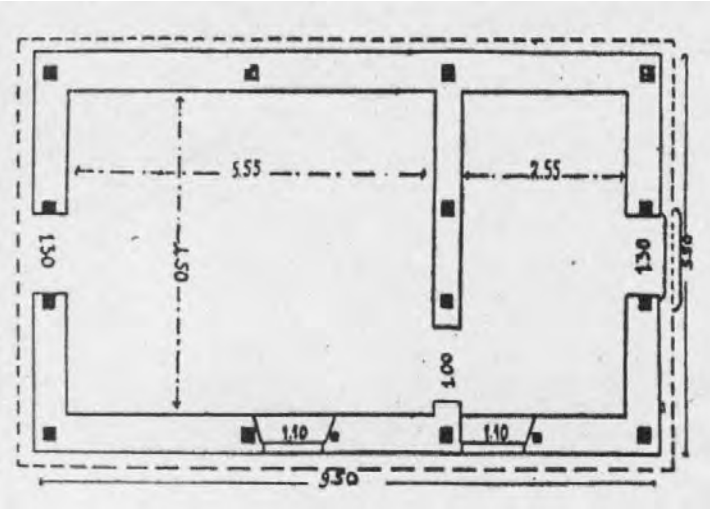


Fig. 2 – Pianta della casa baraccata di Castrolibero (da Baratta, 1908).

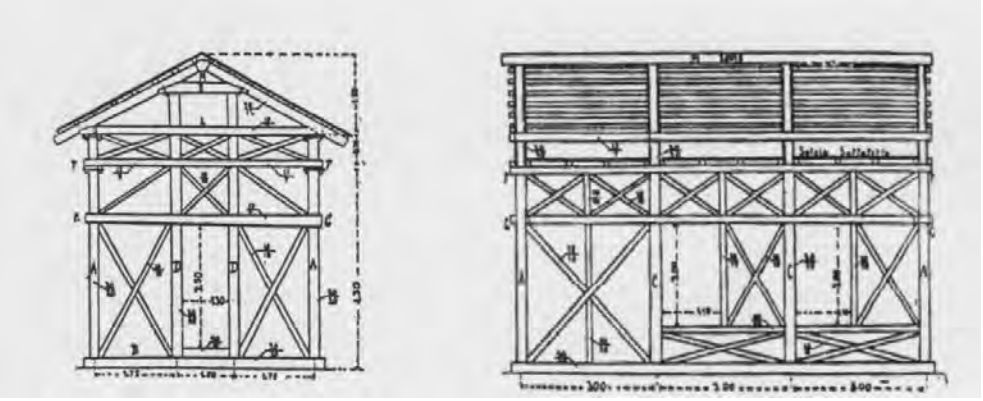


Fig. 3 – Prospetto principale e laterale dell'ossatura in legno di Castrolibero (da Baratta, 1908).

Al piano terra, come mostrato in Figura 2, ogni casa ha pianta rettangolare con lati di 9,50 m e di 5,50 m, altezza al colmo di 6,50 m e alla gronda di 5 m; sono presenti due vani collegati tramite una porta di 1 m di 1arghezza. Il vano di dimensioni maggiori, con lati 5,50 m · 4,50 m, ha una superficie netta di 24,97 m^2, mentre il vano di dimensioni minori, con lati 4,50 m · 2,25 m, ha una superficie netta di 11,47 m^2; entrambi i vani hanno accesso diretto dall'esterno mediante una porta di 1,30 m · 2,50 m e sono illuminati da un unico infisso di 1,10 m · 2,00 m, come mostrato in Figura 3. Tutti i serramenti interni ed esterni sono realizzati in legno di castagno e gli sportelli degli infissi sono in legno di abete, secondo la tradizione costruttiva locale.

Nel comune di Castrolibero l’operato del Comitato prevede, oltre al recupero del vecchio abitato, la costruzione di 18 case da realizzare in prossimità del vecchio paese, nella parte più elevata e con ottima esposizione. Il nuovo quartiere insiste su una porzione di terreno ricavata dalla demolizione delle vecchie case e su una porzione di nuovi terreni espropriati dall’Amministrazione comunale per una superficie totale di circa 2.600 m^2. Gli edifici sono organizzati “*intorno ad una piazzetta e distano l’una dall’altro per tutti i quattro lati per larghezze di strade di 3, 4 e 5 metri*” (Baratta, 1908); nessuna delle abitazioni, data la mancanza di spazio, è dotata di piccola superficie esclusiva da destinare eventualmente a orto.

A Torzano il Comitato Napoletano si occupa della ricostruzione del vecchio abitato e della costruzione di 11 case del tipo ideato dall’ing. Dragotti (Figura 4): in particolare dalla foto di una targa, apposta su una delle case, si legge: “*Comitato Napoletano, Casa n.10, 1907*”; da qui alcuni autori (Coscarella, 2019) ipotizzano che le case realmente realizzate siano 10 e non 11. Il nuovo rione, chiamato *Rione Case Comitato Napoletano* o *Lo spiazzo*, sorge su un suolo espropriato dal Comune di Cosenza, situato all’imbocco del vecchio abitato, a destra della strada d’accesso, come mostrato nella Figura 5. Il rione ha una sistemazione degli edifici a scacchiera, da cui se ne discostano soltanto due col fine di creare un’ideale collegamento tra il centro abitato preesistente e il nuovo quartiere.

Fig. 4 – Casa n. 10 del nuovo rione di Torzano (da Baratta, 1908).

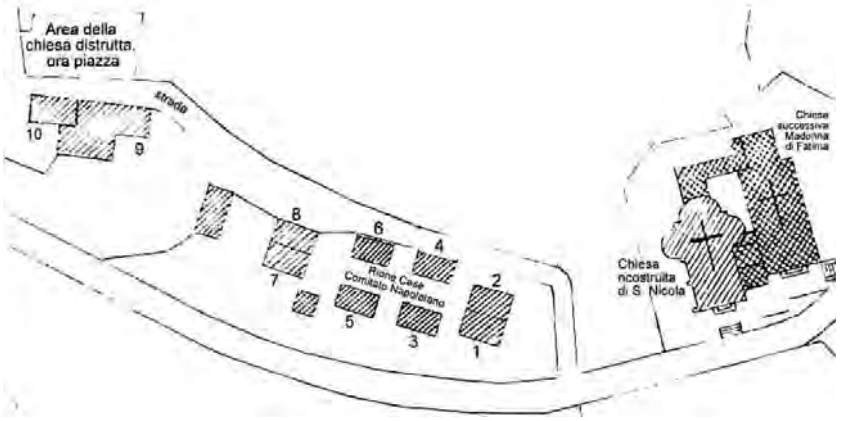


Fig. 5 – Una planimetria del 1950 delle case del nuovo rione di Torzano (da Coscarella, 2016).

L'edificato si sviluppa intorno a una strada larga 6 metri, mentre le abitazioni distano tra loro 4 m; anche in questo caso la penuria di spazio non consente la predisposizione di orti o spazi a uso esclusivo.

Il costo per la realizzazione di ogni casa di Castrolibero è approssimativamente di L. 4.500, mentre per quelle di Torzano la stima è di L. 4.200; i costi nel Comune di Torzano riescono ad essere più contenuti poiché il governo riconosce al Comitato un aiuto e concede il trasporto gratuito, sia su strade ordinarie che su ferrovia, e inoltre si fa carico delle spese di demolizione degli edifici rovinati.

Il 1° dicembre del 1907 vengono inaugurati i nuovi quartieri di Castrolibero e di Torzano, e da Napoli arrivano il progettista Dragotti, il sindaco Del Carretto, alcuni membri del Comitato, appartenenti per lo più a famiglie nobili, e cronisti delle testate napoletane *Il Mattino*, *Il Giorno*, *Roma*, *Don Marzio* e *Il Pungolo*. Il giornale *Cronaca di Calabria* riporta: "*una bella festa riuscita davvero solenne e indimenticabile pel concorso numeroso di Autorità e cittadini di Cosenza e dai paesi vicini, e pel sentimento di calda gratitudine e di commozione che vibrava negli animi di tutti*". Il primo borgo a essere inaugurato in mattinata è Castrolibero, segue alle tre del pomeriggio l'inaugurazione di Torzano.

Tra il 1908 e il 1910 gli abitanti di Torzano decidono di modificare il nome, in segno di riconoscenza verso l'operato del Comitato Napoletano, che diventa Borgo Partenope, nato dall'unione della parola Borgo, che indica un villaggio fuori dalle mura urbane, e Partenope, che riprende il nome antico di Napoli.

Conclusioni

La tecnica costruttiva utilizzata per la ricostruzione dei borghi di Castrolibero e Borgo Partenope si discosta molto da quelle che sono le tecniche costruttive tradizionali dell'edilizia calabrese, nelle quali pietrame e mattoni, nel corso degli anni, lasciano il posto al cemento armato. Tuttavia il sistema baraccato ha dimostrato negli anni una ottima resistenza, in una regione in cui la terra continua a tremare con scosse telluriche e sequenze sismiche, seppur con magnitudo inferiori a 5.0. Alcune delle case costruite post-sisma 1908 fanno ancora bella mostra di sé nei borghi, non senza modifiche strutturali e nei caratteri formali, derivanti dalle diverse esigenze funzionali delle abitazioni. Di recente è stata eseguita una prova strutturale su una parete, ricostruita nei suoi caratteri tecnologici, del palazzo del Vescovo di Mileto (Vibo Valentia), dalla quale è risultato un eccellente comportamento antisismico. L'esperimento è stato condotto presso il laboratorio *dell'Istituto per la valorizzazione del legno e delle specie arboree* del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-Ivalsa) di San Michele all'Adige (Trento), in collaborazione con l'università della Calabria, dove l'elemento parete è stato sottoposto a una serie di test meccanici che hanno simulato l'azione del terremoto. Secondo Ario Ceccotti, direttore di Ivalsa, la prova "*ha dimostrato chiaramente che un sistema costruttivo ideato a fine '700, come*

quello borbonico, è in grado di resistere a eventi sismici di una certa rilevanza e che questa tecnologia, una volta compiuti i dovuti approfondimenti e adottando sistemi di connessioni innovativi, potrebbe essere favorevolmente applicata a edifici moderni garantendone stabilità e dando sicurezza alle persone che li abitano”[2].

Inoltre si deve abbandonare il pensiero che vede associato il concetto di baracca alla provvisorietà e alla condizione di emergenza, ma si deve anche superare la reticenza nell’utilizzo del legno come materiale da costruzione, considerando l’impiego di materiali come legno lamellare a strati incrociati (X-LAM) e microlamellare (LVL), capaci di prestazioni meccaniche nettamente superiori, derivanti dalle nuove possibilità tecnologiche sperimentate in relazione alle capacità prestazionali del materiale sul piano strutturale e fisico-tecnico oltre che su quello dell’innovazione produttiva.

Le potenzialità del materiale legno, delle sue capacità statico-geometriche, della sua durabilità e della sua resistenza agli agenti esterni ricorrenti e al fuoco si aggiungono alle crescenti esigenze d’impiego di materiali eco-compatibili.

Il contesto regionale calabrese assume particolare rilevanza per la massiccia presenza sul territorio di vaste aree a bosco, il cui sfruttamento riguarda oggi prevalentemente destinazioni diverse da quella delle costruzioni, per cui l’impiego del legno in edilizia si pone all’attenzione nel quadro delle prospettive per una diversa e più efficace crescita tecnologica ed economica della regione, che, dalla valorizzazione e dallo sfruttamento del bosco, soprattutto delle sue specie autoctone, può portare allo sviluppo aziendale di settore, fino alla produzione di elementi tecnici certificati, siano essi di tipo semplice o complesso, da destinare a un più diversificato mercato edilizio.

Bibliografia

Baratta M. 1908. *Le nuove costruzioni in Calabria dopo il disastroso terremoto dell’8 settembre 1905.* Modena: Società Tipografica Modenese.

Baratta M. 1910. *La catastrofe sismica calabro messinese: 28 dicembre 1908*. Roma: Società Geografica Italiana.

Barucci C. 1990. *La casa antisismica. Prototipi e brevetti.* Roma: Gangemi Editore.

Castenetto S. Sebastiano M. (a cura di). 2007. *Calabria 8 settembre 1905: dal terremoto alla ricostruzione. Il terremoto raccontato attraverso le cronache, i documenti e le immagini dell’epoca.* Roma: O. GRA.O.

Coscarella L. 2016. Il terremoto del 1905 e l’opera del Comitato Napoletano a Torzano-Borgo Partenope. Calabria sconosciuta. XXXIX(151/152), 6-11.

Coscarella L. 2019. *Borgo Partenope. Articoli e scritti su uno dei Casali di Cosenza.* Marano Principato: The Writer Edizioni.

Guerra I. Savaglio A. (a cura di). 2006. *8 settembre 1905: terremoto in Calabria*. Castrovillari: AMG.

Placanica A. 1999. *Storia della Calabria dall’antichità ai giorni nostri*. Roma: Donzelli.

Pugliese F. 1996. *Il terremoto dell’8 settembre in Calabria. Immagini e cronache della stampa dell’epoca.* Firenze: Arti grafiche BMB.

Savaglio A. 2009. *Tra miseria e macerie : cronaca del viaggio di Vittorio Emanuele 3 nelle localita calabresi danneggiate dal terremoto dell' 8 settembre 1905.* Cosenza: Edizioni Bakos.
Savaglio A., Barone A. 2000. *Castrolibero: memoria e immagini del 1900.* Luzzi: Tipografia Luzzi PRESS.
Stancati E. 1988. *Cosenza e la sua provincia dall'Unità al fascismo.* Cosenza: Pellegrini editore.
Vivenzio G. 1783. *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII*. Napoli: Stamperia Regale.

Bibliografia di riferimento

Fabrizio A. 1933. *I terremoti e i diversi sistemi di costruzioni antisismiche.* Benevento: Stab. Tip. De Martini.
Caniggia G. Maffei G. L. 1979. Composizione architettonica e tipologia edilizia. 1 lettura dell'edilizia di base. Padova: Marsilio editore.
Malagodi O. 2005. *Calabria desolata.* Cosenza: Klipper edizioni.
Riccò A. 1907. *Sui metodi di costruire in Calabria.* Modena: Società tipografica antica tipografia Solani.
Terzi F. 1980. *Terremoti in Calabria dal 1783 ad oggi.* Sviluppo: rivista di studi e ricerche della Cassa di risparmio di Calabria e di Lucania. 25, 49-66.
Tobriner S. 1997. La Casa baraccata: un sistema antisismico nella Calabria del XVIII secolo. Costruire in laterizio, 56, 110-115.

Webgrafia

[1] https://www.earth-prints.org/bitstream/2122/11895/1/CFTI5Med_ITA.pdf
[2] https://www.cnr.it/it/news/5595/a-costruire-case-antisismiche-ce-lo-insegnano-i-borboni

Note

1. Tra i terremoti con magnitudo superiore a 6.0 si ricordano il terremoto di Girifalco del 1626, i terremoti della Valle del Savuto e del Crotonese del 1638, il terremoto della Calabria centrale del 5 novembre 1659, la sequenza sismica del 1783, il terremoto della Calabria centrale del 13 ottobre 1791 e il terremoto del crotonese dell'8 marzo 1832 [1] .
2. Quanto detto si riscontra anche nelle analisi effettuate dalla Commissione per lo studio del terremoto del 1905 in Calabria.
3. Baratta e Mercalli, due grandi studiosi contemporanei, definirono il terremoto "policentrico". Tuttavia, tutte le localizzazioni finora proposte sono basate sul risentimento macrosismico e l'epicentro non è mai stato determinato utilizzando i dati strumentali registrati a scala regionale e globale.
4. Sui giornali *Cronaca di Calabria*, *Il Giornale di Calabria* e *La Voce Cattolica* dal 1905 al 1907 sono stati pubblicati numerosi articoli sul terremoto del 1905.
5. Tra le case che non hanno subito danni ritroviamo le case degli "americani", ossia degli emigrati arricchiti, che presentano risposte migliori dal punto di vista di resistenza ai movimenti sismici
6. La legge è divisa in cinque capitoli: Provvedimenti a favore dei danneggiamenti del terremoto; Opere pubbliche; Credito agrario; Provvedimenti per l'agricoltura; Rimboschimenti e conservazione dei boschi e regolamento del pascolo..

7. Vengono introdotte la classificazione sismica del territorio e, per la prima volta, una normativa tecnica per le costruzioni a carattere regionale.
8. I comitati che si sono formati per gestire le emergenze delle popolazioni sono: il Comitato napoletano; il Comitato bolognese; il Comitato livornese; il Comitato torinese; il Comitato veneto-triestino; il Comitato milanese, ognuno dei quali concentra il suo operato su uno o più centri abitati bisognosi di aiuto.
9. Torzano è una frazione del Comune di Cosenza, “*in un terreno sensibilmente declive verso NWS in parte composto da lievissimo combo di sabbioni poggianti sulle sabbie gialle del pliocene superiore, ed in parte su quest'ultime*” (Baratta, 1908).
10. Castrolibero “*riposa su sabbie gialle del pliocene superiore, che poggiano sopra argille azzurre del pliocene medio*” (Baratta, 1908).
11. A Napoli il *Comitato* esamina i progetti presentati da Dragotti, per la ricostruzione di Torzano, Castrolibero e Marano Marchesato, e li sottopone ad altri esperti; non si prendono proprio in considerazione altri progetti presentati da privati. Dragotti termina il suo progetto nel dicembre del 1905 e, per come si evince dalla letture delle riviste *Cronaca di Calabria*, *Il Giornale di Calabria* e *La Voce Cattolica* dal 1905 al 1907, i cantieri di costruzione sono avviati nei primi giorni del 1906.

Giacomo Rasulo, Alessandro Rasulo

Il Magazzino juta e cotone nel Porto di Napoli. Uno dei primi edifici in cemento armato realizzati a Napoli

Abstract
The jute and cotton warehouse was one of the first works in reinforced concrete built in Naples complying with the 1907 regulations, designed and contracted by a public authority. This paper deals with the technical rules valid at that time and compares the calculations of the structures in reinforced concrete made by the designer and those reviewed by the specialist company which won the call of construction tender. The paper highlights a noteworthy coincidence between them except for the safety factors that, in the company's project, have been reduced in order to achieve minor building costs. The design, contracting and testing of the warehouse show a great synergy, for cutting-edge work that is absolutely unimaginable today.

Introduzione
Strutture in cemento armato sono state realizzate molto presto a Napoli. Infatti, allorché, nel 1892, François Hennebique, depositò il suo primo brevetto per la costruzione di travi in cemento armato (Iori e Marzo Magno, 2011; Iori e Poretti, 2014), la sua ditta, con sede a Parigi, cercò concessionari, con un autonomo giro imprenditoriale che costruissero edifici in cemento armato utilizzando il suo brevetto, previo versamento del 10% dell'importo dei lavori: in cambio il progetto veniva redatto dall'ufficio tecnico dell'Agenzia Generale di area, che, per l'Italia meridionale, venne collocata a Napoli e affidata all'ing. Giovanni Narici e, alla sua morte, nel 1896, all'ing. Pietro Isidoro Martorelli (Predari e Mocchi, 2010). Nel 1895 venne realizzato, col sistema Hennebique, un solaio nel nuovo palazzo della borsa e, nel 1896, il Consiglio superiore dei Lavori Pubblici autorizzò l'impiego del cemento armato, secondo il brevetto Hennebique, per i lavori di sistemazione e ampliamento degli edifici dell'Università di Napoli. Ovviamente, per queste opere, i calcoli vennero sviluppati dall'ufficio tecnico dell'Agenzia Generale d'Italia.

Nel 1899 l'editore Hoepli pubblicò un primo manuale sulle "Le costruzioni in calcestruzzo e in cemento armato" e l'anno successivo il prof. Camillo Guidi, ordinario di Scienza delle costruzioni al Politecnico di Torino, introdusse nel suo corso di Costruzioni delle lezioni sul cemento armato, in questo indicava il modo di eseguirne i calcoli statici. Da quel momento i brevetti furono in qualche modo aggirati: qualsi-

asi ingegnere che se la sentisse poteva procedere ai calcoli delle strutture progettate, senza dover chiedere l'assistenza di una casa madre, detentrice dei brevetti, talché, nel 1907, il ministero dei Lavori Pubblici emanò il primo regolamento per le costruzioni in cemento armato (M.LL.PP., 1907). A Napoli, poco dopo, nel 1911, venne progettato e calcolato dall'allora "Ufficio speciale per i lavori marittimi di Napoli e Provincia" del Corpo Reale del Genio Civile un fabbricato in cemento armato, posto lungo la Calata Ponte di Massa, come mostrato nelle Figure 1 e 2, che fu terminato nel 1913 e adibito a deposito di fibre tessili, prendendo il nome di "Magazzino juta e cotone".

Questo contributo si occupa proprio di questo edificio, sia perché fu uno dei primi edifici progettato e calcolato da un funzionario pubblico, senza aiuto di ditte esterne, depositarie di brevetti, sia perché gli Autori hanno avuto la fortuna di ritrovare, nelle carte di famiglia, l'intero progetto con i disegni, i calcoli strutturali e le foto scattate durante la costruzione e finanche la bozza del certificato di collaudo. L'intero progetto e la direzione dei lavori fu, infatti, curata dall'ing. Giacomo Rasulo, allora ingegnere di 2° classe del Genio Civile e nonno e bisnonno degli Autori.

La necessità di realizzare l'edificio scaturì dall'esigenza dell'epoca di far fronte all'aumentata importazione dai Paesi orientali di fibre tessili quali cotone, juta e sisal per soddisfare la richiesta delle aziende tessili delle province di Napoli e Caserta, che tendevano ad ampliare e diversificare la propria produzione rispetto all'uso della sola canapa, disponibile in loco. Si ricordi che le industrie tessili, fondate dallo svizzero Federico Alberto Wenner, erano presenti a Fratte e in tutto il salernitano dall'ottocento, anche se, nel 1918 vennero nazionalizzate con il nome di Cotoniere Meridionali S.p.a.

Fig. 1 – Il molo Calata Ponte di Massa con indicazione della posizione del Magazzino juta e cotone.

Fig. 2 – Prospetto attuale dell'edificio a Calata Ponte di Massa.

L'edificio "Juta e cotone", a seguito della crisi della industria tessile del secondo dopoguerra, fu destinato a deposito di spezie e caffè e, nel 2005, è stato ristrutturato per essere adibito a nuova stazione marittima sussidiaria della Compagnia Marittima Meridionale.

La legislazione dell'epoca sul cemento armato

Il decreto del 1907 (MLLPP, 1907) oggi non è considerato unanimemente sufficiente a regolare la progettazione ed esecuzione delle opere in cemento armato talché, come primo regolamento viene citato, normalmente, il R.D.L, del 13 marzo 1927. Tuttavia, anche questo primo decreto detta alcune prescrizioni per l'esecuzione delle opere in cemento armato, che furono considerate da molti ingegneri dell'epoca, tra cui l'ing. Rasulo, un indirizzo sufficiente per progettare in buona sicurezza le opere, superando la precedente fase pionieristica. Infatti, il decreto codifica la dosatura di un conglomerato che definisce "normale" anche se accetta che si progetti, in circostanze speciali, facendo affidamento su impasti più ricchi. Questo conglomerato deve avere una resistenza a rottura, allo schiacciamento, a 28 giorni di maturazione, non inferiore a 150 kg/cm^2, mentre per impasti di dosatura maggiore, ovviamente, è solo la sperimentazione ad assicurare la resistenza allo schiacciamento raggiunta; in ogni caso, il carico di sicurezza per il conglomerato, a compressione semplice, non deve superare un quinto del carico di schiacciamento a 28 giorni di maturazione.

Il decreto consiglia d'impiegare per le armature, preferibilmente, il ferro colato o il ferro omogeneo ottenuto col procedimento Siemens-Martin, con resistenza alla tensione di almeno 3400 kg/cm^2, e impone che queste non siano assoggettate a sforzi di tensione superiori a 1000 kg/cm^2 o a 800 kg/cm^2 per la sollecitazione al taglio. Indica anche come calcolare le sollecitazioni flessionali, imponendo che si supponga che gli elementi metallici siano affetti da un coefficiente *m* decuplo di quelli degli elementi di conglomerato (*m*=10), ritenendo che questi ultimi reagiscano, anche quando tesi.

Indica pure come calcolare il momento flettente da considerare nel dimensionamento delle sezioni delle travi continue, suggerendo due maniere di calcolo: come trave continua o come singole membrature, imponendo però, che nel caso non si consideri la continuità delle travi, in corrispondenza degli appoggi, si consideri il momento d'incastro perfetto. Per le sezioni centrali delle campate, indica che il momento flettente vada valutato o partendo dall'ipotesi che negli appoggi abbiano luogo soltanto i 2/3 del momento precedentemente calcolato o, in mancanza di un calcolo esatto delle condizioni d'incastro, riducendo del 20% il momento che è dato dall'ipotesi degli appoggi semplici in estremità.

Ne deriva, nel caso di trave incastrata, di lunghezza l, in m, con carico uniforme p, in kg/m, una doppia ipotesi di momento in mezzeria M_m, in kgm:
nella prima ipotesi:

$$M_m = pl^2\left(\frac{1}{8} - \frac{2}{3}x\frac{1}{12}\right) = pl^2\left(\frac{9-2x2}{9x8}\right) = \frac{5}{72}pl^2 = \frac{1}{14{,}4}pl^2 \cong \frac{0{,}7}{10}pl^2 \qquad \text{I.}$$

mentre nella seconda ipotesi risulta:

$$M_m = pl^2\left(0{,}8\frac{1}{8}\right) = \frac{1}{10}pl^2 \qquad \text{II.}$$

con un valore del momento più precauzionale, nel secondo caso, rispetto al primo, di oltre il 40%.

Vi è, infine, un'indicazione sulle legature trasversali dei ferri che armano i pilastri, che devono essere eseguite badando unicamente a escludere la possibilità della flessione laterale di questi ultimi; quindi non si accenna a staffe.

Il progetto

Il progetto del "Magazzino juta e cotone", firmato dall'ing. Giacomo Rasulo, è datato 29 aprile 1911. Come risulta dagli elaborati grafici riportati nelle Figure da 3 a 5 e dalla relazione dei calcoli statici, l'edificio ha una dimensione, in pianta, di m 79,00 m per 26,75 e si sviluppa su tre livelli, per una altezza complessiva di circa 15,50 m.

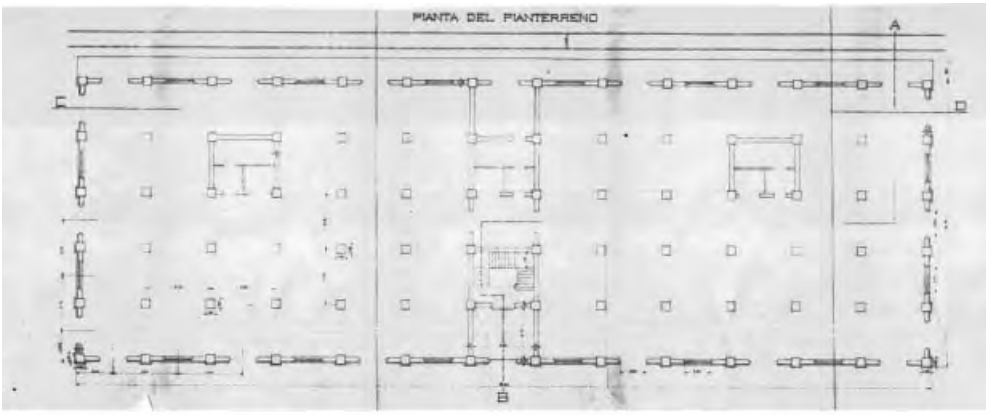


Fig. 3 – Pianta piano terra.

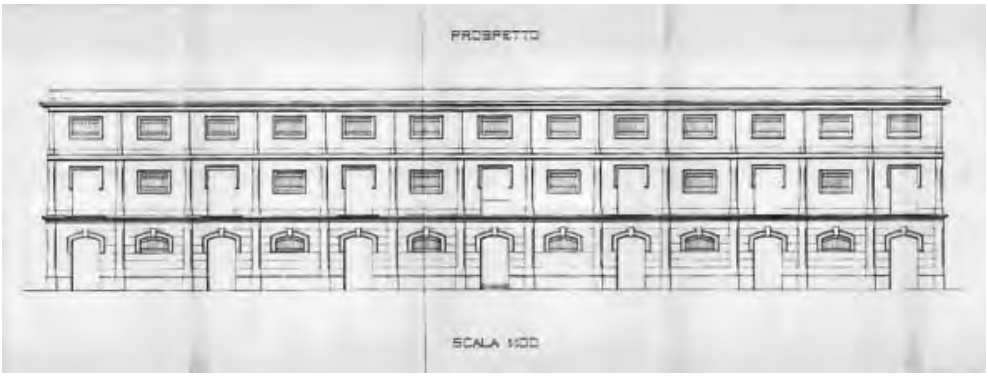


Fig. 4 – Prospetto.

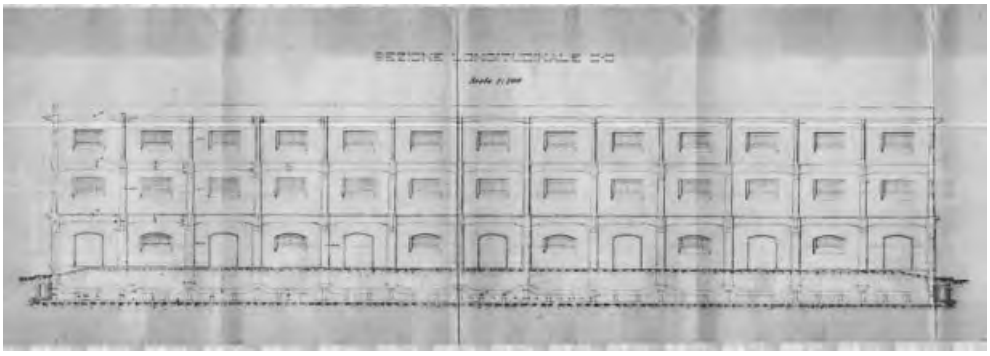


Fig. 5 – Sezione longitudinale.

Il progetto prevedeva una fondazione diretta realizzata con una piastra rovescia, di spessore 22 cm, irrigidita con una griglia di nervature: longitudinali (travi secondarie), di sezione 40 · 109/125 cm, poste a un interasse di 1,29 m, e trasversali (travi principali), di sezione 40 · 174/211 cm, poste a un interasse di 6,00 m. Al fine del dimensionamento di queste nervature, nei calcoli è riportato uno scarico medio in fondazione di 7000 kg/m^2.

In elevazione era prevista una griglia di pilastri quadrati disposti ai vertici di una maglia regolare di 5,16 m · 6,00 m, al primo livello pilastri di sezione 80 cm · 80 cm, al secondo livello di sezione 60 cm · 60 cm e al terzo livello di sezione 40 cm · 40 cm. Era previsto che i ferri d'angolo dei pilastri fossero avvolti da una spirale, realizzata con un tondino di 6 mm di diametro, con passo 30 cm.

I due solai intermedi, che si riteneva dovessero sopportare un sovraccarico di 2000 kg/m^2, erano previsti con una soletta di 11 cm, irrigidita da nervature longitudinali (travi secondarie), di sezione 20 · 67/97[1], cm, poste a un interasse di 1,29 m e travi trasversali (travi principali), di sezione 20 · 107/159 cm, poste a un interasse di 6,00 m. Il solaio di copertura, che doveva sopportare, invece, un sopraccarico di soli 250 kg/m^2, era previsto realizzato con una soletta di 8 cm, irrigidita da nervature: longitudinali (travi secondarie), di sezione 20 · 37/54 cm, poste a interasse di 1,29 m e travi trasversali (travi principali), di sezione 20 · 54/95 cm, poste a un interasse di 6,00 m. Siamo insomma in presenza di una struttura di solai simile a quelle latero-cementizie attuali in cui, per delimitare lo spazio non reagente, al posto delle pignatte, si procede con casse formi, come mostrato in Figura 7.

Nella relazione dei calcoli di stabilità è dichiarato che questi sono stati sviluppati secondo il metodo esposto dal prof. Guidi, della conservazione delle sezioni piane e tensioni ammissibili, e che si è fatta astrazione della continuità delle travi principali e nervature secondarie che vengono calcolate come indipendenti l'una dall'altra, ipotizzando le sezioni di appoggio perfettamente incastrate, mentre, allorché si calcola la sezione di mezzeria, si ipotizza che in quella di appoggio ci sia un semincastro e quindi in mezzeria il momento risulti pari a 1/10 pl^2. Siamo quindi nel pieno rispetto della normativa del 1907, con la scelta maggiormente precauzionale delle sollecitazioni. Inoltre, per resistere al taglio, il progetto calcola ferri aggiuntivi, di sezione piatta 30 mm · 2 mm di cui, però, viene indicata l'area ma non la posizione.

Nel progetto non vi è alcuna indicazione sul valore della resistenza a rottura che deve garantire il calcestruzzo adottato né tantomeno sulla percentuale di cemento nell'impasto. Le tensioni massime, rilevate dall'esame della relazione dei calcoli di progetto, sono riportate in Tabella 1.

Il Progetto ottenne parere favorevole dal Consiglio superiore dei Lavori pubblici (s.a., 1911) che stabilì che questo servisse di base a una licitazione privata fra ditte specialistiche per la esecuzione dei lavori e successivamente approvò il programma di concorso.

Tab. 1 – Caratteristica dei materiali e delle tensioni

D.M. LL.PP 10/01/1907	*Progetto ing. Rasulo*	*Progetto S.A.R.C.A.*
Resistenza del calcestruzzo d'impasto "normale" > 150 kg/cm2	Compressione max = 29,47 kg/cm2	
Resistenza del calcestruzzo d'impasto "ricco" > 5 volte il carico di sicurezza richiesto		Compressione max = 38,00 kg/cm2
Sollecitazione ammissibile a trazione delle barre in ferro omogeneo < di 1000 kg/cm2	Trazione max = 977,61 kg/cm2	Trazione max = 991,00 kg/cm2

L'esecuzione

Il progetto così concepito fu posto in gara il 7 settembre 1911; a seguito del concorso, fu prescelto il progetto esecutivo presentato, in data 21 ottobre 1912, dalla "Società Anonima Romana Cemento Armato"[2], rappresentata, in quest'opera, dall'ing. Ezechiele Tiraboschi, dell'importo complessivo di lire 525.000,00. Il contratto di esecuzione fu firmato in data 25 luglio 1913, con un ribasso del 5,06% e approvato con decreto ministeriale n° 4789 del 22 agosto 1913, registrato alla corte dei conti il 26 settembre 1913. La consegna dei lavori avvenne il 31 marzo 1914.

Il contratto prevedeva un tempo utile per i lavori di diciotto mesi, a partire dalla consegna dei lavori, ma furono concesse due proroghe di tre mesi ciascuna, talché i lavori furono terminati il 15 aprile 1916, in 24 mesi e mezzo, con soli 15 giorni di ritardo sulla data concordata (figure 9 e 10). Tempi inimmaginabili se confrontati con gli attuali, con una guerra in corso che fu il motivo addotto per le due proroghe: si pensi che il recente restyling ha impiegato ben 39 mesi, dal marzo 2005 al giugno 2008.

L'impresa esecutrice, con la firma del contratto, si assumeva la responsabilità dell'opera eseguita e, pertanto, provvide anche a rivedere i calcoli, cercando di ridurre le dimensioni delle strutture. Fondamentalmente si confermò, nei calcoli, l'astrazione dalla continuità delle travi principali e nervature secondarie ma, mentre le sezioni di appoggio rimasero calcolate come perfettamente incastrate, per le sezioni di mezzeria il momento di calcolo venne ridotto di circa il 40% ($M_m = pl^2/14$), di poco superiore al minimo momento accettato dal decreto.

Inoltre, lo schema di travi principali, trasversali, e nervature secondarie, longitudinali, rimase inalterato per il solaio di copertura e per i due solai intermedi mentre la piastra di fondazione, portata da 22 a 20 cm, fu irrigidita da una doppia maglia di nervature: quella principale, con interasse di 6,00 m, collegante i pilastri, e un'altra, secondaria, posta all'interno della prima, con interasse di 1,29 m. Ancora, le teste delle travi principali, sotto gli appoggi, furono allargate fino a 1,00 m, in modo da ridurne l'altezza. Pertanto le travi della maglia principale si ridussero dalla dimensione

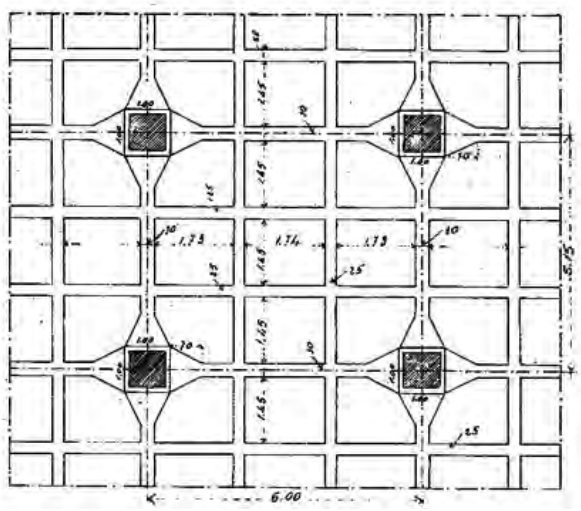


Fig. 6 – Nuova pianta delle fondazioni elaborata da SARCA.

40 · 174/211 cm a 30 · 120/160 cm, mentre le nervature della maglia secondaria furono ridotte da 40 · 109/125 cm a 25 · 60/120 cm, come mostrato in Figura 6. Infine, lo scarico medio in fondazione fu abbassato, con una analisi più dettagliata, anche se meno precauzionale, a 6.600 kg/m^2 dai 7.000 kg/m^2 riportati nel progetto Rasulo.

In elevazione la griglia dei pilastri rimase la stessa e pertanto si ebbe solo una riduzione della sezione dei pilastri a sostegno della copertura che passarono da 40 · 40 cm a 30 · 30 cm; nulla viene detto sulla cerchiatura prevista nel progetto Rasulo che dalla foto in Figura 8, relativa alla elevazione dei pilastri reggenti il solaio di copertura, risulta eliminata e ridotta alle semplici legature per tenere fermi i ferri lunghi angolari.

Anche per i due solai intermedi lo schema di calcolo rimase lo stesso, talché la riduzione delle travi principali (trasversali) da 20 · 107/159 cm a 28 · 107/150 cm e delle nervature secondarie (longitudinali) da 20 · 67/97 cm a 20 · 72/90 cm, con incremento dello spessore della soletta da 11 a 12 cm, deve essere attribuita alla riduzione del momento in mezzeria e alle maggiori tensioni ammesse, secondo quanto riportato in Tabella 1.

Analoghe considerazioni valgono per le strutture del solaio di copertura, la cui struttura resta la stessa, ma con le travi principali (trasversali) che passano da 20 · 54/95 cm a 20 · 54/75 cm e con le nervature secondarie (longitudinali) che passano da 20 · 37/54 cm a 16 · 38/54 cm. Purtroppo nella relazione dei calcoli statici redatta dall'impresa, al contrario di quella del progetto Rasulo, nulla viene detto circa la sollecitazione di taglio e occorre aggiungere che, per quanto in nostro possesso, nulla emerge sulla composizione del conglomerato cementizio che, per i carichi cui è stato sottoposto, non può più essere quello "normale" previsto dal decreto in essere.

Nelle Figure da 7 a 10 viene riportata una piccola selezione delle fotografie scattate periodicamente, per documentare lo stato d'avanzamento lavori.

Fig. 7 – Casseri predisposti per il getto del primo solaio.

Fig. 8 – 18 maggio 1915: disarmo del secondo solaio.

Fig. 9 – Il magazzino ultimato.

Fig. 10 – L'ing. Rasulo, a destra, e l'assistente De Cristofaro, a sinistra, nell'interno del magazzino ultimato.

Conclusioni

Il manufatto esaminato è senza dubbio una delle prime opere in cemento armato realizzata a Napoli dopo che il decreto del 1907 aveva dato indicazioni progettuali tali che realizzare strutture con questo materiale andava più considerata un'attività non più pioneristica, da riservare agli sperimentatori, ma a portata di tutti gli ingegneri.

Bibliografia

Vacchelli G. 1899. *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*. Milano: Hoepli.

M.LL.PP. 1907. Metodi normali di prova per gli agglomeranti idraulici. Decreto Ministero dei LL.PP. 10 gennaio 1907. Gazzetta Ufficiale n° 28 del 2 febbraio 1907.

Reggio D. L. n° 431/1927 Norme tecniche ed igieniche per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei comuni o frazioni di comune dichiarati zone sismiche. Gazzetta Ufficiale n° 82 dell'8 aprile 1927

Giornale dei lavori pubblici e delle strade ferrate. Anno XXXVIII. Roma

Ministero Lavori Pubblici. 1931 *I grandi porti marittimi d'Italia*. Roma: Tipografia del Senato.

Predari G., Mocchi G. 2010. Attilio Muggia professionista del cemento armato. In: *Attilio Muggia: una storia per gli ingegneri* (a cura di B. Bettazzi e P. Lipparini). Bologna: Compositori.

Iori T., Marzo Magno A. 2011. *150 anni di storia del cemento in Italia. Le opere, gli uomini, le imprese*. Roma: Gangemi Editore.

Iori T., Poretti S. (a cura di). 2014. *Storia dell'ingegneria strutturale in Italia*. Gangemi Editore.

Note

1. La doppia indicazione della dimensione, in altezza, delle travi ne indica l'espansione che queste presentavano avvicinandosi all'incastro
2. La Società Anonima Romana Cemento Armato, SARCA, con sede a Roma, nacque nel 1907 dalla unione della Società Odorico & C. di Milano, dell'Impresa Domenico Vitali di Roma e della Società Generale Immobiliare di Roma, che a seguito del provvedimento legislativo dello stesso anno, che imponeva alle ditte costruttrici di documentare i lavori portati a termine con esito positivo, furono spinte a cumulare i loro curricula.

Francesco Bianchi

1905: l'arrivo dell'energia elettrica a Pavia e la centrale realizzata sulla riva del Naviglio Pavese

Abstract
One hundred and twenty-five years ago electric energy generated by a power plant located outside the town on the river side of the Naviglio Pavese, arrived in Pavia and was used both for domestic lighting and emerging industry. To achieve this result, the "Alessandro Volta" Electricity Company was founded in 1895. This contribution illustrates different moments of the project, main materials and machinery used for the construction of the power plant and connection line to distribution station, and the commitment of people involved.

Introduzione
Nell'ultimo scorcio del 1800 l'Italia seguì i primi passi della nascente industria elettrica e le sue capacità imprenditoriali si indirizzarono soprattutto a promuovere società di servizio, per fornire al Paese le risorse energetiche indispensabili al suo decollo industriale; nacque così il mito del "carbone bianco", costituito dalla fonte idroelettrica, che si considerava destinato a soppiantare in gran parte il carbon fossile e a porre fine alla organica carenza nazionale di fonti energetiche. A seguito di questo sforzo, la produzione elettrica italiana passò da 4,5 GWh nel 1895 a 160 GWh nel 1900.

Il successo del primo impianto di illuminazione a Milano, datato 1883 e realizzato grazie alla centrale di via Santa Radegonda, la prima centrale termoelettrica d'Europa, fece crescere la voglia di elettricità un po' in tutto il Paese; in città grandi, come Torino, Genova e Palermo, e piccole quali Cosenza, Casale Monferrato, e Arona fu promossa la costituzione di Società Elettriche per la produzione e la distribuzione di energia destinata all'illuminazione privata e pubblica e alle crescenti esigenze di forza motrice. A Pavia ciò si verificò, nel 1895, con la fondazione della Società Pavese di Elettricità "Alessandro Volta" (Statuto della Società, 1895). Tra i promotori ci furono nomi importanti come il futuro premio Nobel Golgi, l'industriale Necchi, il conte Cavagna Sangiuliani, esponenti bancari locali, e un significativo numero di esercenti di attività commerciali. Tra gli ingegneri si annoverava Jacob Einstein, zio dell'allora appena sedicenne Albert, che, in società con il fratello aveva fondato a Pavia le Officine Elettriche Nazionali Einstein-Garrone.

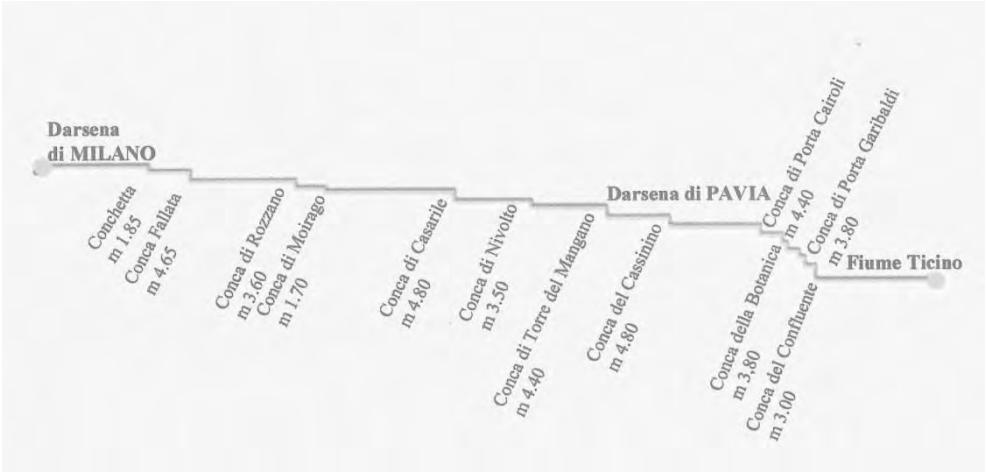


Fig. 1 – Schema conche Naviglio Pavese dalla Darsena di Milano al Ticino.

Fu nominata una commissione tecnica per verificare la possibilità di utilizzare l'energia idraulica legata alla concessione all'uso delle acque del Naviglio ottenuta dall'ing. Luigi Losio, uno dei promotori, che aveva già affrontato problemi simili occupandosi della possibilità di utilizzo delle acque dello Staffora presso Voghera e nel 1894 aveva ottenuto la concessione per l'utilizzo delle acque del Naviglio a Pavia.

La differenza complessiva di quota altimetrica del Naviglio dalla Darsena di Milano fino alla confluenza con il Ticino a Pavia è di 57,5 metri per 33 km di sviluppo lineare. Ai primi dell'800 i progettisti, gli ingegneri Ferrante Giussani e Angelo Giudici, guidati dal matematico e rettore dell'Università di Pavia prof. Vincenzo Brunacci, assunsero una pendenza del fondo del canale di 0,5 m/km compensando i circa 40 m eccedenti con un sistema di conche di altezza variabile, in totale 12, che permettesse di superare tale divario, come mostrato in Figura 1 (Istituto per i Navigli, 2001).

Il progetto dell'impianto

Mentre si sviluppavano le problematiche tecniche del caso, il Comitato Promotore aprì la sottoscrizione di azioni per la costituzione della Società di Produzione e Distribuzione dell'energia elettrica: il capitale sociale fu fissato in £ 500.000, diviso in 10.000 azioni del valore nominale di £ 50 cadauna (a norma di statuto nessun socio avrebbe potuto possederne più di 100); al 30 aprile 1895 ne era stato sottoscritto circa l'ottanta per cento. La Società fu fondata il 22 maggio 1895 , con l'assemblea tenuta al Teatro Fraschini e primo presidente fu l'ing. Pio Pietra.

L'ing. Losio aveva personalmente già assunto l'impegno con la Società Einstein-Garrone che le sarebbe stata venduta una quota significativa dell'energia elettrica

prodotta e che le sarebbero stati commissionati altre forniture e lavori. La Società "Volta" non ritenne di dover sottostare a tale impegno e incaricò di una perizia tecnica l'ing. Luigi Zunini, docente di tecnologie elettriche al Politecnico di Milano. I risultati delle indagini di Zunini sono contenuti nella "Relazione Tecnica al Consiglio di amministrazione sul proposto impianto ed esercizio di illuminazione elettrica della città" (Zunini, 1895) datata 29 settembre 1895. In primo luogo egli concluse che: "è evidente che il compromesso è ricco di clausole le quali i*mpegnano la Società Esercente a favore della Società Einstein-Garrone e C. senza nessun corrispettivo di questa verso quella e Voi non avreste quindi potuto ritrarre che un utile veramente meschino*". Inoltre, l'ing. Zunini evidenziò come, anche se in generale la forza motrice idraulica fosse normalmente considerata una fonte di energia quasi gratuita, diversi elementi concorrevano a rendere l'utilizzazione dei salti del Naviglio poco favorevole. Infatti, per far fronte ai periodi di asciutta del canale, doveva essere previsto un impianto a vapore di riserva e inoltre, tenendo conto del limitato periodo giornaliero di illuminazione, il valore del coefficiente di utilizzo dell'impianto sarebbe stato piuttosto basso, dell'ordine del 10%, anche perché Pavia, a differenza di Milano, non aveva "*molti servizi pubblici e ritrovi sfarzosamente illuminati fino a tarda ora della notte*". Zunini stimò una cifra di 1000 ore come probabile durata media di accensione delle lampade, precisando che questa cifra era sfavorevole per le spese di gestione e che quindi la Società avrebbe ottenuto un beneficio se non avesse realizzato la centrale idrica. La relazione fece inoltre rilevare come il progetto Losio prevedesse di suddividere l'utilizzo dell'acqua in due salti che, per quanto non lontani fra di loro, necessitavano di due centrali di produzione distinte, mentre la realizzazione di un solo impianto idroelettrico integrato da uno a vapore avrebbe consentito di utilizzare un solo salto. L'ing. Zunini sottolineò anche la necessità di tener conto dell'avvenuta introduzione di una tassa di consumo di 0,6 centesimi per ettowattora di energia elettrica prodotta e della nuova normativa sulle acque pubbliche e delle conseguenze della cosiddetta "legge sull'elettrodotto". Infatti già nel 1884 erano state definite acque pubbliche quelle contenute in un apposito elenco provinciale (contrariamente alla legislazione attuale, che definisce come pubbliche e di proprietà dello Stato tutte le acque superficiali e sotterranee, con poche eccezioni) ed era previsto un elenco (catasto) delle derivazioni, possibili da allora solo con una concessione governativa soggetta a canone. Inoltre la cosiddetta "legge sull'elettrodotto" del 7 giugno 1894 aveva facilitato lo sfruttamento delle risorse idroelettriche stabilendo il principio della costituzione di una servitù di passaggio forzato sui fondi, ma il proprietario delle condutture elettriche, sospese o sotterranee, doveva dimostrare di possedere anche la centrale di produzione.

Tutte queste criticità non poterono essere confutate in maniera adeguata dall'ing. Losio e la Società Volta rinunciò a stipulare l'accordo con lui e decise di costruire la centrale più a monte.

Quando fu dato mandato a un professionista di rilievo della Pavia di allora, l'ing. Urbano Pavesi, di presentare istanza di concessione per l'utilizzo delle acque del Naviglio alla conca del Cassinino ci furono preoccupate reazioni da parte di altri utenti, in particolare agricoli. Il 23 gennaio 1896 fu ricevuto parere favorevole con il vincolo che per la derivazione idraulica della centrale non si superasse la portata di 2 m^3/s, tenuto conto che quella esuberante del Naviglio al Cassinino, rispetto alle necessità irrigue di quel momento, era di soli 3 m^3/s da cui dedurre 0,5 m^3/s per le necessità della navigazione; inoltre non dovevano arrecarsi pregiudizi per le erogazioni alle rogge destinate all'irrigazione. Con il salto utile utilizzabile di 4,8 m si poteva sviluppare una potenza di 106 CV (78 kW) con lo scopo di produrre e distribuire energia elettrica per l'illuminazione e le industrie della città. Per poter dimensionare correttamente l'impianto si doveva ipotizzare il numero di utenze da servire e la Società decise di aprire una sottoscrizione di abbonamento per gli interessati corredata dei particolari della fornitura richiesta. Anche la definizione della tariffa da applicare presentava difficoltà, in quanto all'epoca non esistevano strumenti idonei e affidabili per rilevare correttamente le grandezze ritenute espressione significativa dei consumi; si stabilì, quindi, anche su consiglio dell'ing. Zunini, di adottare una tariffa a forfait per la quale il consumatore doveva pagare una certa somma, mensile o annuale, in base al numero e alla potenza delle lampade installate senza considerarne il tempo di accensione e quindi l'energia consumata.

L'arrivo dell'energia elettrica in città

A scopo dimostrativo il 7 gennaio 1896, con un impianto provvisorio, furono accese alcune lampade in Corso Strada Nuova (s.a., 1896) e una lampada ad arco da 400 candele in Piazza Castello e si alimentarono alcuni motori dell'officina Necchi. L'esperimento fu successivamente ripetuto il 9 gennaio con l'illuminazione di alcuni locali e vennero fatti pubblici riscontri fotometrici paragonando l'intensità luminosa ottenuta da lampade a gas ed elettriche; responsabile di queste prove fu l'allora giovane ingegnere Bernardino Nogara, laureato in ingegneria elettrotecnica nel 1894, cui fu affidata la direzione lavori della costruenda centrale. Questi esperimenti pubblici di illuminazione, cui parteciparono molti cittadini, ebbero un buon ritorno in termini di sottoscrizioni con l'adesione dei principali consumatori privati e dei più importanti enti della città, in primis l' Ospedale.Le "Relazioni del Consiglio di Amministrazione, della Direzione Tecnica e del Comitato dei Sindaci col Bilancio al 30 giugno 1897" (Consiglio di Amministrazione, 1897) illustrano le opere eseguite rilevando che "*dopo mesi sette e giorni ventiquattro dalla data dell'istromento della concessione governativa, e mesi sei e giorni quindici dal tracciamento e consegna dei lavori, la corrente elettrica giunse in città*". La progettazione di tutto l'impianto, a partire dal fabbricato fino alla rete di distribuzione, fu eseguita a cura del Direttore della Società ing. Antonio Del Pra (laureato al Politecnico di Milano nel 1894). La vera e propria costruzione della

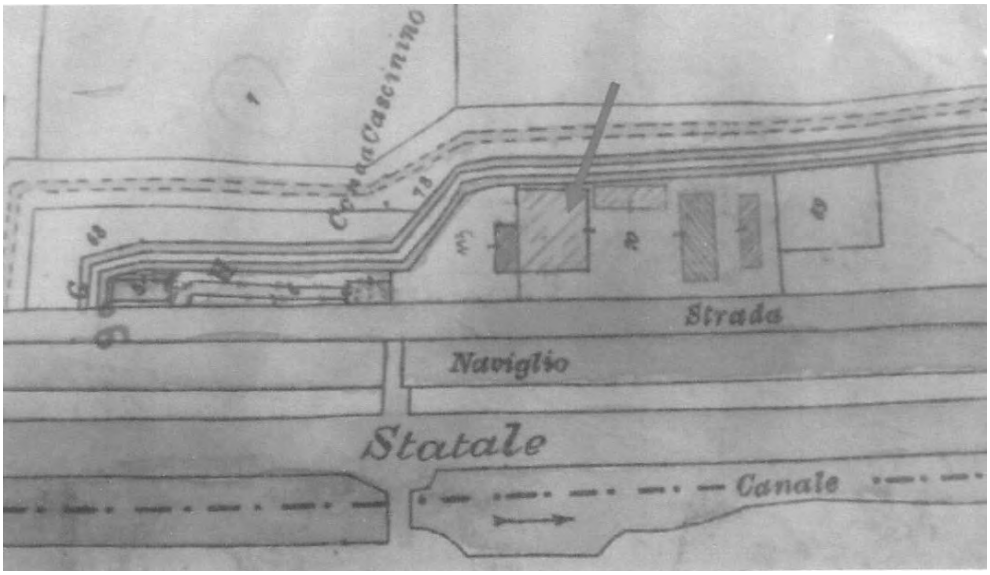


Fig. 2 – Conca e posizione della Centrale del Cassinino (fonte catastale).

centrale iniziò il 12 luglio 1896, a cura della ditta Pazzi Giovanni di Pavia e, malgrado le difficoltà inizialmente incontrate a causa della natura del terreno particolarmente acquitrinoso e per le prolungate intemperie di quell'anno, proseguirono rapidamente. L'intero impianto fu provato il 26 febbraio 1897. Manifesti affissi in città comunicarono che il 15 aprile 1897 sarebbe iniziato il servizio di fornitura dell'energia elettrica. La posizione rispetto alla conca e l'attuale vista esterna dell'edificio della centrale del Cassinino sono riportate rispettivamente nelle Figure 2 e 3.

Il complesso degli impianti era costituito dalla centrale di produzione elettrica, dalla linea di trasmissione dell'energia, dalla stazione di trasformazione e dalla rete di distribuzione a bassa tensione in città.

La centrale si componeva di una parte idraulica e di una a vapore che producevano energia meccanica da convertire in elettrica. Normalmente erano funzionanti la turbina idraulica e una delle due macchine a vapore. L'acqua era convogliata all'impianto tramite un canale di presa in muratura lungo circa 100 m, largo 3,60 m e profondo 1,30 m con derivazione a monte della conca, e, dopo il passaggio in turbina, era restituita al Naviglio attraverso un canale di scarico sottopassante l'Alzaia con ponte in muratura largo 4 m.

La turbina idraulica era di tipo Victor, sviluppata inizialmente negli Stati Uniti dalla Stilweel & Bierce di Dayton, in Ohio, nel 1877. La turbina, che aveva una velocità di 180 giri al minuto, era a flusso misto con una portata di 2 m^3/s e una caduta di 4 m e sviluppava (Relazione della Direzione Tecnica, 1897) una potenza effettiva di

Fig. 3 – Vista attuale dell'edificio della Centrale.

circa 90 CV (66 kW). L'impianto a vapore, fornito dalla Franco Tosi di Legnano, era costituito da due macchine a vapore tipo Woolf a doppia espansione con una grande ruota con funzioni di volano che trascinava tramite cinghia una puleggia di diametro molto minore sul cui asse erano calettati i generatori elettrici. Dopo l'espansione il fluido era scaricato nel condensatore a una pressione inferiore a quella atmosferica con conseguente aumento del rendimento. Tali macchine erano alimentate da due caldaie tipo marina a tubi da fumo dotate di economizzatore.

Le macchine motrici, sia idrauliche che a vapore, mettevano in rotazione tramite cinghie alternatori bifasi, di costruzione Belloni e Gadda, muniti di dinamo eccitatrice che sviluppavano una corrente di 10 A per fase con una tensione di 3600 V.

La sala macchine della centrale misurava circa 19,50 m per12,50 m (Relazione della Direzione Tecnica, 1897). La sala caldaie misurava circa 15,50 m per 9,50 m; vi erano, inoltre, un'officina meccanica e altri locali di servizio; al livello inferiore erano posizionati i condensatori e le tubazioni del vapore (Figura 4). I fumi della combustione erano scaricati da una ciminiera, successivamente demolita, alta 47 m con diametro esterno di 3,40 m alla base e di 1,60 m alla sommità.

Per dare un'idea dell'entità delle opere effettuate, omettendo quelle di minore importanza, risulta che furono eseguiti circa 5500 metri cubi di scavo, di cui 1500 subacquei fino alla profondità di 7 metri, infissi 1200 pali di rovere di 3 metri, impiegati circa 1500 metri cubi di calcestruzzo (dei quali un terzo sott'acqua) e posati circa 3500 metri cubi di muratura.

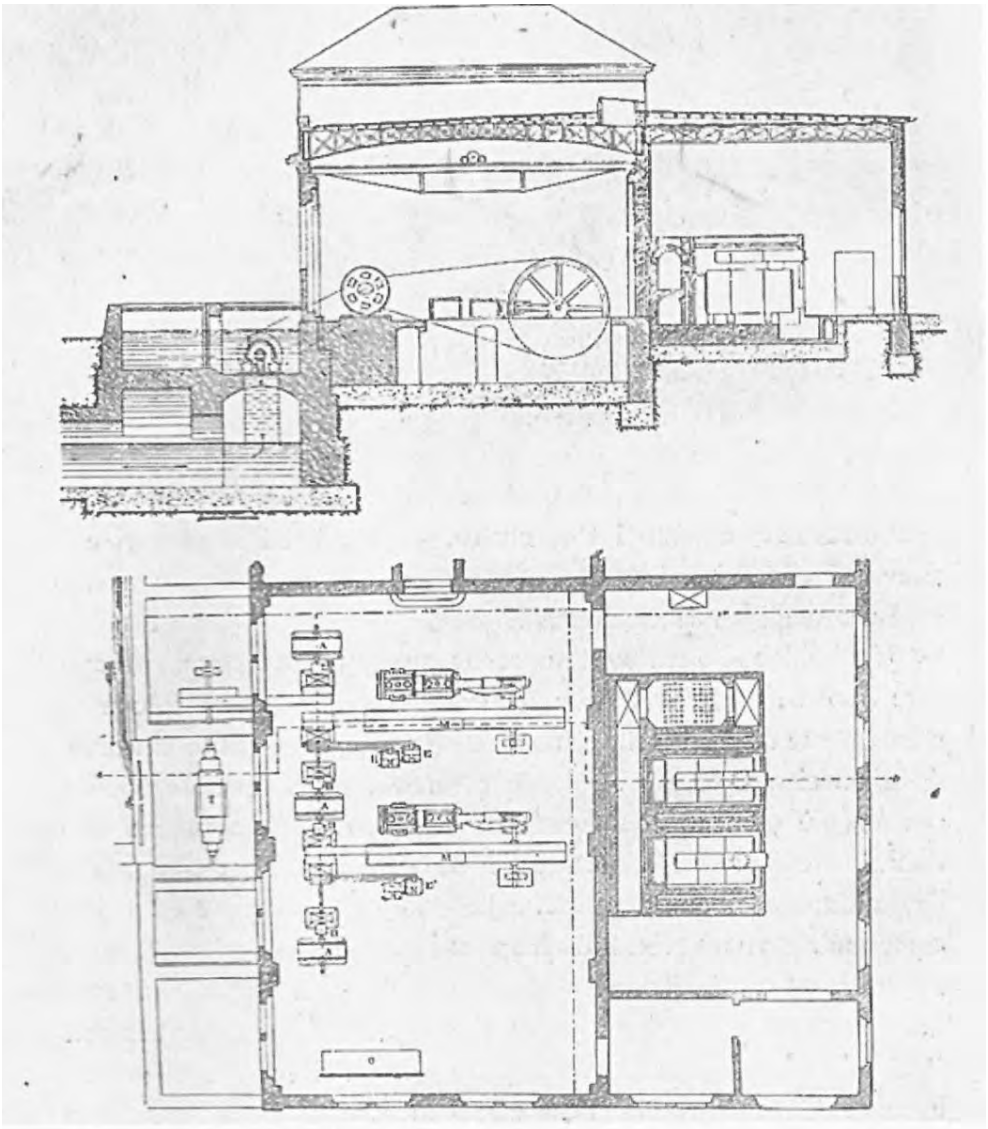


Fig. 4 – Sezione e Pianta della centrale. (Parazzoli, 1905).

La linea elettrica che partiva dal Cassinino, a distanza di 4,8 km dal centro della città, era costituita da quattro conduttori in rame del diametro di 6 mm, sorretti da pali, di cui 100 in legno e 4 in ferro, e 40 mensole in città. La linea arrivava alla Stazione di Trasformazione in centro città, nell'edificio in corso Mazzini 4, attualmente sede di un negozio, dove erano collocati cinque trasformatori, di cui uno di riserva,

che abbassavano la tensione per la distribuzione alla rete cittadina. L'isolamento della linea, inizialmente previsto solo nella parte finale, fu poi esteso, su indicazione prefettizia, fino alla periferia.

La rete, come mostrato in Figura 5, era così schematicamente configurata: una linea principale in bassa tensione percorreva la linea est-ovest della città, corrispondente all'antico decumano e da questa si diramavano, perpendicolarmente, un certo numero di derivazioni secondarie; un'altra linea, uscente dalla stessa stazione di trasformazione aveva direzione nord-sud, con analoghe diramazioni, riprendendo il re-

Fig. 5 – Ricostruzione di massima della rete di distribuzione.

ticolo urbano caratteristico di Pavia. D'altra parte una struttura urbana così regolare era vista come un vantaggio già dallo Zunini che nella sua "Relazione", riferendosi alla illuminazione pubblica, affermava che "*la città ha una pianta così regolare, e i punti dove le vie si incrociano ad angolo retto sono così numerosi, che si presenta ovvio il concetto di illuminare questi quadrivi mediante lampade*" (Zunini,1895).

Le linee principali erano alimentate a 320 V mentre nelle secondarie la distribuzione avveniva a una tensione di 105 V. La rete di distribuzione in bassa tensione, con uno sviluppo totale dell'ordine di 40 km, sostenuta da mensole e da pali in legno, era costituita da conduttori con un diametro medio di 7 mm, mentre le linee di collegamento dei singoli utenti, con uno sviluppo totale dell'ordine di 20 km, era costituita da conduttori con un diametro medio di 3,8 mm.

È interessante la lettura delle "*Norme per la distribuzione di energia elettrica a scopo di forza motrice*" (Società Volta, 1897) del 1897 che confrontavano in particolare i motori "*a gas*" con quelli elettrici, mettendo in luce i vantaggi che quest'ultimi offrivano e fornivano, e si prescriveva un rendimento minimo per i motori di maggior potenza.

Un cenno al personale operativo impiegato dalla Società: al Cassinino era costituito da un elettricista capo officina, due macchinisti, due fuochisti e due manovali e nella stazione di trasformazione da due elettricisti e un manovale. Per la realizzazione degli impianti presso i privati c'erano tre squadre di operai, 4 per ogni squadra, di cui due elettricisti e due muratori; una squadra era incaricata di eseguire gli attacchi esterni, sorvegliare le linee e la rete di distribuzione.

Conclusioni

Al 15 aprile 1897, data d'inizio dell'esercizio, il numero di impianti era 330 e le richieste aumentarono progressivamente, arrivando dopo i primi sei mesi di esercizio a più di 450, anche con significative richieste di forza motrice. La Società Pavese di Elettricità "Alessandro Volta" nel 1916 si aggiudicò l'appalto dell'illuminazione elettrica cittadina e nel 1930 fu unita alla Società Elettrica Suburbana Milanese assumendo la ragione sociale di Società Anonima di Distribuzione di Energia Elettrica Esticino con sede a Pavia, situazione che si mantenne fino alla successiva confluenza nell'ENEL.

Bibliografia

Istituto per i Navigli. 2001. *Il Naviglio pavese da Milano al Ticino*. Ginevra - Skira.

Parazzoli A. 1905. *Lezioni elementari di elettricità industriale*. Vol. 2. Roma: Gli Editori dell'Elettricista.

s.a.. 1896. Esperimenti con luce elettrica. Il Ticino, 11.1.1896.

Società Pavese di Elettricità "Alessandro Volta". 1895. Relazione del Consiglio di Amministrazione all'assemblea straordinaria dei Signori Soci del 27 ottobre 1895 sull'immediato impianto ed esercizio della illuminazione elettrica colla sola forza a vapore. Pavia: Fusi.

Società Pavese di Elettricità “Alessandro Volta”. 1895. Statuto della Società Pavese di Elettricità “Alessandro Volta”. Pavia: Fusi.

Società Pavese di Elettricità “Alessandro Volta”. 1897. *Norme per la distribuzione di energia elettrica a scopo di forza motrice*. Pavia: Fusi.

Società Pavese di Elettricità “Alessandro Volta”. 1897. Relazioni del Consiglio di Amministrazione, della Direzione Tecnica e del Comitato dei Sindaci col Bilancio al 30 giugno 1897. Pavia: Fusi.

Zunini L 1895. Relazione Tecnica al Consiglio di Amministrazione sul supposto impianto ed esercizio di illuminazione elettrica della città. Milano Tipografia Pizzi.

Maria Gabriella Pezone

Tra ingegneria militare e architettura: la sala d'armi di Capua

Abstract
The paper focuses on the Armoury in Capua, an extraordinary work, between military engineering and architecture, built by Gennaro Loiacono during the Bourbon 19th century inside the church of 18th century of an ancient Benedictine monastery. After the storytelling of its history from Lombard origins in 10th century to the building of the new church in the 18th century, the paper deepens its transformation into an armoury after 1830 to highlight the high compositional value of the work and the greatness of its designer.

Introduzione
Il saggio appunta l'attenzione sulla sala d'armi di Capua, una straordinaria opera di ingegneria militare progettata nell'Ottocento borbonico dal colonnello Gennaro Loiacono. Diversi studi sono stati dedicati in passato alla storia del complesso benedettino (Tescione, Iodice 1967; Avagliano, 1976; Martucci 1976-77) ma sinora scarsa attenzione ha avuto l'approfondimento della sua architettura (Giorgi 1990; Pane, Filangieri, 1994).

Dopo una breve ricognizione della storia del complesso, dalle origini alla costruzione della nuova chiesa nel Settecento, ci si soffermerà sulla riutilizzazione di quest'ultima, in seguito alla soppressione, come sala d'armi della piazzaforte militare. Partendo dall'approfondimento di questo tipo edilizio, che non aveva sinora destato l'interesse degli studi, si proverà a mettere in rilievo l'alto valore progettuale della macchina lignea ottocentesca capuana che riesce a dialogare con la struttura della chiesa del Settecento, sfruttando i suggerimenti compositivi provenienti proprio dalle architetture effimere di quello stesso secolo.

Le origini del monastero di S. Giovanni delle monache
Il conservatorio per "*Zitelle Nobili*"[1] di S. Giovanni risale alla Capua longobarda e si inserisce nel periodo di sviluppo e consolidamento del monachesimo occidentale che ebbe, come noto, il suo epicentro in Montecassino. La fondazione, ratificata da un atto del 972[2], fu confermata dalla bolla emanata a Montecassino dall'abate Benedetto VII nel 977[3] poiché, per volontà del suo fondatore Landolfo, il complesso fu posto

alle dipendenze dell'abate cassinese. La menzione tra i possedimenti di Montecassino riportati sulle formelle della porta bronzea di Desiderio attestava l'importanza di questa dipendenza. La giurisdizione cassinese perdurò sino al 1574 quando il conservatorio passò alla Curia capuana e fu trasformato in clausura[4].

Il monastero, in Figura 1 in un rilievo del 1817, mantenne la sua rilevanza con i Normanni, accrescendo notevolmente il suo già consistente patrimonio fondiario. Si ha notizia di un rinnovamento architettonico promosso dalla badessa Gemma Tocco, che nel 1122 portò a termine una nuova chiesa, impreziosita da una porta in bronzo realizzata sul modello di quella desideriana[5]. Tra i possedimenti del monastero capuano rientravano la chiesa di S. Salvatore Piccolo, acquisita dalla badessa Gemma nel 1116 attraverso una permuta[6], e le chiese di S. Lorenzo a Pietramelara e di S. Erasmo a Roccaromana, menzionate in un inventario stilato nel 1258 da Odo di Roccaromana[7].

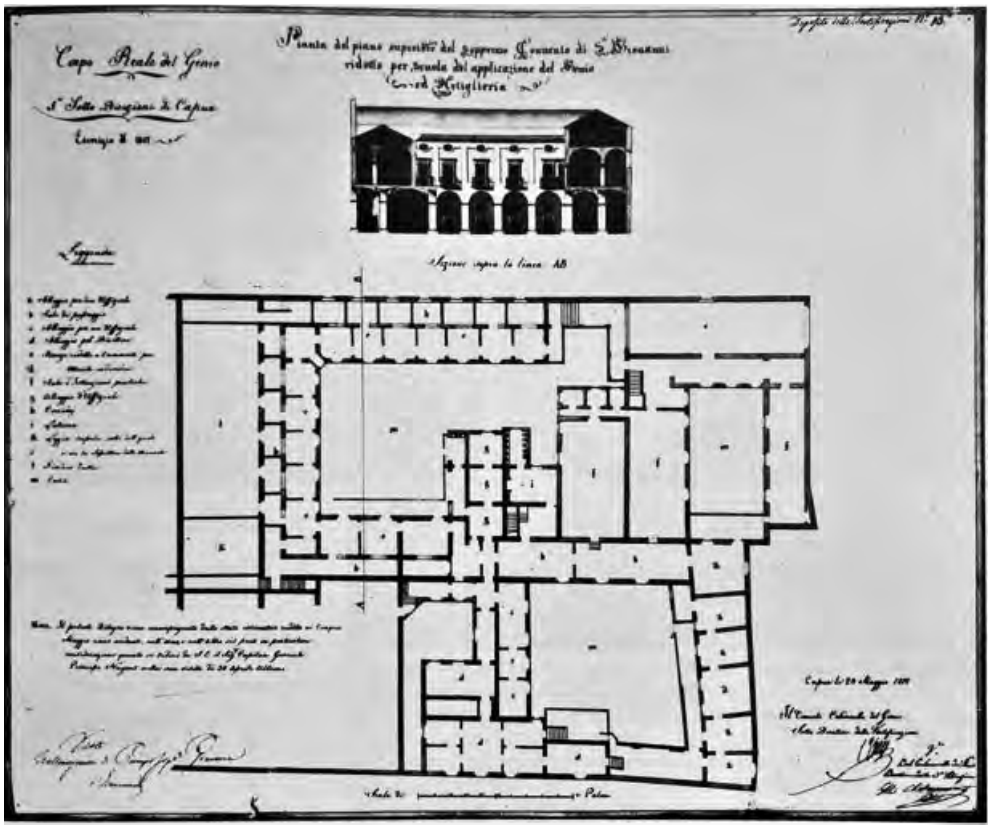


Fig. 1 – Trasformazione del monastero di S. Giovanni delle Monache in Scuola del Genio – 1817 (ISCAG, da Di Resta 1980).

Di Capua Capece ricorda, inoltre, l'esistenza nel 1341 di un ospizio per i pellegrini sistemato in "una casa vicino la porta del Monastero"[8], notizia che egli dichiara di aver ricavato dal manoscritto dedicato da Michele Monaco alla storia del complesso[9].

I resti dell'antica chiesa sono negli ambienti posteriori al presbiterio, rientranti nelle strutture del monastero ormai abbandonate e inaccessibili. Alcuni avanzi della chiesa in "*un colonnato e sulla porta d'ingresso un prezioso musaico rappresentante la B. V. Maria, S. Giovanni Battista e S. Giovanni Evangelista*" sono individuati nell'Ottocento dal Della Cioppa, il quale aggiunge che essa fu presto sostituita da un'altra "*più piccola alla parte d'oriente fuori la Clausura, e fu propriamente quel locale oggidì addetto a magazzino per conservare l'abbigliamento delle truppe di Guarnigione*"[10]. Preziosi a tale riguardo rimangono gli scritti di Isabella Di Resta (Di Resta, 1980; 1983; 1985), che ricorda come l'antico edificio religioso divenne "*un ambiente di passaggio tra il monastero femminile e la nuova chiesa tardo barocca*"[11], precisando inoltre che il suo portale, in Figura 2, fu reimpiegato nell'accesso settentrionale della cattedrale. La studiosa riporta a supporto una fonte secentesca dove questa è descritta come una "*chiesa interiore, que est insignis"* con "*molte reliquie in una fenestrella*"[12].

Fig. 2 – Il portale della chiesa antica oggi sul prospetto laterale del duomo.

Dopo l'introduzione della clausura nel 1558 furono intrapresi lavori, ancora in corso nel 1564, e il monastero fu riaperto solo nel 1604, dopo il completamento delle opere murarie volute dal cardinal Bellarmino per isolarlo dal resto della città[13].

La nuova "magnifica e sontuosa" chiesa settecentesca

Nel Settecento si decise di costruire una nuova chiesa esterna al complesso. Le fondamenta furono gettate nel 1737, quando era badessa D. Agata di Capua, mentre la sua consacrazione ufficiale avvenne il 23 giugno del 1753, con la badessa Maria Colomba di Capua Capece[14]. Il Granata[15], quasi contemporaneo agli eventi, la definisce "*molto magnifica, e sontuosa, ... una delle più ricche, e ben ornate di Capua da fondamenti a nostri giorni eretta con maestoso prospetto rivolto a mezzo giorno*", ma non fa alcun cenno agli architetti coinvolti, mentre menziona gli autori

dei quadri, Sebastiano Conca sull'altare maggiore e Di Majo sugli altari laterali[16]. Bernardo De Dominici, nelle sue *Vite de' pittori scultori e architetti*, rivela il nome dei progettisti della chiesa capuana in due differenti biografie, creando non poca confusione e incertezza sulla sua paternità. Nelle pagine dedicate a Ferdinando Sanfelice, probabile rielaborazione di un testo scritto dallo stesso architetto, ricorda il "*disegno della chiesa di San Giovanni, che per la sua bellezza si è dato alle stampe benché poi, non potendo accudirvi per li continui impieghi datili da Sua Maestà, fu posta in opera da Vaccaro*"[17]. A poche pagine di distanza, poi, fa cenno alla chiesa realizzata "*di pianta*" a Capua da Domenico Antonio Vaccaro "*con più bellezza e invenzione*" della Concezione a Monte Calvario "*incorporando l'antica chiesa parte nella nuova chiesa, e parte nel nuovo parlatorio, e ornando di belli marmi la cona*"; qui Vaccaro è ricordato anche come l'autore del dipinto "*concepito con idea nuova e maravigliosa*" raffigurante la *Santissima Concezione, con san Giovanni Battista e san Giovanni Evangelista*[18].

Sulla scia di De Dominici, Roberto Pane[19] inserisce la chiesa capuana tra le opere di Sanfelice, precisando che fu eseguita dal Vaccaro, così come Mormone[20] che attribuisce a Vaccaro l'esecuzione della sola cupola ma non il progetto complessivo, assegnato invece a Ferdinando Sanfelice, e ricorda come le monache risultassero tra i committenti elencati nel testamento di Vaccaro. Diversamente, Blunt[21] afferma, senza indicarne la fonte, che il primo progetto del Sanfelice sarebbe stato respinto a favore di quello di Vaccaro.

È probabile, dunque, che la chiesa di S. Giovanni a Capua sia nata dalla collaborazione tra i due architetti che in più di una occasione s'incrociarono nella loro intensa quanto prolifica attività. Un documento pubblicato dalla Giorgi[22] avvalora il primo coinvolgimento di Sanfelice. Per costruire la nuova chiesa "*secondo il disegno formato dal signor ... Sanfelice*", infatti, furono abbattute "*alcune casette che sono attaccate al belvedere di detto Monastero*" e fu acquistato un suolo pubblico dalla Fedelissima Città di Capua. Nel documento del 9 maggio 1737 si legge come gli Eletti decretarono la concessione del terreno solo dopo un sopralluogo effettuato con l'architetto napoletano e altri periti per concludere "*che ciò non intralcia la viabilità" ma anzi "aumenta la bellezza del luogo con il nuovo edificio*"[23].

Nel *Corpus* dei disegni sanfeliciani della collezione di Capodimonte è conservata una sezione del progetto redatto dall'architetto per la chiesa, in Figura 3, forse una copia preparata proprio per l'incisione cui accenna De Dominici e che forse doveva essere inserita nel trattato di architettura mai dato alle stampe da Sanfelice[24]. Dalla sezione si può ricavare che la pianta da questi ideata, (quadrata con angoli smussati a 45° a dar vita a un ottagono irregolare con cappelle maggiori sugli assi e più piccole sulle diagonali) non era poi tanto distante da quella realizzata, come si ricava anche dal rilievo di Gaspare Vinci redatto nel 1819 in Figura 4[25]. Se ne discostava completamente, invece, nell'impostazione e nel linguaggio decorativo minuto,

Fig. 3 – F. Sanfelice. "Prospetto interiore della chiesa delle Monache di Capua…".

espressivi di quella chiarezza compositiva tipica dei modi sanfeliciani tesi a mettere in rilievo la gabbia strutturale dell'edificio. Colonne libere, ispirate a quelle borrominiane di Sant'Agnese, segnavano gli accessi alle cappelle assiali, preminenti per dimensione su quelle diagonali e contrassegnate dai grandi archi trionfali decorati con conchiglioni. Al di sopra della trabeazione era ricavato un attico con finestre dove le statue prolungavano idealmente le direttrici dell'ordine ricongiunte in alto ai costoloni della volta contrassegnati da festoni di alloro, con un disegno completamente differente dalla cupola poi realizzata, in Figura 5.

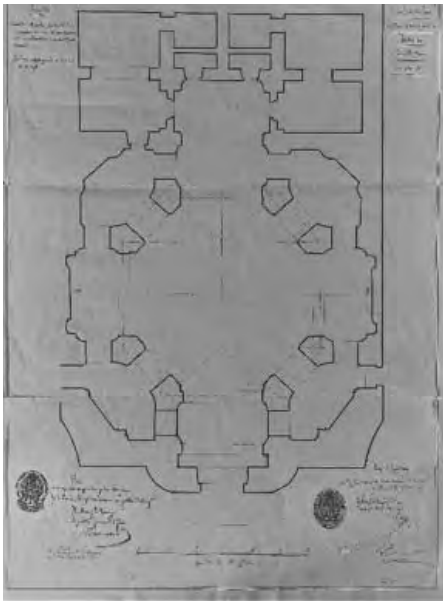


Fig. 4 – Pianta della chiesa di S. Giovanni, 1819 (BNN). Per renderlo leggibile il tratto è stato ricalcato digitalmente.

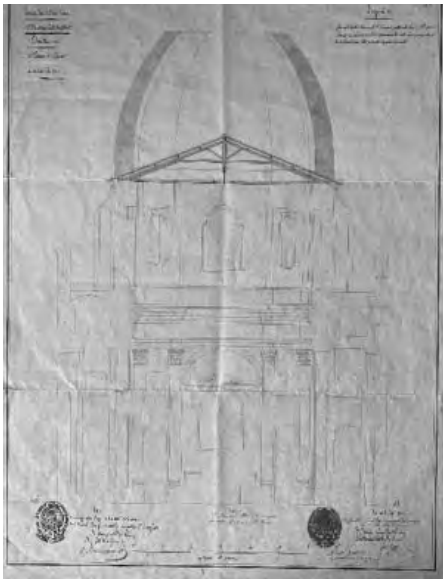


Fig. 5 – Spaccato della chiesa di San Giovanni, 1819 (BNN).

Le vicende esecutive della fabbrica si snodano tra la fine degli anni trenta e gli anni quaranta del Settecento, quando Ferdinando Sanfelice fu coinvolto nel programma edilizio di Carlo di Borbone, inizialmente nella realizzazione di apparati effimeri per poi passare ai progetti più importanti, il palazzo dei Regi Studi (1742), il Serraglio al Ponte della Maddalena (1742-43), gli interventi nella reggia di Capodimonte (1743) e l'ampliamento del corpo orientale del palazzo reale[26]. L'impegno totalizzante delle fabbriche reali dovette spingere l'architetto napoletano a cedere la realizzazione della chiesa capuana a Domenico Antonio Vaccaro con il quale aveva già collaborato in altre occasioni, come nel caso della memoria di San Gennaro fuori Santa Caterina a Formiello.

Nell'esecuzione Vaccaro eliminò le colonne libere sostituendole con paraste, modificò l'apparato decorativo, di cui oggi rimangono solo i capitelli pensili nelle cappelle diagonali, mostrati in Figura 6, e impresse il suo sigillo nel disegno della cupola. Diversamente dalla volta sanfeliciana, la cupola fu innalzata su un alto tamburo, nettamente separato dall'organizzazione spaziale delle cappelle sottostanti, come appare dalla sezione redatta nel 1819, in Figura 7, quando la struttura, ormai lesionata, fu demolita a vantaggio di una copertura lignea[27].

Fig. 6 – I resti della decorazione settecentesca in una delle cappelle laterali.

Fig. 7 – La rastrelliera dodecagonale nella sala ottagonale superiore ricavata nel tamburo della demolita cupola settecentesca.

Una macchina barocca declinata a fini militari: la sala d'armi nell'Ottocento

Il monastero fu soppresso il 12 settembre del 1812[28] e dal 1818 accolse la Scuola di Artiglieria del Genio Militare. La chiesa nel 1815 risulta destinata a magazzino[29], per poi essere adibita a sala d'armi dal 1830 al 1843.

Le sale d'armi erano ampi depositi per la conservazione delle armi leggere, sistemate in rastrelliere distribuite ordinatamente e razionalmente in modo che le armi potessero essere riposte e riprese con velocità e senza intralcio. Nella prima metà dell'Ottocento ne furono realizzate diverse nel regno, ridefinendo ambienti preesistenti con strutture leggere in legno.

Nella loro ideazione i progettisti dovettero guardare alle recenti fantasiose architetture lignee settecentesche, dalle macchine da festa alle sale teatrali, e perfino alle straordinarie *boiseries* delle biblioteche. La prima struttura di questo genere,

eseguita a Napoli nel 1822 in Castelnuovo, dovette probabilmente fare da modello per le sale successive; fu Luigi Bardet a ideare un'ingegnosa sala d'armi nella Gran Sala del castello (Pezone, 2018), traendo ispirazione probabilmente dalla biblioteca costruita negli anni quaranta del Settecento da Ferdinando Sanfelice all'interno della torre del Salvatore del complesso di S. Giovanni a Carbonara (Pezone, 2017): cinque ordini di rastrelliere "*simigliantissime a palchetti di teatro*"[30] permettevano di sfruttare la grande altezza rendendo accessibili le parti più alte attraverso quattro scale a lumaca nascoste negli angoli della sala "*abbellita con le statue colossali del defunto Monarca Ferdinando (…) e di S. M. d'inclita memoria Francesco*"[31].

La realizzazione della sala d'armi capuana si inserisce nel periodo delle riforme militari volute da Ferdinando II. Il progetto fu concepito dal colonnello Gennaro Loiacono (1765-1836) (Robotti, 1986), un ingegnere militare di notevole spessore, allievo di Vincenzo Ferrarese, il quale, dopo aver sposato la causa repubblicana e aver ricoperto ruoli importanti durante il Decennio francese, fu reintegrato nei corpi militari borbonici a "*dirigere i negozi delle fortificazioni e degli ingegneri nelle fortezze e nelle piazze darmi di qua del faro*"[32]. Tra i molti rimarchevoli progetti, non solo in campo militare, vale la pena di ricordare almeno la sala teatrale olimpica all'interno del palazzo dell'Intendenza a l'Aquila e il duomo di Terlizzi.

Fig. 8 – La torre ottagonale al centro della crociera.

Per utilizzare ogni metro quadro delle pareti laterali da attrezzare con rastrelliere, l'architetto suddivise in due l'edificio con l'inserimento di un solaio sulla crociera che permetteva di ricavare una nuova sala circolare all'altezza del tamburo dell'antica cupola appena demolita, come mostrato in Figura 7. Avendo escluso l'illuminazione proveniente dalle finestre del tamburo, fu necessario aprire sui bracci longitudinali due ampi finestroni semicircolari riportando in facciata l'ampiezza dell'arco trionfale.

Al centro della crociera Loiacono innalzò una torre ottagonale, in Figura 8, al cui interno corrono due scale a chiocciola intrecciate, in Figura 9, che permettevano di separare salita e discesa ai quattro livelli di pensiline che ricoprono completamente le pareti laterali della chiesa di rastrelliere, servite anche da scale secondarie sistemate nelle cappelle

Fig. 9 – La doppia scala a chiocciola.

Fig. 10 – L'ultimo livello con il finestrone.

diagonali del presbiterio. La doppia coclea smonta con un'originale terminazione lignea dodecagonale (destinata, anche essa, alla conservazione delle armi) nella sala ottagonale soprastante, già mostrata in Figura 7, circondata, a sua volta, da tre livelli sovrapposti di rastrelliere raggiungibili con due altre scale simmetriche.

Probabilmente la necessità di ripensare l'illuminazione dei bracci, Figura 10, sollecitò la riconfigurazione della facciata principale e la cancellazione dell'impaginazione settecentesca. La facciata originaria, come si può ricavare dal suo profilo nella pianta del 1819 già riportata in Figura 4[33], doveva presentarsi probabilmente tripartita con un compartimento centrale convesso e gli angoli smussati a formare due terminazioni concave.

Il disegno del nuovo prospetto dell'edificio militare, correttamente connotato da un severo ordine dorico, tradisce l'educazione neoclassica di Gennaro Loiacono. Paraste binate giganti reggono una trabeazione il cui fregio vede alternarsi i triglifi con metope a forma di scudi circolari, gli "*opla",* mentre il portale di accesso è contrassegnato da un bugnato rustico su cui si apre la finestra semicircolare affiancata da due panoplie in stucco che riproducono proprio le armi depositate al suo interno, come mostrato nella foto in Figura 11.

Il progetto di Loiacono è sorprendente per la sua capacità di conciliare funzionalità e resa estetica della struttura. Ogni elemento è concepito per ottimizzare

Fig. 11 – Il prospetto principale.

gli spazi nel ricovero delle armi, per ciascuna delle quali (sciabole, spade, pugnali, pistole, fucili) è progettata la rastrelliera adatta. Eppure, nessun dettaglio è trascurato e l'insieme è governato da un disegno compositivo elegante e raffinato, dominato dalla sovrapposizione di ordini architettonici lignei che si concludono in alto con gli aguzzi pinnacoli piramidali. La realizzazione nel 1820 a l'Aquila della sala olimpica, poi demolita, oltre a essere un'evidente espressione della formazione neoclassica di Loiacono, attento al dibattito sulla rielaborazione della forma antica nel teatro moderno, fu anche il banco di prova nella progettazione lignea che avrebbe trovato poi nella sala d'armi la sperimentazione più creativa e geniale.

Conclusioni

L'approfondimento delle vicende storiche della chiesa capuana restituisce un'architettura straordinaria del Settecento magistralmente trasformata nel riuso ottocentesco. Il progetto della sala d'armi fa emergere dall'oblio Gennaro Loiacono, un architetto meritevole certamente di uno studio monografico. Nella lettura dell'opera capuana si scopre, infatti, un artefice in bilico tra i due secoli, capace di guardare al futuro, aderendo ai suggerimenti della nuova architettura neoclassica senza però rinnegare mai il passato dell'architettura tardobarocca della quale riuscì a rielaborare la lezione migliore.

Bibliografia

Avagliano F. 1976. Il monastero di S. Giovanni delle Monache di Capua nei primordi della riforma tridentina. In: *Michele Monaco e e il Seicento capuano* (a cura di P. Borraro), 37-40. Salerno: Palladio.

Blunt A. 1975. *Neapolitan baroque and rococò architecture*. London: A. Zwemmer Ltd. (ed it. *Architettura barocca e rococò a Napoli*, a cura di F. Lenzo, Milano: Electa, 2006).

D'Ayala M. 1843. *Le vite de' più celebri capitani e soldati napoletani*. Napoli: Stamperia dell'Iride.

D'Ayala M. 1847. *Napoli militare*. Napoli: Stamperia dell'Iride.

De Dominici B. 1742-1745 (2008). *Vite dei pittori, scultori e architetti napoletani*. 3 voll., v. III (a cura di F. Sricchia Santoro, A. Zezza). Napoli: Paparo.
Della Cioppa M. 1843. *Notizie istoriche risguardanti la chiesa parrocchiale di S. Angelo in Audoaldis*. Caserta: Dalla Tipografia di Giuseppe Majone.
Di Capua Capece G. 1750. *Dissertazione intorno alle due campane di S. Giovanni de' Nobili Uomini*. Napoli: Stamperia di Novello De Bonis.
Di Resta I. 1980. Cartografia e architettura militare a Capua dalla prima età borbonica alla restaurazione. Memorie storiche militari 1980, 431-467. Roma: Ufficio Storico dello Stato Maggiore dell'Esercito.
Di Resta I. 1983. *Capua medievale*. Napoli: Liguori.
Di Resta I. 1985. *Capua*. Roma-Bari: Laterza.
Gambardella A. 1968. *Note su Ferdinando Sanfelice architetto napoletano*. Napoli: Istituto editoriale del Mezzogiorno.
Gambardella A. 1974. *Ferdinando Sanfelice architetto*. Napoli: Arti grafiche Licenziato.
Gambardella A. 2004. *Arti e libertà a Napoli tra classicismo e rocaille*. Atti del Convegno Ferdinando Sanfelice. Napoli e l'Europa, Napoli-Caserta, 17-19 aprile 1997 (a cura di A. Gambardella), 15-21. Napoli: ESI.
Gattula E. 1734. *Historia Abbatiae Cassinensis per saeculorum seriem distributa Ad historiam abbatiae·Cassinensis accessiones*. II, 1733-34. Venetiis: Coletus
Giorgi L. 1990. *Architettura religiosa a Capua. I complessi della SS. Annunziata, S. Maria e S. Giovanni delle Dame Monache*. Roma: Tipolitografia Interstampa.
Granata F. 1766. *Storia sacra della chiesa metropolitana di Capua*. Napoli: Nella Stamperia Simoniana.
Martucci M. 1976-77. Lineamenti di storia del monastero di S. Giovanni. Capys, 10, 25-52.
Mazzoleni J. (a cura di). 1957. *Le pergamene di Capua*. Napoli: L'Arte tipografica.
Miele M. 1973. Ricerche sulla soppressione degli ordini religiosi nel regno di Napoli (1806-1815). Campania sacra, IV, 1-144.
Mormone R. 1961. Domenico Antonio Vaccaro architetto. Napoli Nobilissima, serie 3, I, 2, 135-150.
Pane G., Filangieri A. 1994. *Capua. Architettura e arte, catalogo delle opere*. II, 537-539, 564-567. Capua: Capuanova.
Pane R. 1939. *Architettura dell'età barocca in Napoli*. Napoli: EPSA editrice politecnica.
Pezone M.G. 2017. Dalla guerra alla cultura. Il riuso delle opere di difesa a Napoli nel Settecento nella biblioteca di San Giovanni a Carbonara. In: *Si vis pacem para bellum* (a cura di M. Rotili, G. Pignatelli, Giannini), 125-132. Napoli: Giannini.
Pezone M.G. 2018. Un ingegnere del Genio borbonico tra Sette e Ottocento: Luigi Bardet di Villanova. Proceedings of the 3rd International Conference of History of Engineering (S. D'Agostino, F.R. d'Ambrosio Alfano eds.), Naples, April 23rd-24th, II, 695-706. Napoli: Cuzzolin.
Robotti C 1986. *Capua: itinerario monumentale nell'ambiente urbano*. Capua: Pro Loco.
Tescione G., Iodice A. 1967. Il monastero di S. Giovanni delle Monache di Capua e l'inedita storia di Michele Monaco. In *Il contributo dell'archidiocesi di Capua alla vita religiosa e culturale del Meridione* Atti del Convegno nazionale di studi storici promosso dalla Societa di storia patria di Terra di Lavoro, 26-31 ottobre 1966, 405-442. Roma: De Luca.
Ward. A. 1988. *The Architecture of Ferdinando Sanfelice*. Garland Publishing: New York-London.

Acronimi
ASNa: Archivio di Stato di Napoli
BNN: Biblioteca Nazionale di Napoli
BMCC: Biblioteca del Museo Campano di Capua
ACC: Archivio della Città di Capua

Note
1. In questo modo la ricorda Granata F. 1766, I, 308.
2. Mazzoleni J. 1957, I, p. 1; Martucci M. 1976-77, pp. 25-26.
3. Gattula E. 1734, vol. I, p. 173.
4. Di Resta I. 1985, p. 48, che lo ricava da Manna G.A., *Prima parte della cancellaria de tutti i privilegii, capitoli, lettere regie, decreti, conclusioni del consiglio, et altre scritture della fedelissima Città di Capua dall'anno 1109. insino all'anno 1570*, apud Horatium Saluianum, Napoli 1588, p. 166. Si cfr. anche Avagliano F. 1980, pp. 37-40; Giorgi L. 1990, pp. 76-88.
5. Di Capua Capece G. 1750, p. 90.
6. Granata F. 1766, I, p. 310.
7. Martucci M. 1976-77, p. 30.
8. Di Capua Capece G. 1750, p. 81.
9. *Ibidem.* Il manoscritto di Michele Monaco, *Historia del Sacro monastero di Santo Giovanni delle Monache di Capua*, è conservato presso la Biblioteca del Seminario Arcivescovile di Napoli, Collezione manoscritti, LXVIII, A. 77. Un'altra copia è al Museo Campano di Capua, Manoscritti, busta 19. Cfr. anche Tescione G., Iodice A.1967, pp. 405-442.
10. Della Cioppa M. 1843, p.61.
11. Di Resta I. 1983, pp. 98-99.
12. D'Ambrosio, *Chiese semplici ed altre di Capua nuova*, f. 32, in Museo Campano di Capua, Manoscritti, busta 558 citato *ibidem*.
13. Giorgi L. 1990, p. 76.
14. Della Cioppa M. 1843, p. 62.
15. Granata F. 1766, I, p. 308.
16. Ivi, p. 310.
17. De Dominici B. 1742-45, III (2008), p. 927.
18. Ivi, p. 1249.
19. Pane R. 1939, p. 197.
20. Mormone R. 1961, p. 138.
21. Blunt A. 1975, pp. 115, 132.
22. Giorgi L. 1990, pp. 76-83 e p. 92.
23. MCC, ACC, Libro di Cancelleria, 68, ff. 179-180 citato ivi, p. 92.
24. Museo di Capodimonte, *Gabinetto di Stampe e Disegni*, 1517 (M1181). Il disegno è pubblicato da Blunt 1978, ill. 218; Ward 1988, ill. 163. Sul progetto, Blunt 1978, pp. 115, 132; Ward 1988, pp. 200, 304.
25. BNN, Sezione manoscritti e rari, *Carte geografiche*, 26/21, *Pianta della chiesa dell'edificio di S. Giovanni che si progetta di covrirsi con tetto sovra legname, ultimando la demolizione dell'attuale Cupola lesionata*, Capua 5 Aprile 1819, disegno firmato dal tenente colonnello del Genio Giuseppe Vinci nella veste di Sotto Direttore delle Fortificazioni e

vistato dal D'Escamard come Direttore Generale del Genio.

26. Sull'attività e su questi progetti cfr. Gambardella A. 1968, *passim*; Gambardella A. 1974, *passim*; Gambardella A. 2004, pp. 15-21.
27. BNN, Sezione manoscritti e rari, *Carte geografiche*, 26/22, *Spaccato della chiesa di S. Giovanni fatto sulla linea AB della Pianta coll'indicazione dell'armatura del tetto che si progetta e della demolizione dell'attuale Cupola che si progetta*, Capua 5 aprile 1819, disegno firmato dal tenente colonnello del Genio Giuseppe Vinci nella veste di Sotto Direttore delle Fortificazioni e vistato dal D'Escamard come Direttore Generale del Genio.
28. Della Cioppa M. 1843, p. 62.
29. Miele M. 1973, p. 83; Di Resta 1980, p. 445.
30. D'Ayala, 1847, p. 254.
31. ASNa, Sezione militare, *Ministero della Guerra*, 255, f.lo 3647 riportato in Pezone 2018.
32. D'Ayala M. 1843, p. 367.
33. BNN, Sezione manoscritti e rari, *Carte geografiche*, 26/21, *Pianta della chiesa dell'edificio di S. Giovanni che si progetta di covrirsi con tetto sovra legname, ultimando la demolizione dell'attuale Cupola lesionata*, Capua 5 Aprile 1819, disegno firmato dal tenente colonnello del Genio Giuseppe Vinci nella veste di Sotto Direttore delle Fortificazioni e vistato dal D'Escamard come Direttore Generale del Genio.

Alessandra Bellicoso, Alessandra Tosone, Federica Tedeschini

Recupero e riuso delle tipologie specialistiche dell'architettura italiana del Novecento. Il caso dell'orfanotrofio Don Minozzi ad Antrodoco

Abstract

From the 1920s onwards, in Italy there is an overall reorganization of the forms of social and health assistance aimed at a general overcoming of the liberal model in favor of public initiatives in the framework of the reform that the Fascist State started in 1923, in particular for children in the tuberculosis treatment and prophylaxis sector. The complex of initiatives aimed at the care and education of young people implies an update of the typological and functional models of reference, up to then mainly attributable to the collective dwellings of more ancient tradition, convents and colleges, up to the birth of new building types. This process also involves orphanages: the new functional objectives include the coexistence of residential, school, sports and training functions, as well as new distribution morphological structures. By articulating and merging together elements of the college, school, sanatorium, etc. the availability of reinforced concrete technology for the creation of large and flexible spaces for collective use is experimented in a modernist spirit. Within the framework of a specific social program promoted by ONPMI for "the physical and moral assistance of war orphans" is the work of the architect Vittorio Paron, designer of several orphanages, including the one created at Antrodoco in the 1950s when Don Minozzi was at the head of the organization. The goal of this contribution is to report the results of the validation of an operative methodology elaborated in the complex of the research activity on the topics of refurbishment, in particular also of the specific typologies of the twentieth century Italian architecture, in particular those for collective housing.

L'ONPMI: Opera Nazionale Per il Mezzogiorno d'Italia

L'Opera Nazionale per il Mezzogiorno d'Italia è un Ente educativo assistenziale con lo scopo iniziale principale dell'assistenza morale, civile e materiale degli Orfani di guerra. Fu fondata subito dopo la Prima Guerra Mondiale da Padre Giovanni Semeria (Coldirodi 26 settembre 1867, Sparanise 15 marzo 1931) e Don Giovanni Minozzi (Petra-Amatrice 18 ottobre 1884, Roma 11 novembre 1959), ex cappellani militari che si incontrarono al fronte nel 1916 presso Udine, dove nacque l'idea comune di dedicarsi agli orfani del Mezzogiorno. Si rividero dopo la guerra a Roma e

Fig. 1 – La Casa madre dell'ONPMI: l'istituto maschile di Amatrice.

a Bologna dove maturò il progetto che si concretizzò il 15 agosto 1919 con l'inaugurazione del primo istituto dell'Opera, l'Orfanotrofio Maschile ad Amatrice allora in provincia dell'Aquila, in Figura 1. L'Opera fu eretta in Ente morale con Regio Decreto n. 23 del 13 gennaio 1921 e in seguito, a norma degli articoli 2 delle Leggi n. 1397 del 26 luglio 1929 e n. 365 del 15 marzo 1958, fu collegata con l'Opera Nazionale per gli Orfani di Guerra ottenendo, in conseguenza, la completa equiparazione fiscale all'Amministrazione dello Stato, pur conservando sempre il peculiare carattere di Ente privato Il fine che i fondatori si ripromettevano di raggiungere con l'istituzione dell'Opera emerge chiaramente dall'ultimo articolo dello statuto, il trentesimo: "*L'Opera non intende restringere e vincolare la propria attività ai soli Orfanotrofi, ma, sorta com'è nei suoi ultimi fini per l'assistenza morale e civile delle terre meridionali, intende promuovere tutte quelle varie forme di assistenza che potranno comunque avviare a soluzione il problema del Mezzogiorno*". Entrambi ritenevano, infatti, che alla base della questione meridionale ci fosse innanzitutto un problema di educazione. E così sorsero con i primi orfanotrofi anche gli asili-laboratori, forme di assistenza diurna sparse in numerose località anche difficilmente raggiungibili.

Nel 1924 gli asili erano già 30, tutti retti da congregazioni religiose femminili e affiancati da un laboratorio dove le ragazzine potevano apprendere il taglio, il cucito, il ricamo e le arti domestiche. Nel 1928 quarantanove asili-laboratori si affiancavano a 18 orfanotrofi, 1 colonia marina e 20 colonie alpine (Patuelli, 1969). Nel 1961 l'Ente contava 55 asili infantili con annesse scuole di lavoro per giovanette frequentati da 5500 bambini e 1100 allieve, 26 orfanotrofi (12 maschili e 14 femminili) con 2150 alunni, 2 colonie montane, 2 case di riposo e 2 scuole magistrali

(Padre Fiorello, 1964). Nel 1969 le istituzioni dell'Opera superavano di gran lunga il centinaio.

Gli architetti di Don Minozzi

A Firenze Don Minozzi, rimasto solo alla guida dell'Opera dopo la morte di Padre Semeria, portò a compimento un'esperienza inserita nel solco della promozione di organismi di tipo sociale del primo Novecento, l'ambizioso piano destinato a dare ospitalità e formazione ai ragazzi, con il sostegno e la collaborazione di famosi architetti come Foschini, Paron e Tassotti.

Arnaldo Foschini (1884-1968), professore ordinario di Disegno Architettonico ed elementi di composizione alla Regia scuola superiore di Architettura di Roma e autore di spicco dell'ambiente romano, progettò il vasto complesso della Casa madre dell'Opera, l'istituto maschile di Amatrice che verrà completato e ampliato da Vittorio Paron secondo il suo piano. Andrea Tassotti, ex alunno dell'Opera e poi allievo e assistente di Foschini, nel 1958 completò la costruzione della Chiesa Superiore dell'Istituto di Amatrice su indicazioni del suo maestro (Tassotti, 1968). Foschini stesso aveva affiancato Paron a don Minozzi per tutte le necessità dell'Opera; anch'egli professore di Disegno Architettonico e già attivo nel panorama nazionale si iscrisse alla fine del 1934 all'Albo degli Architetti del Lazio sotto la presidenza di Marcello Piacentini.

L'incontro di Foschini e Paron con Don Minozzi negli anni '30 fece sì che molti dei progetti realizzati poi nel centro-sud Italia fossero frutto della loro collaborazione. Fra questi l'Orfanotrofio a Palizzi Marina (RC), il primo degli edifici progettati da Paron e costruito negli anni '30, l'asilo infantile a Vallemaio e quello a S. Giorgio Liri, in Figura 2, entrambi vicino a Cassino (FR), progettati alla fine degli anni '40 e inaugurati alla metà degli anni '50, l'asilo infantile a Poggio Bustone (RI) e l'asilo, laboratorio femminile e soggiorno montano a Campotosto (AQ), ancora in Figura 2, progettati negli anni '50 ed entrati in funzione all'inizio degli anni '60.

Fig. 2 – Gli edifici realizzati da Paron a San Giorgio Liri, a sinistra, e a Campotosto, a destra.

Il modello tipologico-funzionale dell'orfanotrofio

A partire dagli anni 20 del Novecento, in un contesto economico e sociale in rapida trasformazione, si assistette in Italia a un complessivo riassetto delle forme di assistenza sociale e sanitaria volto a un generale superamento del modello liberale, in cui aveva prevalso la beneficenza privata di tipo filantropico e religioso, a favore di iniziative pubbliche nel quadro del programma di riforma che lo Stato fascista avviò a partire dal 1923, in particolare per l'infanzia nel settore della cura e della profilassi della tubercolosi.

Il complesso delle iniziative rivolte alla cura e alla educazione dei giovani implicò un aggiornamento dei modelli tipologici e funzionali di riferimento, fino ad allora riconducibili prevalentemente alle abitazioni collettive di più antica tradizione, conventi e collegi, fino alla nascita di nuovi tipi edilizi, come nel caso delle colonie che sostituirono gli ospizi marini. Questo processo di cambiamento coinvolse anche gli orfanotrofi che, avendo per scopo l'educazione e l'istruzione a favore degli adolescenti soli e poveri e ricadendo nel quadro normativo sulle opere pie, restarono perlopiù legati, come enti di beneficienza speciale, all'iniziativa di diversi enti e ordini religiosi. I nuovi obiettivi funzionali, che prevedevano la compresenza di funzioni residenziali, scolastiche, sportive e di formazione, trovarono anche negli orfanotrofi nuovi assetti morfologici distributivi, articolando e fondendo insieme elementi propri del collegio, della scuola, del sanatorio e così via e sperimentando in pieno spirito modernista le disponibilità della tecnica del calcestruzzo armato per la realizzazione di spazi ampi e flessibili a uso collettivo.

Nella pubblicistica tecnica degli anni '30 infatti, l'orfanotrofio non era codificato in termini tipologici, ma sulla base delle esigenze funzionali che univano la residenza collettiva, propria dei convitti e dei collegi, con quella dell'istruzione, in particolare quella di asili e scuole elementari, era possibile riferirlo a precisi e codificati criteri di progetto.

Per quanto riguarda la parte della residenzialità, il Decreto del Ministero della Pubblica Istruzione del 1925 fissò le "norme speciali per la compilazione dei progetti di edifici per convitti" (G.U. n. 276 del 27/11/1925) prevedendo precisi standard dimensionali: per le camerate, una superficie di 6 m^2 circa per bambino, comprensivi di servizi e controllo, e un'altezza da 4 m a 5 m, limitando le camerate a un numero massimo di 30 bambini; per i refettori, in base alla dimensione dei tavoli e alle distanze, una superficie tra 0,9 m^2 e 1,35 m^2 a bambino.

Le aule, sempre sulla base di regolamenti governativi, facevano riferimento a precisi standard dimensionali in funzione del numero di studenti; in relazione al numero di banchi, gli spazi per la didattica potevano variare da 6,40 m a 7 m per quattro file e da 4,8 m a 6,40 m per tre file, con indicazioni prescrittive sulla forma dell'aula, preferibilmente rettangolare, la cui altezza variava tra 4,50 m e 3,50 in base all'altitudine, in funzione delle esigenze di ventilazione e di riscaldamento.

Sulla base dello stesso criterio ambientale variavano i rapporti di illuminazione con un valore medio pari a 1/4 per le finestre al piano terra e 1/6 per quelle dei piani superiori. Per le finestre, anch'esse rettangolari, poste con interasse non superiore a 3 m, erano stabilite anche le tipologie di serramento, con la parte superiore con sportelli a ribalta e le ante inferiori verticali. Finestre di ventilazione, di dimensione 1 m · 0,7 m con davanzale alto, vengono poste a riscontro delle finestre utili all'illuminazione. Le scale, di ampiezza tra 1,30 m e 2,00 m, illuminate direttamente, si sviluppano con rampe di 12 gradini, di altezza 0,16 m e pedata 0,28 m (Cortelletti, 1936*)*. Per gli spazi utili alle attività di formazione libera, come i laboratori, piuttosto che ricreative, come cinema e teatro, era possibile riferirsi alle indicazioni date per i servizi presenti nei collegi e convitti (Melis, 1939), così come per quella parte di servizi necessari alla gestione dell'edificio e dei suoi ospiti quali lavanderie, depositi, locali impianti e servizio medico e di infermeria. A questo organigramma funzionale corrispondevano assetti morfologici e distributivi sia tradizionali, come nel caso dell'edificio monoblocco, che aggiornati ai criteri di razionalità come per quelli in cui l'articolazione volumetrica riportava a un specializzazione funzionale secondo un modello d'uso di tipo prevalentemente orizzontale, in cui giocano un ruolo ordinatore gli spazi di collegamento, fino ad arrivare, nel caso della tipologia a villaggio, a modelli d'uso specializzati per singoli edifici, dove è lo spazio aperto, intercluso o esterno, a modulare le relazioni tra le parti in modo più o meno diretto.

L'orfanotrofio di Antrodoco

La volontà dell'Opera di costruire un grande asilo-laboratorio ad Antrodoco per accogliere "*centinaia di bambini e di giovanette e salvare il paese fisicamente e religiosamente*" (Minozzi, 1964) si concretizzò con l'acquisto del terreno nel 1943. Probabilmente di quegli anni è il progetto dell'architetto Paron per un edificio con un impianto distributivo e volumetrico articolato secondo l'approccio funzionalista, mostrato nelle Figure 3 e 4. Caratterizzato dalla cappella aggettante sostenuta da un unico morbido pilastro e dai sostegni inclinati del balcone e del tetto, è sicuramente uno dei più interessanti della produzione di Paron per l'Opera.

Con una superficie totale di 1860 m^2, si sviluppa su cinque livelli, ospitando al piano terra il cinema-teatro, la mensa alcune aule e una autorimessa, al primo piano laboratori e sale ricreative, la cappella e le aule, ai piani superiori i dormitori.

I lavori iniziarono soltanto nel 1950 e andarono avanti a più riprese, interrotti anche da un'alluvione che minacciò la struttura quasi ultimata e determinò la costruzione di un muro di contenimento sul cortile posteriore a ridosso della montagna. L'edificio fu inaugurato il 10 dicembre 1957 come orfanotrofio ed asilo-laboratorio, ospitando subito 120 bambini e 40 ragazze (Padre Tito, 1964).

Poche sono le modifiche che la struttura ha subito nel corso degli anni; in particolare, nel 1969 venne demolita la piccola autorimessa a nord e al suo posto venne

Fig. 3 – La Casa madre dell'ONPMI: l'istituto femminile di Antrodoco progettato da Paron.

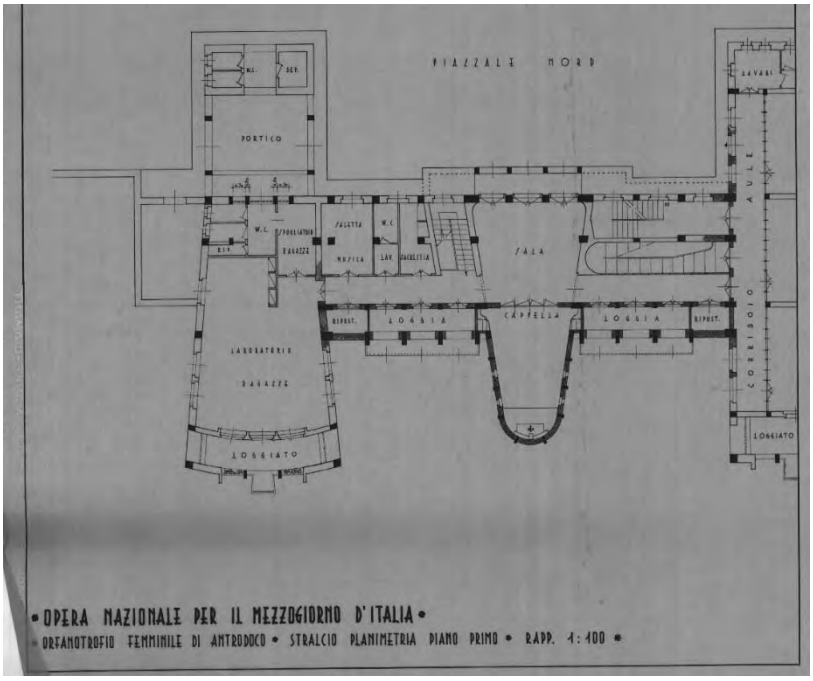


Fig. 4 – Il progetto dell'arch. Vittorio Paron: stralcio della pianta del primo piano (Archivio dell'Opera Nazionale per il Mezzogiorno d'Italia).

costruita l'ala per l'assistenza sociale, un piccolo volume di due piani realizzato con le sovvenzioni private a sostegno dell'ONPMI. Nel prospetto posteriore alcuni oblò vengono trasformati in finestre per illuminare degli ambienti originariamente concepiti come spazi di servizio. Nel 1987 i locali della mensa vennero separati dalla struttura e adibiti a ristorante e si realizzarono vari ambienti di servizio sul fronte posteriore nella parte seminterrata, funzionali alle attività dell'Azienda Sanitaria Locale, mentre al primo piano venne chiuso il piccolo portico che collegava originariamente il blocco dei servizi igienici all'edificio. Dei primi anni 2000 è un tentativo di ristrutturazione che si interruppe dopo la rimozione di gran parte degli infissi.

Una metodologia operativa per il recupero dell'Orfanotrofio

Il riconoscimento del progetto di recupero quale azione progettuale complessa, volta a cogliere i caratteri evolutivi e le logiche trasformative del costruito, implica l'individuazione di strumenti conoscitivi e di criteri decisionali adeguati, oltre che di logiche fondate sul riconoscimento di un concetto di qualità complesso che misuri tutto ciò che definisce l'identità di un oggetto, cioè l'insieme dei suoi attributi essenziali, aprendosi al confronto con un sistema di relazioni più ampio (Di Battista, 2007).

In quest'ottica la metodologia operativa adottata definisce, nella fase della conoscenza per il progetto, un'articolata procedura di analisi critiche che partendo dal dato fisico, indagato in termini di rapporti spazio-dimensionali, di materiali e di apparecchiatura costruttiva, si spinge fino alla lettura e alla interpretazione delle forme, dei processi tipologici e del lessico costruttivo, rintracciando il complesso delle vicende trasformative dell'edificio la cui identificazione è significativa per il riconoscimento del complesso dei valori che esso stesso esprime. La redazione di una "carta dei valori" è il primo momento di interfaccia operativa tra valutazioni critiche della fase analitica e definizione del potenziale di progetto che stabilisce i livelli di trasformabilità e delinea una nuova identità "trasformativa" per l'edificio. A questo segue un secondo momento di interfaccia in grado di definire, in base a una diversa funzione, scelta o ipotizzata, e alla costruzione di un compatibile modello d'uso, anche la nuova identità funzionale del manufatto edilizio. L'identità trasformativa e l'identità funzionale a loro volta suggeriscono gli indirizzi operativi sulla base dei quali si costituisce il *concept* del progetto di recupero e si definiscono gli obiettivi e le connesse strategie di attuazione. Un ultimo momento di interfaccia riguarda il tema progetto e costruzione, vale a dire la traduzione tecnico-operativa degli interventi attraverso la scelta di materiali e sistemi costruttivi secondo una intenzionalità coerente con gli indirizzi operativi e la loro messa a disegno secondo specifiche e mai uguali soluzioni di dettaglio.

L'identità trasformativa e funzionale

L'edificio mostra nel suo assetto planimetrico la sua natura funzionalista rispondente a un preciso programma di progetto in cui alla organizzazione dei percorsi e alla

caratterizzazione dimensionale e spaziale degli ambienti risponde il modello d'uso che definisce e guida il complesso delle attività giornaliere.

Al carattere modernista dell'orfanotrofio corrisponde una natura costruttiva che ricorre al cemento armato, cui affida i forti elementi di caratterizzazione formale e dell'edificio, secondo la prassi, tipica del contesto italiano, di una ibridazione tecnico-costruttiva che riporta alla tradizione muraria. Il sistema intelaiato che caratterizza sia in pianta che in alzato il corpo centrale dell'edificio e i bracci laterali è integrato a un articolato sistema di pannelli murari pesanti che variano la loro tipologia in relazione ai piani, secondo una logica di ottimizzazione costruttiva, da quella in bozze di pietra con ripianamenti a quella in mattoni pieni, e che traducono i diversi codici formali dell'involucro. Tutti gli orizzontamenti sono realizzati con il sistema SEPAL M., un solaio latero cementizio alleggerito che consente la copertura di grandi luci (Schiavi, 1938).

La natura "modernista" dell'edificio, espressione del complesso dei valori architettonici e costruttivi nonché di quelli testimoniali legati alla sua storia (Bardelli, 2007), è assunta come sistema di valoriale rispetto al quale ridefinire una nuova identità, caratterizzata dalla rimozione di tutti gli elementi incongrui che ne hanno modificato la logica spazio-funzionale e delle diverse alterazioni volumetriche che ne hanno mutato i caratteri architettonici, da un potenziale d'uso che si misura con la consistenza del suo assetto originario, da una diversa e rinnovata relazione con il suo contesto insediativo, attraverso la scelta di una destinazione d'uso capace di valorizzare la vocazione turistico della zona in cui è presente un impianto Termale grazie alla presenza di sorgenti di acqua sulfurea.

Il progetto di rifunzionalizzazione prevede la creazione di un albergo e la realizzazione di strutture di supporto e di servizio alle terme, riproponendo un mix di destinazioni d'uso secondo un preciso organigramma funzionale. All'albergo, che occupa la maggior parte della superficie della struttura, con le camere ai piani superiori e i servizi di ricezione al piano terra, si aggiunge un centro benessere, una SPA *salus per acquam*, a servizio dell'albergo e anche delle terme, che occupa il primo piano con una palestra, una sala per i trattamenti termali, due sale massaggi, più spogliatoi e servizi. Lo spazio al piano terra, destinato originariamente a un piccolo teatro, ospita una sala conferenze, a uso dell'albergo e della città.

La nuova identità funzionale è organizzata secondo un layout che rilegge la logica del vecchio edificio, che prevedeva un modello d'uso di tipo orizzontale, e definisce ambiti spazio-funzionali secondo schemi distributivi autonomi, in relazione ad accessi e collegamenti verticali, generandone uno nuovo che accetta diversi e articolati gradi d'integrazione all'interno e all'esterno dell'edificio vero e proprio.

Strategie di progetto

Gli esiti delle analisi e l'individuazione della nuova identità trasformativa e funzionale dell'ex orfanotrofio indirizzano la scelta di una strategia di progetto riconducibile a un'azione di ripristino che si attua attraverso precise modalità operative.

Fig. 5 – Il recupero dell'Orfanotrofio: viste del modello di progetto.

La demolizione di tutte le partizioni interne consente la ridefinizione degli spazi e la rilettura anche della loro matrice costruttiva, predisponendo l'edificio a una naturale compatibilità con le nuove destinazioni d'uso. All'esterno, la rimozione delle superfetazioni e del blocco scala, posto all'estremità, permettono una rilettura degli assetti volumetrici e delle soluzioni formali dell'edificio, come mostrato in Figura 5.

La stessa logica indirizza gli interventi sul sistema costruttivo con interventi congruenti sugli elementi di fabbrica: la realizzazione di una soletta armata collaborante per il miglioramento delle prestazioni dei solai a fronte della rilevata carenza di armature del travetto e della capacità di resistenza del calcestruzzo; il consolidamento delle strutture murarie, in pietra e laterizio, con un sistema di reti e connettori per la realizzazione di intonaci collaboranti che migliorino la loro resistenza, anche a taglio. Per l'intervento di demolizione del tetto si è scelto di riproporre, secondo un criterio di analogia formale, la sola originaria geometria, ricorrendo però all'uso di tecnologie a secco per definire una diversa natura costruttiva che resta non dissimulata, ma esplicitamente esposta attraverso la scelta dell'acciaio corten come materiale di copertura.

I due blocchi aggiunti contenenti i nuovi collegamenti verticali ripropongono, in termini di contrasto con la preesistenza, l'uso del *corten*, confinato però alla sola definizione materico-figurativa dell'involucro, e adottano il criterio dell'analogia costruttiva con il vecchio edificio mediante l'opzione tecnica del calcestruzzo armato. I due nuovi volumi si attestano all'estremità del lato sinistro del fronte principale: quello più basso, riproposto in luogo del preesistente demolito, ne ridefinisce il profilo rispetto alla soluzione di attacco a terra caratterizzato dai volumi più bassi e dall'allungamento del braccio laterale; quello più alto, parzialmente inserito nell'edificio, posto arretrato sul filo facciata, gioca un ruolo di elemento di riequilibrio nella impostazione simmetrica della fabbrica rispetto al prolungamento del braccio laterale destro e di mediazione anche rispetto alla soluzione adottata in copertura.

Conclusioni

Il recupero del patrimonio architettonico del '900 italiano, in particolare rispetto ad alcuni specifici tipologici, sembra indicare una linea di compromesso e di mediazione tra categorie e prassi di progetto consolidate, riferibili alla sola azione restaurativa o al contrario a quella della mera rifunzionalizzazione. Se da una parte appare infatti, prevalente il ricorso a strategie di ripristino, direttamente riferibili alla pratica del restauro, che nello specifico dei modernismi italiani si traduce nel riconoscere valore alla sperimentazione progettuale e tecnica in essa espressa e che quindi implica una riproposta dei valori e caratteri originari della preesistenza, dall'altra la questione del riuso porta alla previsione di contenuti funzionali compatibili in grado di riaggiornare le logiche d'uso di architetture spiccatamente e rigidamente funzionaliste connesse allora a specifici programmi sociali anche di livello nazionale e che ora hanno bisogno di integrarsi con i nuovi processi di *governance* dei singoli contesti di riferimento secondo una dimensione più spiccatamente locale.

Bibliografia

Bardelli P.G., Caldera C. 2007. *Valorizzazione e recupero del patrimonio edilizio in Italia. Commenti e approfondimenti*. Torino: Celid.

Cortelletti R. 1936. *Elementi di composizione degli edifici civili*. II. Milano: Ulrico Hoepli editore.

Di Battista V., Fianchini M. 2007. *Procedure preliminari alla progettazione sul costruito*. Firenze: Alinea.

Melis A. 1939. *Caratteri degli edifici*. Torino: Editrice Libraria Italiana.

Minozzi G. 1964. Notizie storiche dell'opera nostra. Evangelizzare, 12, 359-361.

Padre Fiorello. 1964. L'opera di Padre Semeria e Padre Minozzi. Evangelizzare, 1, 6-8.

Padre Tito. 1964. L'asilo-orfanotrofio "Padre Giovanni Minozzi" Antrodoco (Rieti). Evangelizzare, 3, 85-86.

Patuelli E. 1969. L'opera Nazionale per il Mezzogiorno d'Italia nel cinquantesimo anniversario della fondazione. 15 agosto 1919 - 15 agosto 1969. Evangelizzare, numero speciale, 2-69.

Regio Decreto 1 Settembre 1925, n. 2009 Regolamento per i Convitti Nazionali, G.U. n. 276 del 27-11-1925.
Schiavi C. 1938. RDB Fornaci F.lli Rizzi Donelli Breviglieri & C., Solaio Sapal. Piacenza: Fornaci RDB.
Tassotti D. 1968. Ricordo di Arnaldo Foschini. Evangelizzare, 5, 142-145.

Claudio Mazzanti, Adriana Nora Scaletti Cárdenas

La gestione delle risorse idriche nelle città di Cusco e Lima in epoca coloniale

Abstract
After the conquest of Peru, the Spaniards decided to move the capital city of the Viceroyalty from Cusco to Lima. Until that time Cusco, the capital of the Inca empire, already had a strongly consolidated urban conformation; Lima, instead, a city of new foundation, was preferred above all for its proximity to the port of Callao. Both towns have been characterized by the construction of important structures for the management of the rivers, which have allowed the relevant building development in the following centuries. The aim of the study is to compare the progress of engineering culture in the two great Peruvian cities, in the colonial era; the historical importance of the management of water courses for the creation of public fountains and other utilitarian equipment must be highlighted, verifying above all to what extent this, after the great earthquakes of Cusco in 1650 and of Lima in 1745, conditioned the phases of the reconstruction and made possible the construction of extraordinary architecture.

Introduzione

Sistema urbano, gestione e distribuzione dell'acqua a Cusco

Questo studio confronta i progressi della cultura tecnica nella gestione delle risorse idriche a Cusco e a Lima[1], le principali città del Perù antico e moderno; vengono considerate le importanti opere ingegneristiche realizzate a partire dalle prime fasi del periodo coloniale per la canalizzazione e il superamento dei corsi d'acqua, dando continuità alle esperienze maturate dai popoli precolombiani; tali infrastrutture hanno permesso, fino ad oggi, un rilevante sviluppo urbano di tali località.

Lima, di nuova fondazione, dopo la conquista da parte degli spagnoli nella prima metà del XVI secolo, divenne sede del potere vicereale sostituitosi all'impero incaico, del quale Cusco era stata l'antica capitale; quest'ultima, perciò, aveva già una struttura urbana fortemente consolidata, risultato dei cambiamenti avvenuti soprattutto nel secolo precedente durante il regno di Pachacútec, nono sovrano Inca.

L'assetto di Cusco all'arrivo di Pizarro e delle sue truppe era definito secondo uno schema pressoché ortogonale, indipendente dalla conformazione del suolo; nel caso di forte pendenza, infatti, esistevano percorsi anche molto ripidi, ma con andamento

Fig. 1 – Cusco, la città in rapporto ai fiumi. A sinistra: planimetria al momento della Conquista (disegno CM); a destra: rilievo del 1900 (Biblioteca Nacional Argentina).

rigorosamente rettilineo (Hardoy, 1987). La particolare morfologia del sito rendeva necessaria un'accurata regolamentazione delle acque; l'impianto cittadino veniva infatti fortemente condizionato dalla presenza dei corsi d'acqua, soprattutto i fiumi Chunchulmayo, Saphi - o Huatanay - e Tullumayo, in Figura 1.

La presenza dei fiumi ha continuato a condizionare la città fino all'inizio del XX secolo, come si può verificare nella mappa del 1900, a destra della stessa Figura 1. Tra i corsi d'acqua si estendeva l'antico insediamento incaico, affacciato su un'ampia zona sacra inedificata che, quasi pianeggiante, era delimitata dagli opposti versanti decisamente scoscesi; per le sue eccezionali dimensioni, pari a circa 10 ettari, appariva coerente con la percezione tipica della cultura andina del paesaggio illimitato e del rapporto tra il territorio e la città. La spianata, attraversata dal fiume Saphy, risultava divisa in due zone, entrambe destinate a cerimonie religiose, feste popolari e adunate collettive (Joyce Christie et al., 2016); la porzione a est, contigua all'abitato preispanico, era chiamata Huacaypata; l'altra a ovest, il Cusipata, si estendeva in origine nel mezzo di un vasto pianoro a uso agricolo. L'organizzazione spaziale del sistema urbano prevedeva anche la regolarizzazione dei canali idrici e dei suoli fortemente in pendio, tramite la costruzione di massicci muri di sostegno del terreno per ricavare un insieme di piattaforme gradonate, le *andenes*, tutt'intorno all'area edificata, con scopi agricoli (Angles Vargas, 1983). La struttura precolombiana influenzò il nuovo impianto insediativo spagnolo, predisposto secondo i canoni del Vecchio Mondo tramite strade a scacchiera che definivano isolati pressoché equivalenti tra loro; lentamente l'architettura coloniale iniziò a sovrapporsi a quella incaica, con nuovi palazzi innalzati sulle mura già esistenti, usate come strutture di fondazione. La grande superficie sacra venne frazionata attraverso l'interposizione di nuovi blocchi edilizi ed ebbe così origine un complesso di poli pubblici non lontani tra loro:

l'Huacaypata divenne la Plaza de Armas spagnola, piazza maggiore, edificata su tutti i quattro lati, quasi quadrata: qui le strutture murarie preispaniche, ancora riconoscibili, confermano che il suo perimetro coincide, per la maggior parte, con l'originario impianto risalente a Pachacútec. L'altra porzione, il Cusipata, fu divisa in due piazzali: in quello più lontano dalla piazza maggiore s'insediò il convento di San Francisco, da cui la denominazione della piazza; tra questa e la Plaza de Armas, nella Plaza Regocijo fu innalzato il Cabildo, sede dell'amministrazione pubblica. L'espansione spagnola della città, tra i fiumi Saphy e Chunchulmayo, ebbe inizio verso la seconda metà del XVI secolo, a partire dai terreni agricoli contigui all'antica superficie sacra; Cusco iniziò rapidamente a crescere con l'aggiunta di nuovi isolati, sempre di forma regolare. La possibilità di avere punti di facile approvvigionamento dell'acqua sfruttando la pendenza dei versanti naturali è stata da subito uno dei principali propositi del governo vicereale (Viñuales, 2004): il 31 agosto del 1548, il Cabildo ordinò che l'acqua del fiume Tullumayo fosse portata nel grande spazio libero degli inca, lo Huacaypata, ancora immutato; nel medesimo luogo, lo stesso anno, sul lato opposto al sito dove si stava iniziando a fabbricare la Cattedrale, venne autorizzata anche la costruzione di alcuni isolati, proprio al di sopra del Saphy; i nuovi edifici, dotati di portico sul fronte principale, completavano il perimetro della Plaza de Armas. Il fiume, con la realizzazione di un fossato rettilineo e privo di copertura, era già stato incanalato dall'epoca incaica; in alcune occasioni speciali venivano collocate, tra le due sponde, grandi lastre di pietra monolitiche: strutture provvisorie che unificavano lo spazio urbano, permettendo di scavalcare il corso d'acqua (Cornejo Buroncle, 1960). Le case costruite dagli spagnoli sul Saphi hanno avuto, nel corso dei secoli, diversi problemi di tipo strutturale, in quanto i muri poggiano su grandi archi di scarico così da permettere lo scorrimento sottostante dell'acqua.

I conquistatori s'insediarono nelle zone più centrali e prestigiose della città, così i nativi, gli abitanti originari, dovettero spostarsi in aree lontane dall'antico nucleo aristocratico, nei cosiddetti *barrios de indios*: nuovi agglomerati più umili, sorti attorno ad alcune chiese, come San Cristobal, San Blas e San Pedro. Tali zone sono state sin dalle origini caratterizzate dal problema del ruscellamento negli stretti vicoli rettilinei e in forte pendenza, con il deflusso vorticoso dell'acqua piovana in occasione dei nubifragi tipici della stagione estiva: fenomeno denominato *lloclla* nella lingua quecha degli inca, che in spagnolo diventa *avenidas de agua*[2].

Insieme al problema, ancora attuale, della gestione dei fenomeni meteorici, c'era in passato quello della fornitura idrica, risolto inizialmente tramite fonti d'acqua collettive per usi domestici e per i cantieri edili avviati con la rifondazione della città coloniale. Tradizionalmente, le comunità religiose disponevano di fontane, messe a disposizione anche del vicinato, come uno dei servizi dati dal convento alla comunità parrocchiale; ugualmente c'erano forniture idriche pubbliche, gestite direttamente dal Cabildo, che si trovavano in piazze o in luoghi di facile accesso.

Nel 1567, per la prima volta fu autorizzata la deviazione di un corso d'acqua, una derivazione del Tullumayo, per convogliarlo verso un terreno privato[3] il cui proprietario era Juan de Salas, in quel momento uno dei principali personaggi di Cusco, fiduciario del viceré Francisco de Toledo[4]; per di più doveva trattarsi quasi certamente di un semplice canale d'irrigazione, mentre solo molto più tardi la possibilità di avere una fornitura diretta d'acqua venne concessa anche ad alcune abitazioni private (Gutierrez, 1981). Nel 1571, il viceré Toledo ordinò di convogliare verso Cusco un abbondante corso d'acqua da Chinchero, località distante diversi kilometri dalla città, utilizzando un canale idrico appositamente scavato e realizzando così un'infrastruttura permanente; tale conduttura terminava in Plaza San Francisco, dove venne costruita una *caja de agua*, serbatoio per mezzo del quale avveniva poi la distribuzione, rendendo così possibile un'iniziale fornitura nella città. La corrente proseguiva tramite un ulteriore ramo dell'acquedotto per raggiungere, infine, la Plaza de Armas, dove alimentava un'altra fonte pubblica (Viñuales,2004). Due anni dopo, a Hipocahua cominciò la costruzione di una prima cisterna di maggiori dimensioni, non distante dal centro abitato e profonda undici piedi: sia l'inizio dei lavori, sia l'inaugurazione nel 1583 della relativa infrastruttura a servizio della città, vennero celebrati con solenni festeggiamenti (Esquivel y Navia, 1749). Sempre per volontà del viceré, l'acqua fu convogliata anche da Pitopaccha e, poco dopo, pure da TicaTica, località a pochi kilometri dalla Plaza de Armas (Viñuales, 2004).

Nel 1593, una ulteriore fonte pubblica venne istallata nei pressi del convento di Santo Domingo[5]: il contratto prevedeva la realizzazione di un grande contenitore, fabbricato con pietre, mattoni e calce, verso cui convogliare "le tre acque reali"[6]. Nel 1616 fu inaugurata, in Plaza Regocijo, un'altra fontana con due vasche di pietra e un getto centrale che riceveva acqua dalle sorgenti di Ccantocc e di Parhuayo; circa 80 anni dopo, la fontana fu spostata per costruire la Casa de la Moneda (Elorrieta de Aranzabal, 1956).

Nel 1650 Cusco fu l'epicentro di un violento evento sismico: oltre ai crolli dell'edificato, si ebbero anche notevoli ripercussioni nella distribuzione idrica, sia per i cedimenti dei versanti naturali, sia per i danni a condutture e canali; quattro anni dopo il cataclisma furono imposte varie tasse su abbigliamento, vino, peperoncino e carne al fine di raccogliere i 6.000 pesos necessari per riparare gli impianti. In quel periodo fu molto complicato sfruttare i corsi d'acqua, tanto che si dovettero allestire mulini azionati da energie alternative a quella idrica (Esquivel y Navia, 1749). In pochi decenni, però, la città rinacque, con la produzione di un'architettura barocca maestosa, tra le più importanti dell'America Meridionale; meno noto è, in relazione alla ricostruzione, l'uso di ceramiche smaltate, di solito di colore verde, utilizzate per le tubature. Inizialmente, fossati e canali per la distribuzione dell'acqua erano prevalentemente in pietra; poi, proprio nella seconda metà del XVIII secolo, come riscontrato studiando i documenti d'archivio, nonché grazie agli stessi rinvenimenti in occasione di scavi

Fig. 2 – Cusco, memoria delle antiche fontane: a sinistra, la Pila de Arones; a destra, uomini e animali presso una fonte pubblica (da Gutierrez, 1981).

per interventi di restauro, ad esempio quelli per il collegio di San Bernardo nel 1975, è stato possibile verificare che era ormai comunemente diffuso l'uso delle condutture in terracotta, con superficie interna impermeabile, per far scorrere l'acqua al di sotto delle strade o dei marciapiedi; tali tubature potevano servire strutture e luoghi pubblici, come negli esempi delle immagini in Figura 2, ma perfino alloggi privati[7].

Tuttavia, la gestione dei flussi d'acqua continuò a essere problematica. Una planimetria rinvenuta nel convento della Merced documenta la zona urbana circostante a sud del medesimo insediamento religioso, nel 1737; viene rappresentato anche un vicolo nel quale, a cielo aperto, defluivano gli scarichi fognari dei conventi di San Francesco e Santa Clara, nonché delle abitazioni degli isolati adiacenti: in quel periodo, le acque di scolo erano prosciugate, tanto che nella didascalia corrispondente c'è scritto che "è un grande letamaio con molte buche" (Viñuales, 2004).

Un'altra rappresentazione della fine del XVII secolo, in Figura 3, testimonia, invece, il crollo di un aggregato edilizio nella zona di Cancharani, *barrio de indios* limitrofo alla parrocchia di Santiago, a seguito di straordinari fenomeni meteorici e, pertanto, l'insorgere o l'aggravarsi di seri problemi di tipo idrogeologico. Dopo il lungo periodo di incuria del XIX secolo, nei primi decenni del secolo seguente il sistema urbano iniziò ad essere oggetto di interventi di rigenerazione. La mappa del 1900 in Figura 1, già citata, mostra un preciso rilievo della città, fatto per conoscere il tragitto dei corsi d'acqua. Nel 1920, contestualmente all'approvazione di un piano per il rinnovamento della viabilità, si pensò di programmare anche un intervento sistematico sulla rete idrica sotterranea. Nel decennio seguente iniziarono i preparativi per la commemorazione del IV Centenario della fondazione spagnola di Cusco; tuttavia, soltanto a partire dal 1940 si poterono realmente avviare importanti lavori di urbanizzazione, con la pavimentazione di molte strade all'epoca ancora in terra

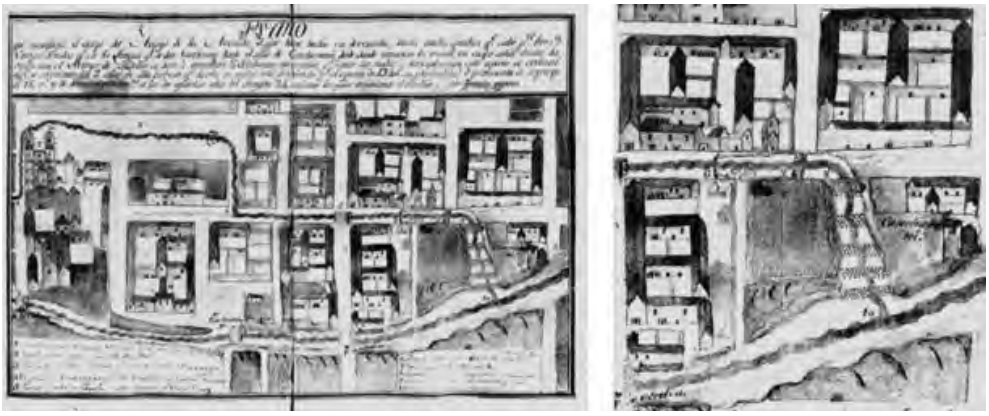


Fig. 3 – Cusco. A sinistra: mappa della zona di Cancharani, alla fine del XVIII secolo; a destra: dettaglio della stessa mappa, con in evidenza la rappresentazione dei crolli in un isolato per dissesto idrogeologico (Archivo Departamental Cusco).

battuta; al contempo, furono incrementati altri servizi funzionali alla residenza, tra i quali l'approvvigionamento idrico, e si procedette a migliorare oltre che, in alcuni casi, a ultimare le opere di canalizzazione e copertura dei fiumi che fino all'inizio del secolo ancora dividevano in più settori il centro storico (Calvo e Huerta, 2013).

Prima dell'altro grande sisma del 1950, lo sviluppo del turismo iniziò ad avere risvolti decisamente positivi sull'economia della città (Villegas 1990); in questo periodo il centro abitato conobbe la maggiore densità abitativa di sempre (Samanez, 2012), tanto che iniziò una forte espansione verso ulteriori zone di urbanizzazione; contemporaneamente, però, aumentò in modo incontrollato anche il fenomeno dell'occupazione degli antichi edifici coloniali, sebbene ancora privi di servizi igienici e del tutto inadatti ad alloggiare tali quantità di abitanti (Azevedo, 1982). In occasione della ricostruzione post-sisma e a seguito dei più recenti progressi tecnici, la distribuzione domestica dell'acqua è diventata di uso comune, tuttavia le fonti pubbliche hanno continuato ancora ad essere utilizzate per vari scopi, anche per servire i mercati all'aperto; oggi invece, con la prevalenza delle attività turistiche e ricettive nel centro della città, conservano quasi solo una funzione ornamentale.

La gestione idrica nella Lima vicereale

La scelta della valle del Rímac come sito per la fondazione spagnola, nel 1535, della città de *Los Reyes*, ovvero Lima, fu dovuta a molteplici fattori, uno dei quali, non l'unico, era la relativa vicinanza al Pacifico, a circa sei kilometri di distanza. La zona che la metropoli occupa attualmente era già popolata in età preispanica, quando esistevano insediamenti anche grandi e importanti, per esempio i complessi di Maranga

o Armatambo, nell'attuale quartiere di Chorrillos. Sull'area dove gli spagnoli pianificarono la fondazione della città dei viceré, presso il fiume Rimac, sorgeva l'insediamento indigeno governato da Taulichusco, il quale controllava due delle dodici prese d'acqua che, fin dall'epoca della cultura Ichma, avevano permesso l'afflusso idrico nei canali che, successivamente, vennero inclusi nel perimetro urbano della capitale del Perù. I più antichi *Libros del Cabildo de Lima*, i registri del Consiglio Comunale indicati nel seguito come LCL, e in particolare i documenti LCL 13-I e LCL 18-I, del 1535, confermano all'epoca della nascita della nuova capitale spagnola l'esistenza di questo sistema di irrigazione e lo enfatizzano come uno dei fattori più importanti per la fondazione proprio in quel luogo (Cogorno, 2015). Gli stessi argomenti vengono riferiti anche da viaggiatori e cronisti dell'epoca oltre che dei secoli successivi, come Cieza de León (1553), Acosta (1590), Cobo (1639), León Portocarrero (1620) e, nel XIX secolo, Raimondi (1826) e Middendorff (1895), tutti ugualmente impressionati dall'abbondanza di risorse idriche per una città fondata, invece, in una zona di natura desertica. È quindi possibile affermare che se gli abitanti preispanici della valle potevano disporre dell'acqua per molteplici usi, ciò fu reso possibile sempre grazie ai loro continui sforzi per modificare le condizioni dell'ambiente[8]; allo stesso modo, si può comprendere come i conquistatori spagnoli, stabilendo la loro nuova sede del potere a Lima, si avvantaggiarono delle esperienze pregresse e cercarono di mantenere un sistema che già dimostrava di poter funzionare.

Tra i canali in attività all'arrivo degli europei, il più importante era quello di Surco, che ancora oggi varca la città, come mostrato in Figura 4, attraversando

Fig. 4 – Lima, il canale di Surco nella zona di San Borja, stato attuale (foto ASC).

i distretti di Ate, Santa Anita, El Agustino, La Molina, Monterrico, San Borja, Miraflores, Barranco, Chorrillos e, infine, la zona paludosa di Villa (Cogorno e Ortiz de Zevallos, 2018); tale corso era quello che, sin da allora, aveva il maggiore volume d'acqua. Un altro grande canale, quello di Ate, si congiungeva a quello di Surco dopo aver bagnato le aree di Monterrico e San Borja. Più piccolo, ma decisivo nella storia urbana di Lima, era il canale Huadca, o Huatica; questo, partendo dalla zona di Atarjea e superando una laguna prossima all'insediamento, attraversava la zona centrale della città di Pizarro, raggiungendo le antiche *huacas*[9] di Huallamarca, nella moderna San Isidro, nonché Pucllana e Santa Cruz, a Miraflores, per poi confluire nell'area di Marbella. Altro elemento idrico di assoluto rilievo è il canale detto La Legua. Da tutti questi corsi d'acqua hanno origine anche ulteriori diramazioni naturali minori, così come alcuni dei più rilevanti fossati scavati dall'uomo. Ai canali deve essere aggiunta la presenza di *puquios* o sorgenti sotterranee. A Lima queste aumentavano la possibilità di poter disporre d'acqua, dato che erano comunemente utilizzate dalla popolazione, così come consentivano la coltivazione di ortaggi e altri prodotti agricoli nelle zone periferiche. Tale contesto viene descritto, ad esempio, dal cronista Fray Antonio de la Calancha (1638), il quale sottolinea che esistevano "*altre sorgenti chiamate puquios, con acque copiose che servono alcuni frutteti e fertilizzano i raccolti ...*"(Calancha, 1638). In tempi recenti si è potuto appurare che la falda acquifera della valle del Rímac, prodotta dalle infiltrazioni nelle aree di montagna nonché da quelle lungo il corso dello stesso fiume, è una delle più grandi della regione, con circa 230 km^2 di acque sotterranee (Adams, 1906). Il complesso sistema di gestione delle risorse idriche che gli spagnoli trovarono al loro arrivo, gestito da specifici settori della società indigena[10], oltre a garantire la fornitura di acqua potabile, per usi igienici e per l'irrigazione dei giardini urbani e rurali, consentì anche la creazione di stabilimenti proto-industriali e officine di vario tipo, necessarie per lo sviluppo della città appena fondata: con l'energia idrica venivano infatti azionati i mulini, le concerie e così via (Cogorno e Ortiz de Zevallos, 2018).

La presenza di canali e pozzi rappresenta anche un valido indicatore per comprendere le fasi di costruzione e occupazione dei lotti negli isolati in cui, sin dall'inizio, venne divisa la città: ad esempio, l'esistenza in passato di un ramo del canale Huatica in corrispondenza dell'attuale via Ancash dimostra come tale strada sia un adattamento alla morfologia naturale del letto del fiume; in questa zona, inoltre, si ha notizia di importanti strutture produttive come il mulino di Santa Clara. Lo stesso accade con il ramo del canale Surco, che riforniva di acqua la zona più elevata del cosiddetto BarriosAltos, un kilometro a est della Plaza Mayor di Lima: la presenza in questa zona della risorsa idrica permise lo sviluppo di un quartiere periferico, il Cercado, destinato alla popolazione indigena. È noto, poi, che gli edifici destinati alla corte vicereale, edificati nei dintorni della Plaza Mayor, poterono

disporre d'acqua solo da quando Pizarro fece realizzare un pozzo e deviare un ramo del Huatica. A partire dal 1535, il sistema idraulico indigeno fu adattato ai concetti urbani d'impronta europea, in funzione delle necessità economiche e dei nuovi usi e costumi della vita quotidiana dei conquistatori.

I cambiamenti nel sistema delle *acequias*, i canali di distribuzione minori, nella città avvennero in vari modi: inizialmente venne regolarizzato l'insieme di corsi d'acqua della fase preispanica, che aveva una gestione particolarmente complessa perché costituito da una fitta trama di fossati tra loro quasi ortogonali, facendoli corrispondere ai tracciati della scacchiera urbana; al modello di utilizzo della risorsa idrica ai soli fini agricoli, vennero aggiunte dagli spagnoli nuove modalità di erogazione, a servizio del centro urbano, che portarono a stabilire tipologie tra loro chiaramente differenziate. La diversificazione dell'uso ha quindi dato origine anche a due distinti sistemi di *acequias*, quelle di natura residenziale e quelle rurali.

Le ordinanze di Cañete e quelle di Toledo del 1577 confermano l'esistenza di questi due sistemi tra loro alternativi (Cogorno, 2015). I materiali preferiti per la costruzione delle *acequias* nelle zone abitate in epoca vicereale erano i mattoni legati con la calce, fabbricati ai margini del centro urbano. Tali *acequias* erano in parte coperte; in alcuni casi venivano perfino incanalate in tubi di terracotta, in particolare quelle situate intorno alla Plaza Mayor: tale importante innovazione è documentata, ad esempio, nel registro LCL 6-VIII-1585, relativo ad alcuni lavori di ristrutturazione di questo importante luogo della città, appunto nel 1585. Già in precedenza, però, erano stati introdotti rilevanti cambiamenti nella gestione della risorsa idrica; ad esempio verso il 1551 fu costruita la prima *caja de agua*,"cassone d'acqua", un serbatoio funzionale per la successiva distribuzione alle *acequias*maggiori e minori, permettendo così la fornitura dell'acqua verso alcune zone della città. La prima di queste "scatole" fu realizzata di fronte all'Ospedale della Caritá, nel luogo in cui si trova oggi il Congresso della Repubblica. Non distante da tale luogo, anni dopo fu sistemata anche la *caja* di Santo Tomás, collegata a un acquedotto, come testimoniato dal LCL 6-XII-1591: ciò permise a gran parte degli abitanti della zona di disporre di acqua potabile, evitando di prelevarla direttamente dal fiume o di acquistarla dagli *aguateros*[11].

Esisteva anche un sistema di fognature: una delle più importanti era di proprietà della famiglia Aliaga, vicino al vecchio ponte dove si trova attualmente il cosiddetto Ponte di Pietra, nell'area della *bocatoma de Lima*, cioè la presa d'acqua maggiore della città, testimoniata dagli LCL 14-I1555 e 9-VIII-1557. Una seconda fognatura fu abilitata nelle immediate vicinanze dell'Eremo di *La Peña de Francia*, dove successivamente fu fondato il monastero di Santa Clara, alla quale seguirono molte altre, tra cui quella dell'Ospedale per indigeni di Santa Ana, come riportato negli LCL 27-IV-1556, 19-VII-1585 e 8-II-1576. Al fine di preservare la pulizia dell'acqua, si diedero indicazioni sulle aree del fiume nelle quali era consentito lavare i panni o

Fig. 5 – Schema urbano di Lima nel 1623, basato sulla mappa intitolata "Padrón de Indios" di Miguel de Contreras, nella Biblioteca Nazionale di Lima (elaborazione ASC).

gettare rifiuti, come ricordato negli LCL 12-VII-1555 e 25-06-1557, principalmente oltre la via del convento di Santo Domingo, in direzione della corrente. I costi di questi servizi e il funzionamento del sistema, in generale, furono sostenuti direttamente dagli abitanti, oltre che dal Consiglio Comunale (Bell, 2016). Alla fine del XVI secolo la città occupava più del doppio dello spazio previsto al momento della fondazione e ospitava 14.262 abitanti (Bromley e Barbagelata, 1955). L'approvvigionamento idrico perciò dovette far fronte a carenze e, soprattutto, necessitava di essere rigorosamente regolamentato. In tale periodo vennero costruiti i *tajamares*, strutture di protezione che dovevano essere rinnovate frequentemente, per le alluvioni stagionali del fiume Rímac, che di solito si verificavano da ottobre ad aprile, il periodo delle piogge nelle Ande (Bell, 2014). Nel XVII secolo furono aggiunte altre condutture pubbliche alle tre sotterranee, istituite nel XVI secolo e tutte provenienti dal serbatoio dell'Ospedale della Carità; alcune erano anche private, come visibile in Figura 5. Per fornire l'acqua pure ai quartieri più lontani, a sud da Plaza Mayor, dove fu realizzata una grande fontana, la rete idrica fu ampliata fino a includere settori come La Merced e Guadalupe, che già da molto tempo avevano bisogno di questo servizio vitale (San Cristóbal, 2005).

I conventi e i monasteri sin dal XVI secolo potevano disporre di collegamenti idrici, esenti da imposte se avessero messo a disposizione del vicinato una fontana di uso pubblico, finanche piccola; dal secolo successivo, proprio a partire dalle citate diramazioni, fu possibile creare nuovi collegamenti privati che resero più

semplice la disponibilità della risorsa idrica, senza dover quotidianamente rifornirsi presso le fonti urbane (Domínguez, 1988). Gabriel Ramón ha anche sottolineato come la stessa disponibilità dell'acqua facesse aumentare il valore di quei lotti, nelle zone urbane, provvisti di connessione alle condutture generali; è possibile, pertanto, riconoscere un'organizzazione sociale dello spazio e un potere economico in funzione di una maggiore qualità della vita (Ramón, 2017). La disponibilità dell'acqua in città fu sempre più necessaria, soprattutto dopo la crescita demografica del Settecento: verso la fine del secolo, nonostante le terribili perdite causate dal grande sisma del 1746, gli abitanti di Lima arrivarono a essere più di 52.000 (San Cristóbal, 2005). Nei primi anni del XIX secolo furono programmate alcune innovazioni nella gestione della rete idraulica, a partire dalle previste riforme borboniche: tra queste, anche se incompiute, il *Paseo de Aguas* nel Rímac e le terme comuni di Piedraliza.

Conclusioni

Con l'Indipendenza, l'organizzazione idrica rimase immutata rispetto alla fase precedente, come mostrato in Figura 6 per Lima; solo all'inizio del XX secolo si assiste a una effettiva modernizzazione degli impianti nelle città peruviane.

La capitale oggi conta dieci milioni di abitanti; pertanto, la gestione della risorsa idrica ha qui raggiunto livelli di complessità inimmaginabili all'epoca della fondazione.

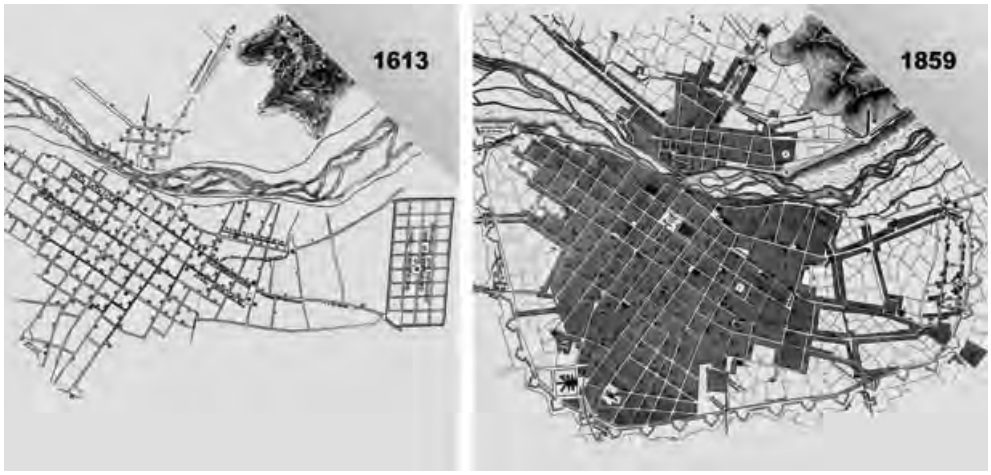


Fig. 6 – Sviluppo urbano e rete idrica di Lima. A sinistra: inizio XVII secolo; a destra: metà XIX secolo (elaborazione ASC).

Bibliografia

Adams J. 1906. Geología y aguas subterráneas de la Provincia Constitucional del Callao. Boletín del Cuerpo de Ingenieros de Minas del Perú. 33, 40-58.

Angles Vargas V. 1983. *Historia del Cusco. Cusco Colonial*. II (I). Lima: Industrialgrafica.

Azevedo P. 1982. *Cusco ciudad histórica: continuidad y cambio*. Lima: Peisa.

Bell M. 2014. *Agua y Poder Colonial: Ciclos, Flujos y Procesiones en el Manejo Hidráulico Urbano en Lima durante el Siglo XVII*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Instituto Riva-Agüero.

Bell M. 2016. Delimitar y gobernar las aguas de Lima: relaciones urbano-rurales y rivalidades administrativas en Lima colonial. Histórica, 40(1), 7-33.

Bromley J., Barbagelata J. 1955. Esquema del desarrollo histórico del Municipio de Lima. Boletín Municipal de Lima, 1612, 45-55.

Calancha A. 1638. *Chronica moralizada de la Orden de San Agustín en el Perú con sucesos ejemplares en esta Monarquía*. II. Barcellona: Pedro Lacavalleria (Rist. 1974-1981. *Estudio crítico*, a cura di Prado Pastor I. Lima: Universidad Nacional).

Calvo R., Huerta R. (a cura di). 2013. *El centro histórico del Cusco, consideraciones para la Renovación de su Gestión*. Cusco: Ministerio de Cultura.

Cogorno G. 2015. *Agua e hidráulica urbana de Lima espacio y gobierno, 1535-1596*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Instituto Riva-Agüero.

Cogorno G., Ortiz de Zevallos P. 2018. *La Lima que encontró Pizarro*. Lima: Taurus.

Cornejo Buroncle J. 1960. *Derroteros de Arte Cusqueño*. Cusco: Garcilaso.

Domínguez N. 1988. Aguas y legislación en los valles de Lima: el repartimiento de 1617. Boletín del Instituto Riva-Agüero, Lima, 15, 119-154.

Elorrieta de Aranzabal G. 1956. *Datos históricos, leyendas y tradiciones del Cuzco.* II. Cuzco: Garcilaso.

Esquivel y Navia D. 1749. *Noticias Cronológicas de la Gran Ciudad del Cuzco* (Rist. a cura di Denegri F., 1974). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Gutierrez R. et al. 1981. *La casa cusqueña*. Resistencia: Departamento de Historia de la Arquitectura, Universidad Nacional del Nordeste.

Hardoy J. 1987. El proceso de urbanización entre las culturas precolombinas.In:*De Teotihuacán a Brasilia: estudios de historia urbana iberoamericana y filipina*(a cura di Alomar G., Geisse G.). Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.

Joyce Christie J., Bogdanovic J., Guzmán E. 2016. *Political landscapes of capital cities*. Boulder: University Press of Colorado.

Ramón G. 2017. Autoridades subalternas y proyecto bornónico (1746-1821): el plano de las aguas urbanas de Lima. In: *El ocaso del antiguo régimen en los imperios ibéricos* (a cura di O'Phelan S. e Rodríguez M.). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Samanez R. 2012. El terremoto que afecto al Cusco en 1950 y los aportes de George A. Kubler. Arkinka, 16 (204), 91-95.

San Cristóbal A. 2005. *Obras civiles en Lima durante el siglo XVII*. Lima: Universidad Nacional, Facultad de Ingeniería.

Villegas A. 1990. *Centro historico de Cusco, rehabilitación urbana y vivienda*. Cusco: Editorial Universitaria UNSAAC.

Viñuales G. 2004. *El espacio urbano en el Cusco colonial: uso y organización de las estructuras simbólicas*. Lima: Cedodal.

Note

1. Lo studio relativo a Cusco è stato sviluppato da C. Mazzanti, mentre l'analisi del sistema idrico e della distribuzione dell'acqua a Lima è a cura di A. Scaletti Cárdenas.
2. Ad esempio, nella zona di San Pedro, l'antica calle Lloclla, dall'originario nome del fenomeno in questa parte della città da sempre problematico, viene in tempi più recenti comunemente chiamata calle Avenida.
3. Archivo Diocesano de Cusco: *Beneficencia* n. 8. fs.180. *Presentación de Salas en 1573*.
4. Juan de Salas y Valdez fu tra i primi personaggi di rilievo arrivati a Cusco, della quale fu Alcalde tra il 1571 e il 1572; promosse la costruzione di alcune delle architetture più antiche e prestigiose della città, soprattutto la Casa de los Cuatro Bustos.
5. *Relaciones de los Virreyes y Audiencias que han gobernado el Perú*,t. I: *Memoriales y Ordenanzas de Don Francisco de Toledo*, Imp. del Estado, Lima 1867.
6. Archivo Convento de Santo Domingo, Libro 6. fs. 445. *Poder del convento de Santo Domingo a fray Francisco Balcázar*, 11-9-1593.
7. Archivo Monasterio de Santa Clara, *Libro de gastos*, 1791-1793.
8. Si ha notizia in epoca inca di circa 23.000 ettari di terreno agricolo coltivato nella valle.
9. La parola *huaca* è il nome dato in lingua quechua ai grandi templi precedenti alla Conquista. Gli spagnoli adottarono tale termine per riferirsi in modo generico a qualsiasi opera architettonica non cristiana con caratteristiche accomunabili ad opere dell'antichità, spesso sotto forma di piramidi o piattaforme monumentali, indipendentemente dalla cultura preispanica alla quale era collegata o dal momento storico in cui fu costruita.
10. *Yacucamayocs* o "specialisti in materia di acque": questi agenti dei *curacas*, o capi indigeni locali, erano anche responsabili di una complessa gerarchia di autorità minori, spesso anche con vincoli di parentela.
11. Così erano denominati coloro che provvedevano a vendere l'acqua direttamente lungo le strade, contenuta in grossi vasi trasportati sulle proprie spalle o portati dai muli.

Federica Ribera, Pasquale Cucco

Linee ferrate dismesse. La ferrovia del Vallo di Diano Sicignano degli Alburni-Lagonegro

Abstract
The Italian railways have always supported the development of the country, by starting from 1839 with the construction of the first railway line Napoli-Portici, an expression of the different technological-industrial eras succeeded over time. Their life cycle has been influenced by numerous and often uncertain factors: new markets, plant development, the social and economic context and changing social scenarios. From the post-war period onwards, a number of segments of railway lines, in particular the most obsolete and far from the main centres, have been made inactive and gradually abandoned. This phenomenon has freed from the original function a huge heritage, consisting of small stations, gates, warehouses and railway platforms and bridges, often located in rural areas of high scenic value or close to archaeological sites. This contribution reports some results of research aimed at reconstructing the historical-technological evolution of the Sicignano degli Alburni-Lagonegro railway line, whose first projects were drawn up in the second half of the 19th century. Completed in 1892 and closed in 1987 to allow the electrification of the Battipaglia-Potenza line, the railway was no longer re-activated although officially not suppressed. Through the documentary analysis, historical images, on-site surveys and graphic representations, it is possible to appreciate a railway line which, in a century of innovations and revolutions, represented an antidote to the isolation of towns and communities in Campania hinterland, waiting to be recovered and revitalized. The recovery of this ancient heritage makes possible to fight waste and reuse resources. In particular, its intelligent reconversion still allows to know the history of the ancient lines, as well as the first technological intuitions and new architectural choices, by giving back the original value to both territories and communities.

Introduzione
Nel 1861 le strade ferrate appartenenti al neonato Stato italiano (la prima rete infrastrutturale risaliva al 1839 con la realizzazione della linea ferroviaria NapoliPortici a opera dell'impresa francese Bayard) contavano poche migliaia di kilometri, a differenza delle decine di migliaia della Francia, della Germania e dell'Inghilterra (Gamboni, 2014). Con uno straordinario sforzo economico, sostenuto da un lungimirante

impegno politico e sociale, in pochi anni il sistema ferroviario italiano superò i diecimila kilometri, collegando le zone più lontane della penisola e oltrepassando le tante diversità territoriali e geografiche. Tale piano di ammodernamento infrastrutturale ha certamente accompagnato il processo di reale unificazione sociale ed economica del paese per raggiungere il più vasto obiettivo della formazione di un imponente programma di rinnovamento nazionale (De Majo, 2006).

Agli inizi del Novecento la rete ferroviaria italiana era quasi completata e le stazioni, spesso caratterizzate da un'architettura frutto di sperimentazioni stilistiche e tecnologiche, divennero ben presto i nuovi centri aggreganti di interi paesi e piccoli borghi. Le strade ferrate divennero così fertile terreno di confronto tra i sostenitori delle innovazioni della tecnica, i conservatori dello *statu quo*, i progettisti e le comunità urbane o rurali, sicuramente segnate dalla presenza dei percorsi ferroviari. Tuttavia, già a partire dagli anni Quaranta, lo sviluppo dell'industria dei trasporti ha portato alla dismissione di numerosi segmenti di tracciati ormai obsoleti, condannando all'abbandono un ricco patrimonio, fatto di sedimi che si snodano sul territorio e collegano città, borghi e villaggi, di opere d'architettura e di ingegneria quali ponti, viadotti, gallerie e passerelle, di stazioni e di caselli spesso collocati in posizioni strategiche e di impatto naturalistico, in colline o sulle coste.

Nel 1991 Ferrovie dello Stato S.p.A ha costituito la società Metropolis S.p.A., oggi Ferservizi, per la gestione, la valorizzazione e la dismissione dei beni non più strategici per l'esercizio ferroviario. Nel 2001 è nato il progetto "Ferrovie abbandonate" su iniziativa dell'Associazione Italiana Greenways, con l'obiettivo di richiamare l'attenzione di studiosi, tecnici e collettività sul valore di memoria storica dei tracciati ferroviari italiani non più utilizzati (Oppido, 2014).

I dati forniti dal Gruppo Ferrovie dello Stato, in occasione della *V European Greenways Conference* tenutasi a Madrid nel 2010, hanno stimato 1900 km di linee ferroviarie dismesse, corrispondenti al 19% dell'intera rete ferroviaria e quasi 2000 stazioni abbandonate, dati destinati certamente ad aumentare [1].

Si tratta di un patrimonio da conoscere, tutelare e salvaguardare nella sua complessità, attribuendogli, quando possibile, nuovi usi o creando inediti scenari che consentano la riscoperta e la valorizzazione di interi territori, luoghi e tradizioni, così da contribuire a conservarne la memoria e a promuovere la valorizzazione.

La situazione attuale in Campania

In Campania ci sono circa 500 km di strade ferrate dismesse che attraversano il territorio, come mostrato in Tabella 1. La linea Torre Annunziata-Gragnano, seconda ferrovia d'Italia in ordine temporale, dal 2010 è stata chiusa e i centri abitati sono stati collegati da mezzi su gomma. Il primo tronco da Torre Annunziata a Castellammare faceva parte del prolungamento della prima linea ferroviaria italiana, la Napoli-Portici. Già nel 1836 la società francese Bayard propose al Re Ferdinando

Tab.1 - Le linee ferroviarie abbandonate in Campania (ferrovieabbandonate.it).

Linea	*Lunghezza /Km)*	*Chiusura*
Ascea - S. Mauro la Bruca	13,90	n.d.
Atena (FCL) - Marsico Nuovo	26,76	1966
Bosco Redole - Benevento	66,32	2013
Cancello - Torre Annunziata Centrale	30,92	2005
Castellammare di Stabia - Gragnano	4,74	2010
Codola - Sarno	7,77	2012
Napoli Piazza Carlo III - Biforcazione - Capua	43,14	1943-1976
Ponte Casalduni - Benevento	15,50	1997
Pugliano - Stazione Inferiore Funicolare Vesuviana	7,64	1953-1955
Rocchetta S. Antonio Lacedonia - Avellino	118,72	2010
S. Angelo in Formis (vecchia) - Caiazzo - Villa Ortensia (vecchia)	19,27	1943
Sicignano degli Alburni - Atena (FS) - Lagonegro	78, 247	1987
Sparanise - Sessa Superiore - Minturno Scauri - Formia - Gaeta	59,168	1932-1966
Telese Cerreto - Telese Bagni	1,571	1960

II la costruzione di una linea ferrata da Napoli a Nocera con diramazione da Torre Annunziata per Castellammare; nel 1838 iniziarono i lavori della linea e il 3 ottobre 1839 venne inaugurato il tratto tra Napoli e la stazione del Granatello a Portici. L'anno successivo la ferrovia, a doppio binario, arrivò a Torre del Greco (Gamboni e Neri, 1987). Nel 1885 venne inaugurato il secondo tratto, fra Castellammare e Gragnano, poi a seguito della riduzione del servizio e della limitazione delle corse, soprattutto dopo il terremoto del 1980, la stazione di Gragnano venne disabilitata e impresenziata. Dal 2010, la linea ha perso la tratta Castellammare-Gragnano a causa dei tagli imposti dal governo regionale al trasporto locale che hanno determinato la sospensione di tale centenaria tratta a binario unico di lunghezza 4,7 km.

La ferrovia Avellino-Rocchetta Sant'Antonio, ufficialmente sospesa da dicembre 2010, ha consentito a tanti paesi dell'alta Irpinia di uscire dall'isolamento cui erano stati condannati, collegandoli al capoluogo (Pane, 2008). Tuttavia, negli anni Novanta la vetustà degli armamenti, il disinteresse dei comuni attraversati e degli enti provinciali e regionali, nonché la mancanza di ogni integrazione con altri mezzi di trasporto e l'irraggiungibilità di molte stazioni furono le principali cause che ne sancirono la definitiva chiusura. Notevoli sono le opere ingegneristiche presenti lungo la linea: 17 gallerie, 58 ponti principali di cui 26 a travata metallica e gli altri con arcate in muratura, 390 manufatti con luce inferiore a 10 metri, 42 kilometri di dighe di difesa, 40 kilometri circa di fognature per raccogliere acque sotterranee. Oltre ai

due capolinea di Avellino e Ponte Santa Venere, la linea poteva inizialmente contare su 20 stazioni e 6 fermate (Pane, 2008).

Chiusa nel 1987 per consentire l'elettrificazione della linea Battipaglia - Potenza, la ferrovia Sicignano degli Alburni-Lagonegro non è stata mai riattivata sebbene ufficialmente non risulti ancora soppressa (Maggiorotti, 2019). Il percorso partiva dalla stazione di Sicignano degli Alburni, lungo il tratto Sicignano-Buccino della linea Battipaglia-Potenza e si svolgeva prevalentemente in provincia di Salerno, sconfinando in Basilicata soltanto con il suo capolinea estremo, Lagonegro.

La ferrovia del Vallo di Diano

Della ferrovia per il Vallo di Diano si iniziò a discutere già nella seconda metà dell'Ottocento quando furono realizzati i primi progetti per un collegamento fra la Campania, la Basilicata e il resto del Sud Italia. Nel 1862, mentre si realizzavano i lavori per la tratta Battipaglia-Eboli, si dibatteva sulla prosecuzione della ferrovia verso Potenza. Nel 1865 venne proposto il progetto della tratta Eboli-Potenza, poi realizzata integralmente nel 1880.A seguito di tale opera, divenne prioritario realizzare una dorsale interna che collegasse Campania e Calabria attraverso le vallate esistenti. Fu realizzata la tratta che, partendo dalla stazione di Sicignano, con un percorso non troppo tortuoso, conduceva nel Vallo di Diano, proseguendo per Lagonegro fino a Castrocucco per poi congiungersi con la linea tirrenica, come mostrato in Figura 1.

Il 30 dicembre del 1886 venne completato il primo tronco fra Sicignano degli Alburni e Sala Consilina, gestito dalla Rete Mediterranea. Nel 1887 il treno giunse alla stazione di Sassano-Teggiano; un ulteriore tronco fino a Casalbuono venne inaugurato il 3 novembre 1888 mentre solo il 16 maggio 1892 la linea arrivò a Lagonegro. Qui i lavori si interruppero, soprattutto a causa di alcune difficoltà incontrate per la natura franosa dei territori che il tracciato avrebbe dovuto attraversare.

Nel 1892 la linea venne inaugurata interamente. Lunga poco più di 78 km, contava originariamente sulle seguenti stazioni: Galdo, Petina, Auletta, Pertosa, Polla – relative al tratto Sicignano-Polla mostrato in Figura 2 – Atena, Sala Consilina, Sassano-Teggiano, Padula, Montesano-Buonabitacolo, Casalbuono, Lagonegro.

Nel 1905 la gestione passò dalla Rete Mediterranea alle Ferrovie dello Stato (Maggiorotti, 2019).

A conclusione dei lavori la linea risultava quindi composta da 11 stazioni, 25 gallerie (per un totale di 10872,17 m), 5 viadotti (per un totale di 705 m), 31 ponti, tutti in pietra lavorata e archi in mattoni o pietra squadrata (per un totale di 542,5 m) e 7 ponti in ferro (per un totale di 226 m). Alla fine degli anni Settanta il servizio venne interrotto tra Casalbuono e Lagonegro, a causa di alcune frane verificatesi nella zona di Casaletto che resero necessari lavori di consolidamento di alcune gallerie e l'abbattimento del casello di Casaletto, che fu sostituito da un semplice marciapiede con

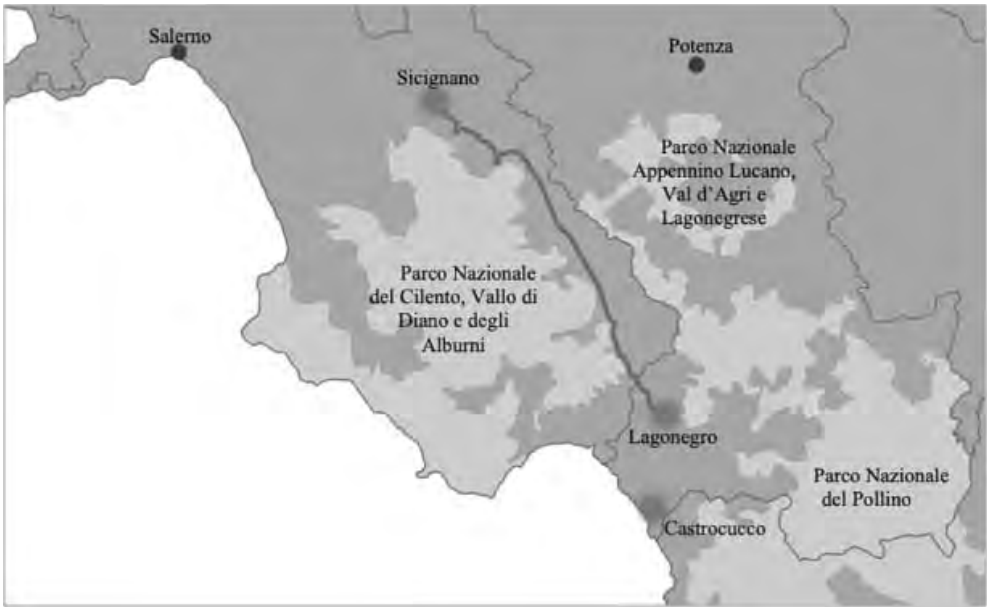


Fig. 1 – Individuazione del tratto Sicignano degli Alburni – Lagonegro.

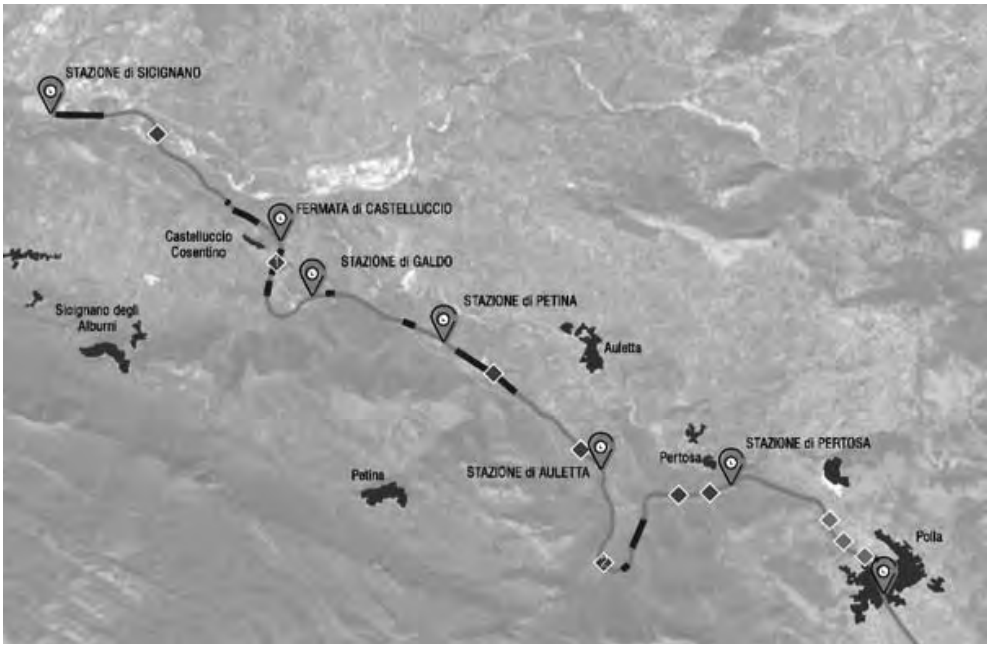


Fig. 2 – Individuazione delle stazioni, delle gallerie ( ), dei ponti in muratura ( ) e in ferro ( ) lungo il tratto Sicignano-Polla.

una pensilina. Il servizio fu ripristinato nel 1981; dal 1980 i convogli da Lagonegro non sostarono più a Sicignano.

Nel 1986 la tratta Battipaglia-Potenza venne chiusa per consentirne l'elettrificazione. Fino al settembre dello stesso anno la linea per Lagonegro continuò a funzionare regolarmente, poi iniziarono a entrare in funzione i primi servizi automobilistici sostitutivi. Nel marzo del 1987 anche la Sicignano-Lagonegro venne chiusa al traffico viaggiatori e sostituita da mezzi su gomma. Nel 1994 la linea per Potenza, completati i lavori di ammodernamento, venne riaperta al pubblico mentre quella per Lagonegro rimase chiusa e completamente isolata dal resto della rete; non sono mai stati effettuati lavori di ripristino eppure la linea aveva una buona frequentazione attraversando centri importanti come Polla e Sala Consilina, nonché aree a discreta vocazione turistica come Pertosa e Padula.

Attualmente, l'incuria domina tutti i luoghi ferroviari, con una rigogliosa vegetazione in grado di avviluppare edifici, binari, marciapiedi e ogni altra costruzione. Nonostante i diversi finanziamenti approvati per il recupero delle linee dismesse, le affascinanti proposte come la ferrovia turistica o l'eventualità di una gestione privata in caso di liberalizzazione del trasporto regionale non sono state mai prese seriamente in considerazione (Sica, 1985).

Con i suoi scorci paesaggistici, i ponti sul fiume Tanagro che più volte interseca la linea e le grandi potenzialità territoriali, il paesaggio offre intrinseche soluzioni per il recupero, attraverso la realizzazione delle cosiddette infrastrutture verdi e blu, per far uscire dall'isolamento una vasta area di oltre 200.000 abitanti (Rovelli et al., 2004).

Il rilievo plano-altimetrico della linea

Il rilievo plano-altimetrico della linea, redatto a cura della "Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo" nel marzo del 1898, rappresenta un documento inedito che non risulta presente in nessuno degli archivi della rete RFI, e di grande utilità nella comprensione del tratto ferroviario Sicignano-Lagonegro (Società Italiana per le Strade Ferrate del Mediterraneo, 1898). Disegnato a mano con una perizia quasi scomparsa, è uno dei pochi documenti che consente di analizzare la linea nella sua interezza.

Il rilievo, data la sua lunghezza, è diviso in due tratti, il primo da Sicignano a Casalbuono di 64 km, il secondo da Casalbuono a Lagonegro di 14 km. Al suo interno sono riportate la planimetria in scala 1:10000, i profili altimetrici in scala 1:10000 per le distanze e 1:500 per le altezze, e ancora le sezioni trasversali in scala 1:100. Oltre all'elaborazione grafica sono contenute anche informazioni di carattere tecnico, del tipo di quelle mostrate in Figura 3. In particolare, in alto è possibile conoscere la provincia e il comune di appartenenza, a seguire la planimetria dotata di curve di livello quotate e di raggi di curvatura della strada ferrata, nella quale sono riportati ponti e gallerie e sono evidenziate lungo il tracciato le aree di sterro (in giallo) e di

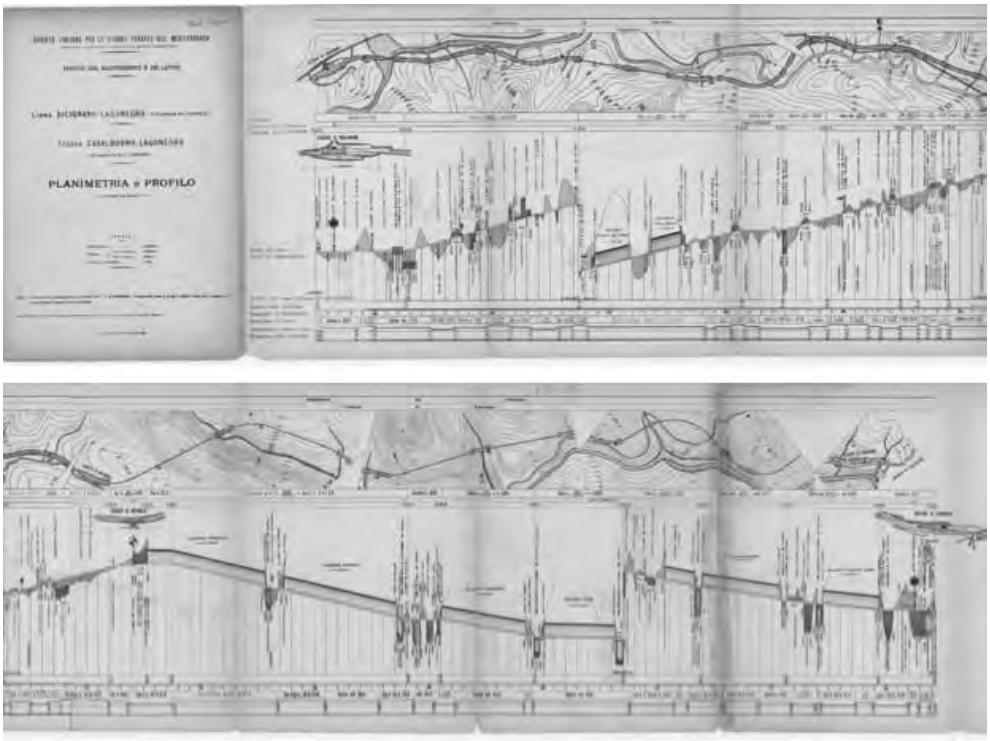


Fig. 3 – Planimetria e profili altimetrici della linea Sicignano - Lagonegro (da Società Italiana per le strade ferrate del Mediterraneo, 1898).

riporto (in arancione), ossia le parti di terreno eliminate o aggiunte per livellare il piano sul quale posare i binari.

Al di sotto della planimetria sono riportate la distanza tra due stazioni consecutive, nonché le pendenze e l'identificazione delle livellette, ossia i tratti di ferrovia a pendenza costante, di cui alcuni particolari sono visibili in Figura 4.

Più in basso è possibile apprezzare il profilo altimetrico, che evidenzia l'andamento del terreno e quello del piano del ferro dove sono rappresentate tutte le opere di ingegneria ferroviaria e civili lungo la linea, ad esempio ponti e passerelle, gallerie, sottopassaggi, muri di sostegno, caselli ferroviari, passaggi a livello e semafori.

Alla fine, è riportato il registro del profilo, contenente quote, distanze progressive e parziali e altre informazioni riguardanti la linea.

Questo rilievo plano-altimetrico ha consentito, inoltre, di verificare la corrispondenza esistente tra lo stato di fatto e di progetto per quelle parti che sono risultate accessibili durante i sopralluoghi eseguiti in fase di ricerca. In particolare, dalle indagini in sito si evince che i ponti più rilevanti lungo la linea sono tuttora presenti e rispettano gli originari rilievi e progetti.

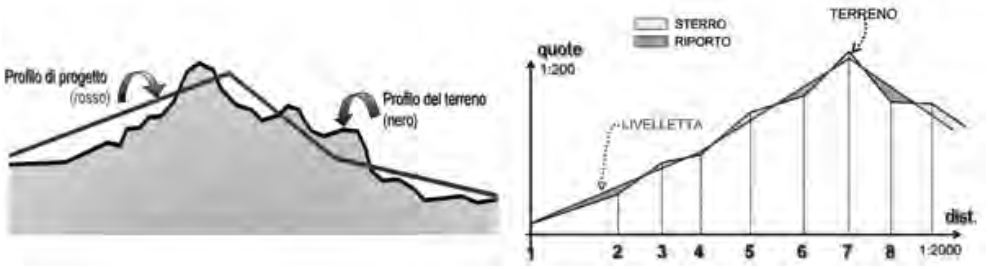


Fig. 4 – Profilo di progetto e profilo del terreno (a sinistra); sterro, riporto e livellette (a destra).

La situazione attuale

Il rilievo ha permesso di seguire la linea dalla stazione di Sicignano lungo il tratto per Potenza in direzione Buccino. Da qui il binario, con un'ampia curva, attraversa il fiume Tanagro attraverso un viadotto in muratura a tre arcate, in Figura 5, per portarsi sulla sponda opposta dove, dopo due gallerie, giungeva alla fermata isolata di Castelluccio.

Seguono altre tre brevi gallerie e la linea si porta parallela alla strada statale 19, dove era ubicata la stazione di Galdo, per proseguire poi attraverso altre due gallerie a raggiungere la stazione di Petina, anch'essa isolata e lontana dal paese. Poco dopo giunge alla stazione di Auletta. Il Viadotto sul torrente Calcina tra Galdo e Castelluccio, in Figura 6, a tre ordini di archi di altezza pari a 56,50 m e a dieci ordini di archi di lunghezza pari a 124 m rappresenta un vero e proprio gioiello di ingegneria e architettura.

Attraverso altre due gallerie e un altro viadotto in muratura a sei arcate oltre il quale si giunge all'area sovrastante le Grotte di Pertosa, è possibile raggiungere la stazione di Pertosa.

Superata quest'ultima, la ferrovia supera il fiume Tanagro attraverso tre ponti metallici, in Figura 7, prima di giungere alla stazione di Polla.

Fig. 5 – Viadotto in muratura su due ordini tra le stazioni di Castelluccio e Galdo.

Fig. 6 – Viadotto in muratura a tre ordini sul torrente Calcina.

Fig. 7 – Ponti in ferro sul fiume Tanagro (lestradeferrate.it).

Da qui la linea prosegue in maniera abbastanza rettilinea costeggiando la statale e raggiungendo le stazioni di Atena Lucana, Sala Consilina, Sassano-Teggiano, Padula e Montesano-Buonabitacolo, da dove ricomincia ad affrontare alcune asperità. Dopo altre quattro brevi gallerie la ferrovia tocca la stazione di Casalbuono e continua con un ponte metallico sul fiume Calore e altre due gallerie, prima di arrivare alla fermata di Casaletto-Battaglia, nel punto più alto della linea a 650 m di altitudine.

Dopo circa un kilometro, la ferrovia entra in Basilicata attraversando la galleria della Pertusata, per proseguire su un viadotto in muratura a 3 arcate prima di entrare nella galleria Zanco, in Figura 8.

Seguono poi in rapida successione un viadotto in muratura a 4 arcate, una breve galleria, un piccolo viadotto in muratura a una arcata e altre due gallerie di media lunghezza prima che la linea giunga al suo capolinea alla stazione di Lagonegro.

Le potenzialità del percorso del Vallo di Diano sono molteplici e investono diversi aspetti, da quello sociale a quello tecnologico, da quello economico a quello urba-

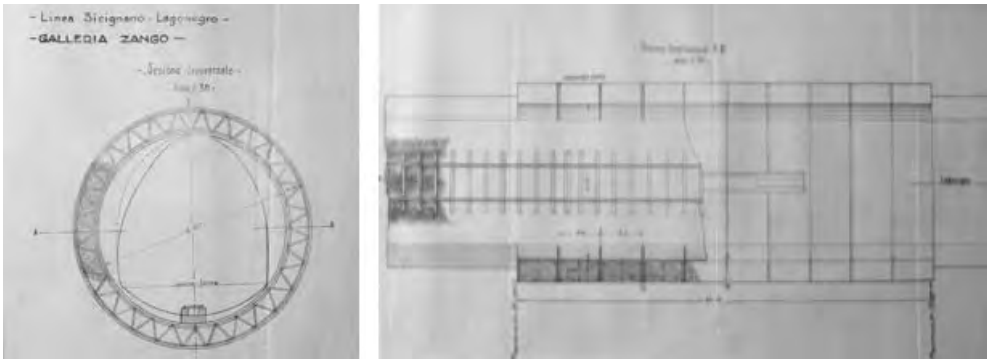


Fig. 8 – Galleria Zanco al kilometro 75. Rilievi del 1939 (Archivio RFI Stazione Campi Flegrei).

nistico, offrendo la possibilità di nuove sperimentazioni e di ridisegno del territorio in contesti europei di standard sostenibili.

Infatti, "*del completamento della linea Sicignano-Castrocucco si sarebbe avvantaggiato, oltre tutto, l'intero sistema di comunicazioni ferroviarie del versante tirrenico verso la Sicilia. […] Numerose sono state, in questo secolo, le iniziative intraprese, tra cui quella della Comunità Montana del Lagonegrese che, in un convegno tenutosi nel novembre 1976 a Lagonegro sul tema "Trasporti su strada ferrata interessanti le aree interne dell'Italia Meridionale", non solo ha riproposto la costruzione del tronco Lagonegro-Praia a Mare (poco più a sud di Castrocucco) ma ha inserito tale proposta nel più ampio progetto di un asse ferroviario Praia a Mare - Foggia; anche quel convegno non ha prodotto alcun risultato di rilievo.*" (Sica, 1985).

Conclusioni

Il tema del riuso delle linee ferroviarie dismesse è di grande attualità, in considerazione del ricco patrimonio che punteggia il territorio italiano, con opere di ingegneria ferroviaria del XIX e del XX secolo che spesso versano in condizioni di abbandono e degrado. Lungo il percorso Sicignano-Lagonegro sono disseminati numerosi ponti in muratura, ponti e viadotti in ferro o in sistema misto che traducono un'intensa pratica architettonica e ingegneristica, testimonianza di una costruzione tradizionale da tutelare e valorizzare, evitando di cancellare definitivamente l'integrità tecnologica di un tracciato e dei suoi valori storici.

In ambito internazionale è ormai consolidato il dibattito scientifico e culturale in relazione al tema della rifunzionalizzazione delle infrastrutture esistenti con virtuose strategie per la valorizzazione del territorio e delle sue individualità architettoniche (Ahern, 1995; Ryan et al., 2001). La possibilità di convertire i tracciati ferroviari non

più attivi in *greenways* rappresenta una delle soluzioni di riconversione più immediate, che già in altri contesti ha dato vita a reti di percorsi verdi diffusi, promuovendo la conoscenza dei luoghi e un turismo più ecosostenibile.

La ricerca storica e di archivio ha consentito di ritrovare alcuni documenti inediti, come progetti e rilievi dei primi anni del Novecento e il prezioso profilo plano-altimetrico datato 1898. Tale materiale ha consentito di condurre un'analisi approfondita della linea, nonostante i rilievi in situ siano stati limitati o impossibili.

Gli studi di fattibilità finalizzati a valutare la possibilità di ripristino della linea, commissionati dalla Regione Campania nel 2006 e da RFI nel 2013, hanno garantito la non praticabilità della riattivazione del tratto ferroviario, a causa dei costi troppi elevati per la ristrutturazione e la gestione del percorso. L'alto valore naturalistico e paesaggistico del contesto, a est il Parco Nazionale del Cilento, Vallo di Diano e degli Alburni e a ovest il Parco Nazionale dell'Appennino Lucano, Val d'Agri e Lagonegrese, suggerisce di ipotizzare la riconversione della strada ferrata in *greenway* ciclopedonale, con il risanamento dei tratti in cui sono ancora presenti interessanti opere di ingegneria ferroviaria dei secoli scorsi.

Il riuso degli spazi dismessi offre nuove prospettive per la comunità, per le amministrazioni, per gli operatori del terzo settore e per gli investitori privati. Riuscire a tradurre le buone intenzioni in pratica è certamente una sfida complessa che richiede programmi e conoscenze specifiche e multidisciplinari, capaci di sviluppare strumenti e linee guida per supportare la progettazione degli interventi di riuso e rigenerazione dei luoghi abbandonati sul territorio.

Bibliografia

Ahern J. 1995. Greenways as a planning strategy. Landscape and Urban Planning, 33, 1-3, 131-156.

De Majo S. 2006. Dalla Bayard alla Direttissima. Storia della rivoluzione ferroviaria in Campania. 1839-1927. In: *Ferrovie e tranvie in Campania. Dalla Napoli-Portici alla metropolitana regionale* (a cura di F. Assante e M. De Luca). Napoli: Giannini.

Gamboni A., Neri P. (a cura di). 1987. *Napoli-Portici, la prima ferrovia d'Italia*. Napoli: Fausto Fiorentino Editore.

Gamboni A. 2014. *La prima strada ferrata d'Italia*. Avellino: Scuderi Editrice.

Maggiorotti I. (a cura di). 2019. *Atlante dei viaggi lungo le ferroviarie dimsesse*. Roma: Fondazione FS Italiane.

Oppido S. 2014. La valorizzazione diffusa: il riuso del patrimonio ferroviario dismesso. BDC, 14, 1, 221-236.

Pane A. 2008. Alle origini dell'ingegneria ferroviaria in Campania: la costruzione della linea Avellino-Ponte S.Venere (1888-1895) e gli attuali problemi di conservazione. Atti del 2° Convegno Storia dell'Ingegneria, 7-9 aprile, 1291-1299. Napoli: Cuzzolin editore.

Rovelli, R., Senes, G., Natalia, F. 2004. *Ferrovie dismesse e greenways. Il reupero delle linee ferroviarie non utilizzate per la realizzazione di percorsi verdi*. Milano: Associazione italiana Greenways onlus.

Ryan R., Fábos J.G., Csemez A., Machado J., Toccolini A. 2001. Balancing culture and nature through greenway planning. Proceedings of American Society of Landscape Architects Annual Meeting (held in conjunction with Canadian Society of Landscape Architects.), Montreal, September 21-25, 118-121.

Sica A. 1985. *La lotta politica del Vallo di Diano per il passaggio della ferrovia*. Salerno: Pietro Laveglia Editori.

Società Italiana per le strade ferrate del Mediterraneo 1898. Linea Sicignano – Lagonegro Tronco Sicignano – Casalbuono, Tronco Casalbuono – Lagonegro, Planimetria e profilo scala 1:10000. Milano: Tip. Lit. Direz. Gen. Ferr. Med. (Archivio Privato).

Webgrafia

[1] Torella F. 2010. *Il riuso sociale del patrimonio immobiliare dismesso delle Ferrovie dello Stato*, intervento in occasione della V European Greenways Conference, June 10-12, 2010, Madrid, Spagna, www.aevv-egwa.org.

Alessandro Campolongo

Le case dell'Opera Valorizzazione Sila, patrimonio edilizio storico della Calabria del Novecento

Abstract
The Opera Valorizzazione Sila (OVS) is an agency established in 1947 that was first entrusted with the Calabria land reform. Initially, its functions were related to promote and implement land transformation in the Sila Plateau and to develop industry and tourism in the area. During the post-war reconstruction period in Calabria, the important role of OVS consisted in the redistribution of land properties, including those located in the Ionian area adjacent to the Sila plateau. Though its objectives have changed during its 70 year-long activity, its first result was the creation of 29 villages with a population of 43.050 inhabitants, settled in an area of 85.690 hectares. House construction, with its architectural and executive characteristics, was the peculiar expression of the new farm property project, the first fundamental step in land reform planning. Moreover, it also reflected the design and technical approach followed by the agency in facing the issues of rural building industry in a peculiar and difficult regional environment. The 5859 houses built by OVS form an important part of the XXth-century Italian building heritage; the study of the materials employed, building techniques, space organization and management, that represent the architectural identity and quality of these buildings, can facilitate their cultural recovery. It can equally provide the guidelines for functional recovery and environmental rehabilitation.

Il contesto storico-ambientale

Una mitizzante cortina narrativa ispirata alle antiche glorie delle colonie greche ha impropriamente mistificato per secoli i caratteri più autentici della regione calabrese (Placanica, 1985), più in particolare della strutturazione del suo territorio e della sua società: "*un insieme di universi agro-pastorali, artigiani, marinari, divisi e giustapposti, caratterizzati dalla squisitezza e dall'esuberanza del suo aspetto naturale, dai segni, insieme misteriosi e apocalittici, di alluvioni, frane e terremoti, dallo stigma della miseria, proprio della gran parte dei suoi abitati e dei suoi abitanti, dal tratto di un'incombente e desertica separatezza*" (Faeta, 1985).

Una separatezza dovuta storicamente alla sua posizione periferica, alle montagne che la dividono dal resto del continente, alle difficoltà di scambio e comunicazione, all'inaccessibilità delle coste paludose e prive di approdi, abbandonate da una po-

polazione atterrita dalle incursioni provenienti dal mare. Un isolamento progressivo che, pure nelle alterne vicende politiche della sua storia, e nella sequenza ininterrotta di eventi sismici che ne hanno sistematicamente e implacabilmente sfigurato l'assetto, diventa espressione dell'identità fisica e culturale della regione.

Bisogna aspettare l'ennesimo terremoto, quello apocalittico del 1783, perché la Calabria si ponga all'attenzione del Regno. Bisogna aspettare la fine del Settecento, e oltre, perché i "lumi" della nuova cultura europea raggiungano le province estreme del vecchio continente. E allora la Calabria risponde, scrive Augusto Placanica (1985), "*– attraverso i Grimaldi, i Torcia, gli Spiriti, i Lamanna – con analisi di assai elevato pregio. È il momento in cui entra in crisi la vecchia struttura feudale, da secoli indebolita sul piano politico (...) e da qualche decennio anche in competizione con nuove emergenti classi di cittadini e campagnoli*". Bisogna arrivare al Settecento, dunque, "*(...) per ritrovare la coscienza del paesaggio agrario di Calabria"* (Placanica, 1985).

Le iniziative per la ricostruzione del dopo-terremoto e il successivo tentativo di ridistribuzione fondiaria reso possibile dall'esproprio dei beni della Chiesa, attraverso cui l'Amministrazione borbonica si adopera per risollevare le condizioni economiche delle province calabresi, favorendo la nascita della piccola proprietà contadina, segnano senz'altro una svolta per l'agricoltura regionale. Ma i progressi non incidono sul regime fondiario, condizionato peraltro dall'affermazione di quella nuova classe di "galantuomini" che, sostituendosi vieppiù alla vecchia aristocrazia, mantengono viva la logica dell'accumulazione della terra e del latifondo. I contadini ben poco possono avvantaggiarsi dei miglioramenti tecnologici e agronomici, prostrati da salari sempre più bassi dovuti a una crescita demografica che tende a elevare, nel mercato del lavoro, l'offerta di manodopera. Condizioni che rimangono immutate anche con l'avvento del secolo nuovo, segnato dall'emigrazione di massa (Ruggiero, 1987). Anche nei decenni più vicini a noi lo sviluppo viene condizionato dal quadro ambientale e sociale definitosi nei secoli precedenti, mancando quegli interventi tecnologici e quegli investimenti di capitali a sostegno del lavoro che in Calabria, più che in ogni altra regione del paese, sarebbero stati necessari[1].

Le case dell'Opera Valorizzazione Sila

Fino al più recente dopoguerra, tuttavia, l'agricoltura continua a rappresentare il contributo determinante alla formazione del reddito regionale, assorbendo, alla fine degli anni '40, oltre il 59% degli occupati, mentre la struttura economica e sociale della regione rimane fortemente legata alle modalità evolutive del settore. Quelli dell'immediato dopoguerra, d'altra parte, sono gli anni della lotta per la terra, dello scontro sociale e politico che contrappone il mondo contadino a notabili e proprietari, ottusamente legati alla difesa di un assetto fondiario e di un ordine sociale ineluttabilmente destinato a scomparire.

È in questo quadro di tensione meridionalistica che prende vita l'intervento dello Stato repubblicano: la Legge 31 dicembre 1947, n. 1.629, "Provvedimento di valorizzazione agraria, industriale e turistica dell'Altipiano Silano", istituisce l'Opera Valorizzazione Sila - OVS, ente pubblico preposto anzitutto alla promozione della trasformazione fondiaria e agraria nella regione e alla sua realizzazione. Due anni dopo, con la Legge 12 maggio 1950, n. 230, detta "Legge Sila", l'OVS assume il ruolo guida della riforma agraria in Calabria, provvedendo alla ridistribuzione della proprietà terriera e alla sua conseguente trasformazione. La Legge Sila, altrettanto nota come "Riforma agraria in Calabria" – simbolicamente varata nella piazza di Santa Severina da Antonio Segni, Ministro dell'Agricoltura del terzo Governo De Gasperi, nell'ottobre del 1950 – diventa così il primo intervento straordinario dello Stato democratico per il Mezzogiorno, il primo atto legislativo capace, nella sua concretezza, d'imporre alle istituzioni e all'opinione pubblica una "questione meridionale" che diventa questione nazionale (Pezzino, 1985). Il quadro legislativo si completa, nello stesso anno, con la Legge 21 ottobre 1950, n. 841, detta "Legge stralcio", con la quale si avviano provvedimenti in tutte le zone di riforma agraria del paese (Opera Sila, 1970).

Con la *Legge Sila* e la *Legge stralcio* l'OVS acquisisce un comprensorio di 573.000 ettari di terra da gestire, pari a quasi un terzo del territorio regionale, che viene articolato in quattro grandi comparti: Altopiano della Sila; Marchesato di Crotone; Basso Neto e Sibari; Zone collinari e pedemontane. Un'azione dal carattere certamente innovativo per l'ampiezza degli interventi, che non si limitano soltanto al riassetto fondiario dei comparti definiti, nei quali 77.369 ettari di terra vengono assegnati a ben 18.200 famiglie contadine (OVS, s. d.), ma che avvia un'attenta politica di bonifica, progetta e realizza nuove infrastrutture per la viabilità e l'irrigazione, e incentiva il processo d'industrializzazione, contribuendo così "*a rompere la staticità dell'ambiente calabrese e la cristallizzazione dei rapporti di produzione agrari, introducendo meccanismi di mobilità sociale collegati all'intervento statale*" (Pezzino, 1985).

La grande estensione del comprensorio investito dalla Riforma comporta una altrettanto grande varietà di condizioni ambientali, da zona a zona, che l'ente deve affrontare principalmente nel definire i criteri di dimensionamento dei poderi e gli orientamenti colturali delle nuove aziende contadine, passando dai 1.200 metri s.l.m. della Sila ai 400 metri delle aree collinari ioniche, dai grandi ripiani asciutti del Marchesato di Crotone degradanti verso il mare, alle pianure irrigue di Sibari e del Basso Neto. Non solo, ma a detta articolazione deve corrispondere un'organica azione di pianificazione degli insediamenti, della loro distribuzione sul territorio e della loro consistenza in termini di dimensioni dell'impianto edilizio. Nascono così i *borghi*, costituiti da grossi agglomerati accentrati, in montagna, allo scopo di creare corposi nuclei di una popolazione bisognosa di affrontare collettivamente i disagi legati alle

particolari condizioni ambientali, e gli *insediamenti sparsi*, a volte integrati, secondo le particolari caratteristiche dei luoghi, da piccoli raggruppamenti di case.

Ma al di là dell'organizzazione distributiva dei centri abitati, è la costruzione della casa che rappresenta il primo traguardo importante nel processo di pianificazione della Riforma, operante in un contesto sociale particolarmente arretrato e segnato dalla miseria, in una regione in larga parte priva di case coloniche e di una tradizione di vita rurale direttamente legata al territorio agrario, nella concezione propria dell'economia latifondista, che mantiene la comunità contadina fisicamente lontana dai campi da coltivare[2]. Quella stessa logica che determina storicamente, in Calabria, il rapporto tra città e campagna, espresso dalla moltitudine di piccoli e piccolissimi agglomerati urbani, dispersi nel territorio e inerpicati per ragioni difensive sulle pendici montane e collinari, o polarizzati nelle poche aree pianeggianti meno esposte al rischio della malaria.

La costruzione della casa ha dato ai contadini assegnatari della Riforma non solo una sistemazione decorosa, "*una possibilità umana di vita organizzata, confortevole, aggiornata al progresso*" (OVS, s. d.), ma anche una collocazione nel territorio agrario, un lotto di terra produttiva da coltivare e da utilizzare per l'allevamento del bestiame. Una condizione mai vista prima, che si lascia alle spalle una realtà arcaica fatta di dimore temporanee, di capanne di paglia di segale e di baracche di legno di pino. Le case dell'OVS fanno ormai parte a pieno titolo della storia dell'architettura calabrese e nazionale, costituendo, nel bene e nel male, un riferimento importante nell'evoluzione della produzione edilizia non solo regionale, in quella fase storica della vita del paese che è la ricostruzione del dopoguerra. Questi edifici, informati nei criteri progettuali e costruttivi alla consolidata cultura manualistica che riaffiora nell'Italia del tempo, sono realizzati nell'arco degli anni '50 in oltre 5.800 unità, e costituiscono comunque, ancora oggi, nel Mezzogiorno, l'espressione concreta di un processo edilizio inedito nel suo genere (e non solo perché rivolto all'architettura rurale), nel quadro di una legge programmatica che trova continuità nell'elaborazione di un piano territoriale effettivamente eseguito, i cui esiti vengono sistematicamente controllati e valutati nel tempo; esperienza più unica che rara nella realtà calabrese.

I dieci tipi edilizi progettati sono classificabili in tre classi tipologiche, che fanno riferimento ad altrettante condizioni ambientali: le case silane; le case di pianura; le case collinari (Rogliano, s.d.; Celani, 1964). Indipendentemente dai fattori legati all'ambiente, che incidono principalmente sulla scelta dei materiali e delle tecniche costruttive adottate per gli elementi di fabbrica, ciascun tipo assume una propria connotazione relativamente: al taglio dimensionale, commisurato all'estensione del podere assegnato; all'ordinamento colturale e zootecnico, e alla prevista produzione media ricavabile; al sistema distributivo dell'alloggio in relazione alla composizione della famiglia assegnataria; al rapporto dimensionale tra alloggio, deposito e ricovero degli animali.

Nella classe silana i tipi *Rovale* e *Lorica* sono i più modesti; presentano soggiorno-cucina al piano terra, nel Rovale comunicante con la stalla tramite una porta, e tre camere

al primo piano. Decisamente più evoluti nella loro concezione il tipo *Mucone,* in Figura 1, con una superficie di 134 m^2, e il tipo *Cecita*, in Figura 2, con una superficie di 117 m^2. In essi un più ricercato sistema distributivo separa nettamente gli ambienti destinati all'abitazione da quelli di servizio, stalla compresa, e nel tipo Cecita l'alloggio è tutto al primo piano. Sono entrambi dotati di portico e gli ambienti di servizio hanno ampiezza tale da ospitare fino a quattro capi di bestiame. Nei tipi montani la scala è sempre realizzata all'interno. Gli edifici sono in muratura portante, realizzata in pietrame listato al piano terra e a due teste di mattoni pieni al piano superiore, con un'interessante lavorazione delle pareti perimetrali che, per ottenere un incremento dell'isolamento termico, sono integrate da una camera d'aria realizzata con blocchi di laterizio forato di piccolo spessore, che configura di fatto, diremmo oggi, sul piano prestazionale, un moderno modello funzionale di *parete isolata all'esterno*[3]. I solai in latero-cemento sono collegati alle pareti mediante cordolo di cemento armato per garantire la necessaria congruenza strutturale tra membrature orizzontali e verticali, anticipando le modalità costruttive oggi indicate dalla normativa per le zone a rischio sismico.

La copertura, a falde, realizzata anch'essa con solai a struttura mista di laterizi e cemento armato (OVS, 1957), presenta generalmente manto di tegole a coppi, e, nelle zone più esposte, manto in lamiera zincata. Gli infissi esterni sono in legno di castagno negli alloggi, così come le porte di abitazione e stalla, e in ferro, con apertura a vasistas, nei servizi; le porte interne sono in legno di abete. I pavimenti sono in mattonelle di cemento e graniglia, negli alloggi, e nella stalla in pianelloni di cotto con camera d'aria e scanalature diagonali. Le case vengono dotate di camino, realizzato in muratura di mattoni, e di cucina economica, a legna e a gas, in lamie-

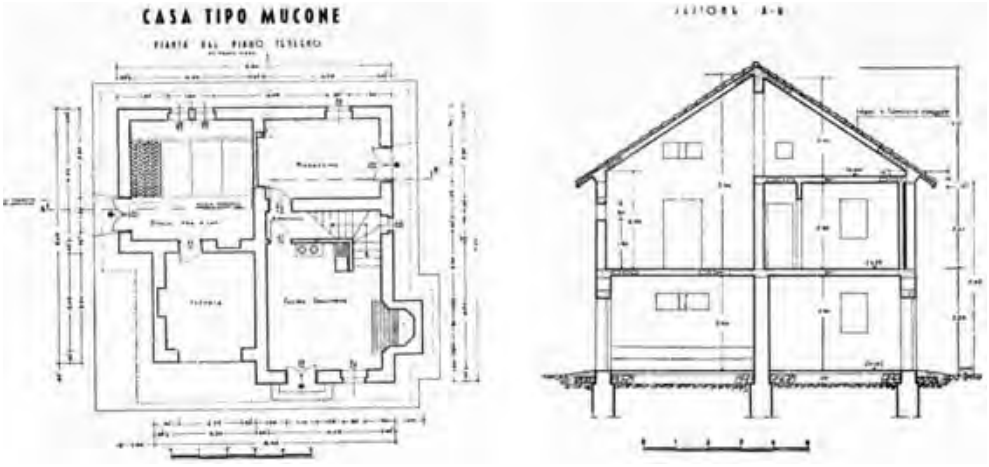


Fig. 1 – Casa tipo Mucone, casa silana; pianta del piano terra e sezione (Archivio professionale ing. Spartaco Celani, Cosenza, 1964).

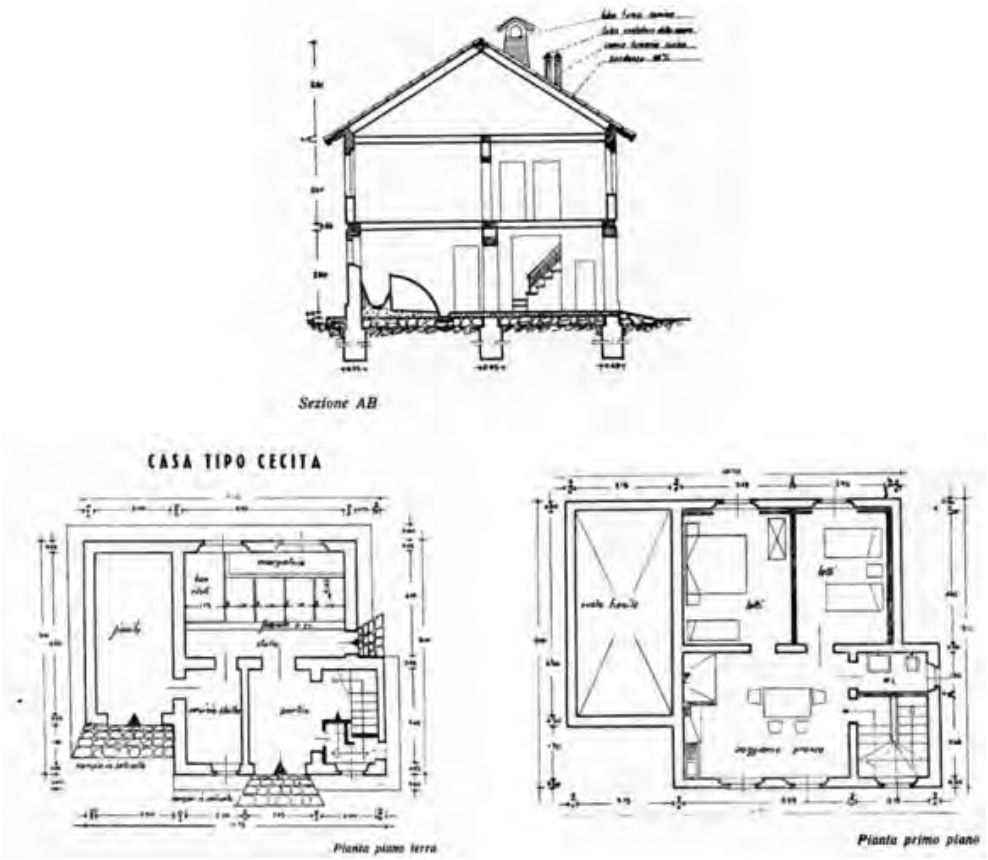


Fig. 2 – Casa tipo Cecita, casa silana; piante (Archivio professionale ing. Spartaco Celani, Cosenza, 1964).

ra di ferro smaltata; mentre le stalle presentano attrezzature di servizio in metallo "*del tipo all'americana, particolarmente adatte per bovini da latte*" (Rogliano, s.d.). Ogni unità abitativa è corredata da una concimaia con vasca di raccolta dei liquami, e relativo pozzetto, e da un porcile per due capi realizzato in muratura e completo di cortiletto esterno. Alcune case, almeno quattro per ogni agglomerato, vengono anche dotate di forno a legna. Le acque nere sono smaltite mediante un bacino chiarificatore predisposto per ciascuna casa, mentre la fogna della stalla scarica nella vasca di raccolta della concimaia, cui è collegata mediante apposita tubazione[4].

Tra le case in pianura, che conservano generalmente, come le case collinari, le stesse caratteristiche costruttive dei tipi montani, i tipi *Cassano*, in Figura 3, e *Fedula*, in Figura 4, sono i più interessanti: a pianta pressoché quadrata il primo, di 112 m^2, meno diffuso il secondo, con pianta sfalsata di 139 m^2. Il tipo Cassano,

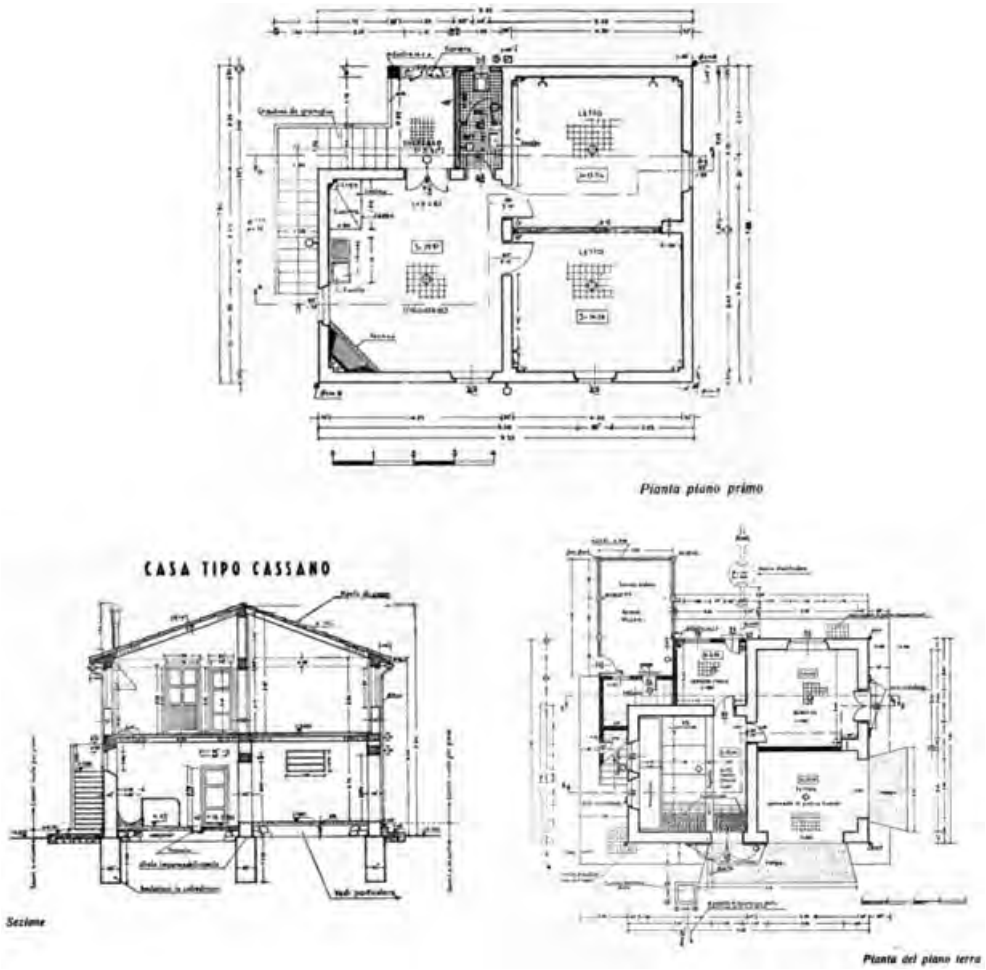


Fig. 3 – Casa tipo Cassano, casa collinare; piante e sezione (Archivio professionale ing. Spartaco Celani, Cosenza, 1964).

che è l'unico ad avere la scala esterna, presenta l'alloggio al primo piano, mentre il piano terreno è diviso tra portico, stalla con entrata autonoma rispetto a esso, e due magazzini annessi: deposito e servizio stalla; un pollaio è realizzato nel sottoscala, con accesso da apposito recinto. Diffuse nella Piana di Sibari e nel Marchesato le case di pianura realizzate "a contributo", cioè con finanziamento nella misura del 60%, caratterizzate da varianti tipologiche anche consistenti. Si tratta dei tipi *Cirò*, *Melissa*, in Figura 5, e *Belcastro*, unità abitative costruite a unico piano in muratura portante di mattoni, e anch'esse fornite di stalla per tre capi di bestiame, con alloggio articolato in soggiorno-cucina e tre camere da letto.

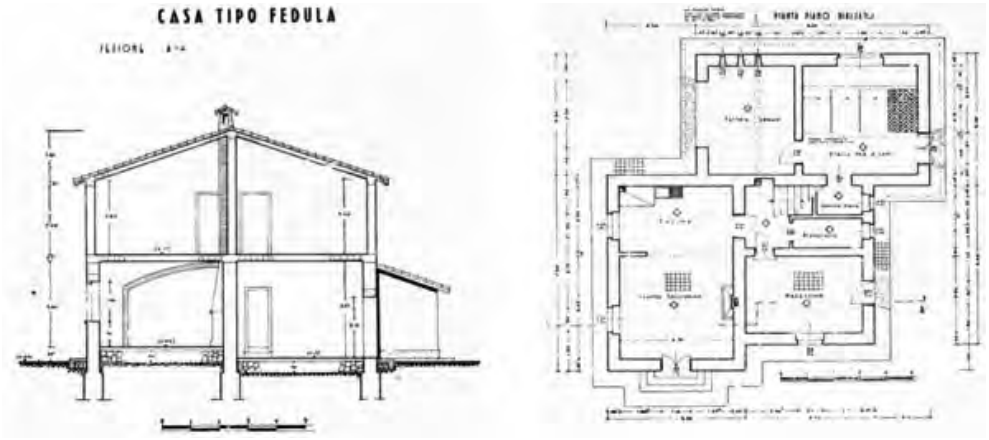


Fig. 4 – Casa tipo Fedula, casa collinare; pianta piano rialzato e sezione (Archivio professionale ing. Spartaco Celani, Cosenza 1964).

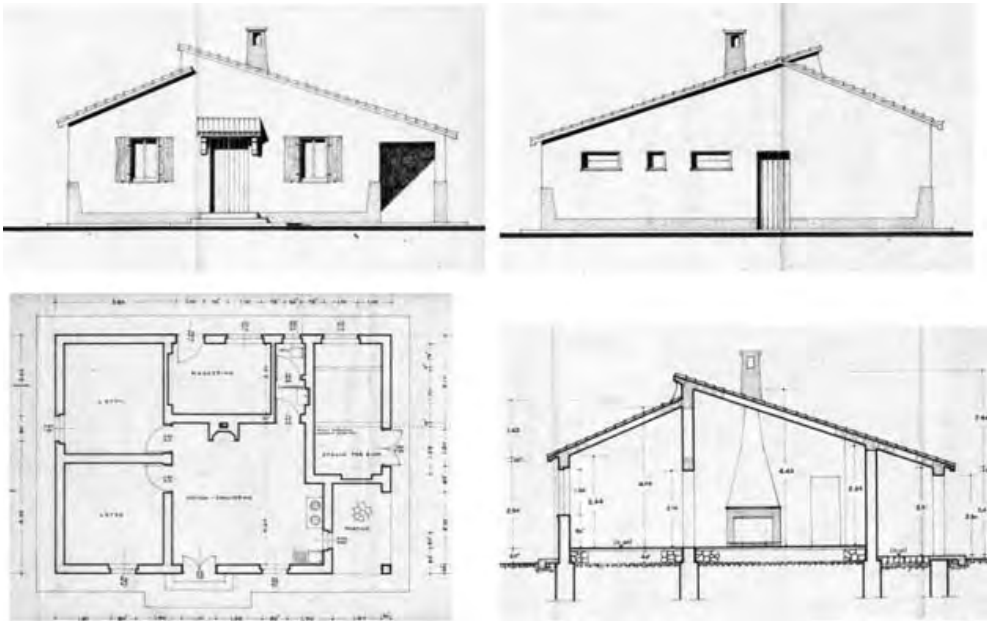


Fig. 5 – Casa tipo Bisignano, casa di pianura; piante (Archivio professionale ing. Spartaco Celani, Cosenza, 1964).

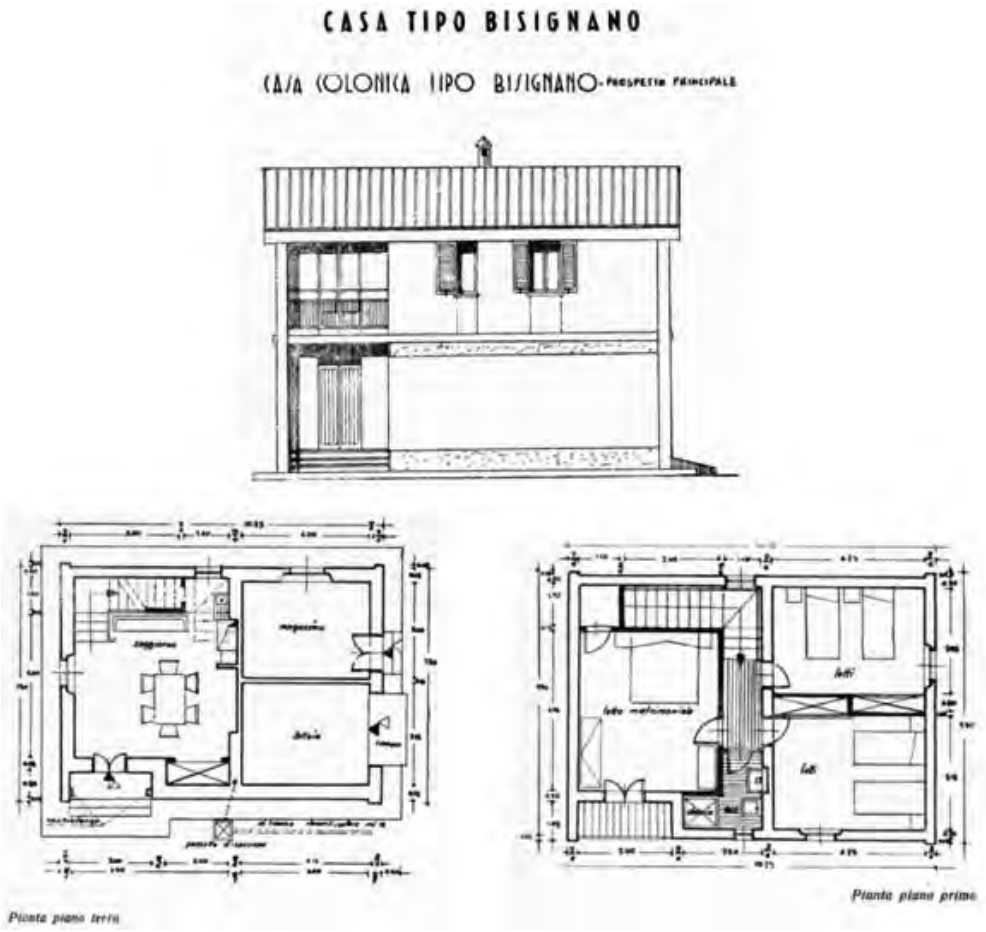


Fig. 6 – Casa tipo Bisignano, casa di pianura; piante (Archivio professionale ing. Spartaco Celani, Cosenza, 1964).

Il tipo *Bisignano, in Figura 6,* è invece la casa di collina. Costruite in diverse versioni, secondo l'orientamento e l'altitudine, queste case sono situate il più delle volte lungo le strade nazionali, provinciali e di bonifica. L'alloggio è al primo piano, mentre il piano terra, diviso tra magazzino e portico, non presenta la stalla annessa alla casa, realizzata invece in un corpo di fabbrica separato, di 40 m^2 di superficie[5].

Con il D.P.R. 23 giugno 1962, n. 948 (Presidente della Repubblica, 1962), gli enti di riforma vengono modificati, nella qualifica, in enti di sviluppo; l'OVS diventa *Opera Sila – Ente di sviluppo in Calabria*. E alle attività legate al precedente ruolo, la Legge 14 luglio 1965 e il D.P.R. 14 febbraio 1966, n. 257 (Presidente della Repub-

blica, 1966), attribuiscono all'ente nuovi compiti: potenziamento della zootecnia, valorizzazione delle produzioni agricole, sviluppo della cooperazione e riordino fondiario (ARSSA, 2005). Le nuove disposizioni legislative si preoccupano di arricchire le attività che non possono evidentemente rimanere legate all'originaria necessità di assegnazione della proprietà terriera, esaurita la quale è necessario rivolgersi al potenziamento delle risorse e al miglioramento della vita nella campagna.

Dall'esperienza maturata nei primi dieci anni di attività costruttiva, secondo i canoni di una pianificazione efficace che trova completamento nella fase di osservazione del processo, ovvero di verifica degli esiti dell'intervento pianificatorio cui l'Opera Sila evidentemente non si sottrae, emerge la necessità di alcune importanti azioni correttive rispetto alle scelte operate. In particolare, per quanto riguarda il patrimonio edilizio realizzato, si desume "*che la casa decentrata, spesso, non ha soddisfatto le esigenze di vita civile delle famiglie contadine. L'incompletezza del carattere residenziale o la dispersione delle case (...) sono state, in alcuni ambienti, una delle cause di parziale abbandono delle abitazioni rurali. (...) Inoltre la costruzione della casa isolata sul podere chiude ogni possibile movimento evolutivo verso la spontanea ricostruzione di unità poderali autosufficienti, conferendo una maggiore rigidità alle strutture fondiarie, (...) in contrasto con i nuovi orientamenti della politica agraria*" (Quintieri, 1966). Si punta pertanto verso la realizzazione di piccole comunità rurali, attraverso la creazione di nuclei residenziali, che si configurino come unità sociali organiche nelle quali "*la vita familiare si può svolgere con minori costrizioni, minor peso, più libertà, più sicurezza e costante valorizzazione delle posizioni insediativ*e" (Quintieri, 1966).

Ciò non porta alla creazione di nuovi tipi edilizi, ma, nella consapevolezza dei problemi emersi, come dei risultati soddisfacenti ottenuti nelle difficili condizioni ambientali nelle quali si è operato, l'ente individua nuovi obiettivi operativi nella riqualificazione residenziale: attraverso il reperimento di aree circostanti gli insediamenti per ampliarne la funzionalità; destinando gli ambiti marginali delle nuove aree residenziali ad attrezzature produttive; trasformando gli annessi di servizio dell'abitazione in nuovi ambienti residenziali.

Conclusioni

Al configurarsi delle nuove prospettive offerte dai possibili interventi di riqualificazione edilizia, da adattare evidentemente alle necessità ambientali specifiche delle diverse zone, si aggiunge la programmazione di altre attività, per il raggiungimento di nuovi più generali obiettivi, quando, con l'istituzione degli enti regionali, negli anni '70, la Regione Calabria assume le competenze relative al settore dell'agricoltura e foreste (D.P.R. 15 gennaio 1972 e Legge 30 aprile 1976, n. 386, "Legge quadro"). Nasce così l'ESAC, *Ente di sviluppo agri*colo *in Calabria* (Consiglio Regionale della Calabria, 1978), che opererà finché, per il conseguimento di nuovi

obiettivi di ammodernamento e potenziamento, nonché per il recepimento delle nuove direttive europee, la Regione riterrà necessario il varo di una nuova legge che istituisce l'ARSSA, *Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura* (Consiglio Regionale della Calabria, 1993).

Nell'evoluzione organizzativo-gestionale che caratterizza la vita dell'ente nell'arco di oltre settant'anni, le case dell'OVS sono testimonianza di un'importante esperienza di pianificazione del territorio, che si concretizza, tra le altre attività, nella costruzione di un patrimonio edilizio significativo per le sue implicazioni storiche, sociali e politiche, oltre che per i valori specifici propri della disciplina edilizia, nel suo porsi come espressione di un'esperienza costruttiva e organizzativa maturata in un periodo difficile della vita del paese.

Le note qui elaborate trovano collocazione nell'ambito della ricerca che si propone di approfondire la conoscenza dei caratteri architettonici e costruttivi del patrimonio edilizio italiano del Novecento, nel quale materiali, tecniche costruttive, scelte organizzativo-gestionali assumono un ruolo di particolare importanza, determinandone la qualità e l'identità architettonica. Attraverso lo studio di significativi comparti edilizi, o di insediamenti come quelli che caratterizzano il comprensorio dell'OVS, s'intende contribuire a riconoscerne il valore, rilanciandone il ruolo culturale, e a fornire linee guida per una corretta attività di recupero e riqualificazione.

Bibliografia

Celani S. 1964. *Esperienze nell'edilizia della riforma fondiaria in Calabria*. Atti del VIII Congresso nazionale Edilizia e abitazione, Ancona 28 maggio-2 giugno. Cosenza: OVS.

Consiglio regionale della Calabria. 1978. Adeguamento della normativa dell'Opera Sila ai principi fissati dalla legge 30 aprile 1976, n. 386. L.R. 14 dicembre 1978, n. 28. BUR del 21 settembre 1978, n. 30.

Consiglio regionale della Calabria. 1993. Istituzione dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per Servizi in Agricoltura (ARSSA). L.R. 14 dicembre 1993, n. 15. BUR del 17 dicembre 1993 n. 109.

Faeta F. 1984. Introduzione. In: *L'architettura popolare in Italia*. *Calabria*. (a cura di F. Faeta), 3. Bari: Editori Laterza.

Opera Sila - Ente di sviluppo in Calabria (a cura di). 1970. *Realizzazioni e programmi in atto*. Cosenza: Opera Sila.

Opera Valorizzazione Sila (a cura di). s. d. *Edilizia rurale nel comprensorio di riforma in Calabria*, 7. Cosenza: OVS.

Parlamento Italiano. 1965. Delega al Governo per l'organizzazione degli Enti di sviluppo e norme relative alle loro attività. L. 14 luglio 1965, n. 901. Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 190 del 31.07.1965. Roma: Poligrafico dello Stato.

Parlamento Italiano. 1976. Norme di principio, norme particolari e finanziarie concernenti gli enti di sviluppo. L. 30 aprile 1976, n. 386. Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.149 del 08.06.1976. Roma: Poligrafico dello Stato.

Pezzino P. 1985. Riforma agraria, occasione mancata. Alcune riflessioni. In: *Alla scoperta delle identità regionali. La Calabria* (a cura di F. Guglielmelli), 175. Torino: Event.

Placanica A. 1985. I caratteri originali. In: *Storia d'Italia. Le regioni dall'unità a oggi. Calabria*. (a cura di P. Bevilacqua e A. Placanica), 75-76. Torino: Giulio Einaudi Editore.
Presidente della Repubblica. 1962 Norme sugli Enti di sviluppo in attuazione della delega prevista dall'art. 32 della legge 2 giugno 1961, n. 454. D.P.R. 23 giugno 1962, n. 948. Gazzetta Ufficiale 28 luglio 1962, n. 189. Roma: Poligrafico dello Stato.
Presidente della Repubblica. 1966. Organizzazione degli Enti di sviluppo e norme relative alla loro attività. D.P.R. 14 febbraio 1966, n. 257. Gazzetta Ufficiale 9 maggio 1966, n. 112. Roma: Poligrafico dello Stato.
Presidente della Repubblica. 1972. Trasferimento alle Regioni a statuto ordinaro delle funzioni amministrative statali in materia di agricoltura e foreste, (…). D.P.R. 15 gennaio 1972, n. 11. Gazzetta Ufficiale Supplemento Ordinario n. 46 del 19.02.1972. Roma: Poligrafico dello Stato.
Quintieri M. 1966. *Nuovi orientamenti dell'edilizia rurale*. Atti del Convegno nazionale dell'Associazione Italiana d'Ingegneria Agraria, Portici 14-15 aprile, 3-4. Bari: Laterza.
Regione Calabria – ARSSA (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e i Servizi in Agricoltura) (a cura di). 2005. *L'Opera Valorizzazione Sila (OVS) oggi ARSSA celebra i 50 anni della sua istituzione*. Cosenza: ARSSA.
Rogliano G. s. d. *La casa rurale nel comprensorio dell'OVS*. Cosenza: OVS.
Ruggiero V. 1987. Calabria: struttura economico-sociale e abitazione rurale. In: *La casa rurale nella Calabria* (a cura di E. Manzi e V. Ruggiero). Firenze: Leo S. Olschki Editore.

Note

1. Tutto rimane invece affidato al lavoro e alle solitarie energie delle famiglie contadine, alla creatività delle loro iniziative, con tutti i limiti culturali, finanziari e di conoscenza tecnica, in un contesto bisognoso di consistenti aumenti della produzione agricola, di un decisivo adeguamento all'innovazione organizzativa del lavoro nei campi, di un articolato sviluppo delle vie di comunicazione e dei trasporti, per un conseguente rafforzamento della presenza dei prodotti calabresi sul mercato.
2. Una condizione che, costringendo ai sacrifici di una vita lavorativa fortemente penalizzata dai lunghi percorsi giornalieri per raggiungere i campi, non permette quel rapporto permanente con la terra necessario per un adeguato approccio tecnico alle colture e al loro avvicendamento, alla conservazione e al potenziamento delle risorse naturali dei terreni per il miglioramento della produttività.
3. In particolare, per la porzione di parete del piano superiore che ha strato portante realizzato a due teste di mattoni pieni, i *mattoni forati di piccolo spessore*, data la loro posizione nello strato più esterno, sembrano configurarsi funzionalmente come un rafforzamento dell'isolamento all'esterno, alla quota del primo piano, essendo l'isolamento del piano terra garantito dalla notevole massa dell'apparecchiatura muraria in pietrame listato. Nella scelta progettuale a suo tempo operata, come emerge dai documenti di progetto, sembra prevalere per questo strato della parete un ruolo di rivestimento, ovvero di potenziamento del rivestimento, che porta a inquadrare l'elemento tecnico nell'ambito del modello funzionale *parete isolata all'esterno*.
4. Data la mancanza di precedenti dimore permanenti si deve provvedere, inoltre, alla fornitura dell'energia elettrica; lo si fa mediante l'installazione d'impianti di trasformazione, realizzati *in loco*, portando la corrente dagli adduttori ad alta tensione ai distributori a bassa tensione. Altrettanto vale per l'acqua potabile, per fornire la quale vengono realiz-

zate opere di presa e predisposti serbatoi per la distribuzione in ciascun nucleo abitativo, alimentati da apposito impianto di adduzione.

5. I disegni dei progetti a corredo del saggio, elaborati dall'ingegnere Spartaco Celani, funzionario e Capo del *Servizio Ingegneria* dell'ente – che fanno riferimento alle case realizzate tra la fine degli anni '50 e i primi anni '60 – sono stati donati dal progettista personalmente all'autore del saggio, a supporto della sua attività di ricerca, nel 1991, in occasione del lavoro svolto nell'ambito della Redazione de "Il Politecnico. Rivista di cultura e informazione degli Ingegneri della provincia di Cosenza" (di cui l'autore era Caporedattore), presso la sede dell'Ordine degli Ingegneri di Cosenza.

Domenico Giaccone

Gli edifici scolastici a Catania dall'Unità nazionale alla seconda guerra mondiale: schema distributivo, stili architettonici e tecniche costruttive

Abstract
Public education has been one of the priorities of the Italian State, since its foundation. Alongside the organization of the school-system, the State promoted the construction of buildings which were suitable for the purpose, by providing financial supports, and by defining the technical features aimed to assure minimum standards of quality. These requirements were contained in special regulations which were enriched and perfected more times until 1940. Therefore, the school buildings that were built in those years, reflect the content of these documents. They mainly aimed at the creation of hygienic and functional building, and in a short time lead to the standardization of the plans, which become widely widespread. On the contrary, the aesthetic and technical-constructive features were free from restrictions, thus they reflected the historical period, and the local specificities. For this reason, it was not unusual that buildings characterised by a similar plan, had a different architectural style and were built with different materials, or according to different constructive techniques. In this regard, the architectural projects drawn up by the city engineers of Catania are representative cases of study. Most of them have a similar plan, but differ from the stylistic and the technical-constructive point of view. For this reason, it is possible to distinguish two groups. The first includes projects that date back to the end of the nineteenth-century, linked to tradition, while the second includes projects that were completed in the Thirties of the following century, influenced by novelties on architectural style and constructive techniques. The paper aims to illustrate these projects, by underling similarities and differences and by highlighting how the same building plan was adapted to different kind of stylistic and technical-constructive solutions.

Gli edifici per l'istruzione primaria in Italia dall'unità nazionale alla seconda guerra mondiale

Fin dalla nascita dello Stato italiano il tema dell'istruzione pubblica elementare è stata una priorità. Per poter garantire il sevizio era necessario da una parte formare gli insegnanti e definire i programmi didattici, dall'altra trovare i locali idonei in

cui tenere le lezioni. In un primo momento le scuole vennero allestite in locali di fortuna; case private, vecchi magazzini, palazzi in affitto. Dopo il 1866, anno in cui venne emanata la prima legge sull'eversione dell'asse ecclesiastico, anche i conventi ed i monasteri requisiti alle corporazioni religiose vennero adattati allo scopo. Questo patrimonio era inadeguato sotto il profilo sia funzionale che igienico e in breve tempo non fu neppure sufficiente a rispondere alla crescente domanda. Per tale motivo, nacque presto il bisogno di costruire edifici *ex novo*. Alcuni comuni virtuosi si cimentarono nella redazione di progetti funzionali, salubri e decorosi, ispirandosi alle opere realizzate nelle città d'Oltralpe, come accadde per Torino che, sotto questo punto di vista, rappresentò un modello per l'intera Nazione (Giaccone, 2016). Lo Stato, da parte sua, venne in aiuto ai comuni, autorizzando la Cassa Depositi a Prestiti a concedere mutui a tasso agevolato da utilizzare per la costruzione degli edifici scolastici.

Per poter beneficiare dei prestiti, i progetti dovevano soddisfare alcuni requisiti, contenuti in appositi regolamenti. Nel 1888 venne pubblicato il R.D. 5808/1888, *Istruzioni tecnico-igieniche intorno alla compilazione dei progetti di costruzione di nuovi edifici scolastici*, annunciato già nel 1878 e contenente i requisiti volti a garantire standard minimi di qualità. All'inizio del secolo successivo venne pubblicato il R.D. 484/1990, con un nuovo regolamento e nuove istruzioni. Esso introdusse i tipi planimetrici redatti dall'ufficio tecnico del Ministero e inviati gratuitamente ai comuni, al fine di velocizzare il processo di verifica dei progetti presentati e snellire le pratiche per l'ottenimento dei prestiti. Nel 1925, con il R.D. 1432 le "istruzioni" divennero "norme", sancendone il carattere cogente. Nel 1940, con il R.D. 875 le norme vennero aggiornate per l'ultima volta; ciò segnò ufficialmente la fine della prima fase dell'edilizia scolastica italiana.

Guardando sinotticamente questi documenti, emerge un progressivo lavoro di perfezionamento e specificazione dei contenuti, condotto anche sulla base dell'esperienza che nel frattempo veniva maturata in campo. Ciò nonostante l'impostazione di base e le indicazioni di massima rimasero pressoché immutati, caratterizzando in maniera comune tutti gli edifici scolastici realizzati nel periodo storico esaminato. Le invarianti si notano soprattutto sotto il profilo planimetrico, mentre maggiore libertà si registra dal punto di vista delle scelte stilistiche e tecnico-costruttive, sulle quali i regolamenti erano meno restrittivi.

Emblematico è, in tal senso, il caso della città di Catania. Tralasciando i dettagli relativi alle vicende storiche che portarono alla nascita degli edifici scolastici nella città etnea (Giaccone, 2017), qui di seguito si pone l'attenzione sul modo in cui il medesimo tipo planimetrico venne adattato ai singoli casi e declinato sotto il profilo stilistico e tecnico-costruttivo nell'arco di tempo che intercorse dalla redazione dei primi progetti, avviata alla fine del XIX secolo, alla completa realizzazione degli ultimi edifici, avvenuta solamente negli anni Trenta del secolo successivo.

Gli edifici scolastici a Catania

1. Cenni storici

I primi progetti per la costruzione degli edifici scolastici catanesi risalgono alla fine del XIX secolo. Ad affrontare il tema in maniera organica fu l'ingegnere Bernardo Gentile Cusa (1851-1908), che dal 1879 lavorò nell'Ufficio d'Arte del municipio di Catania. In un primo momento, Gentile Cusa si occupò degli aspetti urbanistici del problema. Nel 1882 redasse il *Piano topografico per la costruzione dei casamenti scolastici*, di cui diede notizia nella relazione del *Piano regolatore per l'ampliamento ed il risanamento della città di Catania* (Gentile Cusa, 1888). Qui si fa cenno a cinque edifici da realizzare *ex novo* in via Teatro Greco, in via Santa Maria della Salette, in piazza delle Carceri, in via Umberto ed in piazza San Cristoforo. La fase di scelta delle aree fu molto complessa e delicata perché legata al reperimento di terreni liberi e a buon mercato all'interno della città consolidata e alle prospettive di espansione di quest'ultima, per cui nell'arco degli ultimi venti anni del XIX secolo il piano topografico di Gentile Cusa venne più volte rivisto e solamente i primi quattro edifici furono confermati. Contestualmente, si ritenne più conveniente riadattare ex monasteri e conventi, provvedendo talvolta al loro ampliamento o alla loro totale sostituzione. Gentile Cusa propose di costruire gli edifici avvalendosi dei mutui a tasso agevolato concessi dallo Stato (Municipio di Catania, 1902). Nel 1903 i progetti redatti dall'Ufficio d'Arte del municipio di Catania furono inviati al Ministero dei Lavori Pubblici per l'esame; essi vennero nel complesso giudicati positivamente, ma alcune critiche vennero sollevate in merito alla scelta delle aree[1] Per tale motivo, gli edifici in via Teatro Greco e in piazza delle Carceri non furono realizzati; quello che originariamente doveva sorgere in via Umberto, fu realizzato in via Regina Bianca, ultimato nel 1903 ed intitolato a Gioacchino Biscari; e quello in via S. Maria della Salette fu ultimato nel 1916 ed intitolato a Cesare Battisti.

Dopo la Prima guerra mondiale si intraprese nuovamente la ricerca di aree da destinare agli edifici scolastici, guardando questa volta non solo alla città consolidata ma anche ai ""rioni"" ed ai "sobborghi" vicini. In quegli anni il municipio di Catania mise in programma un numero cospicuo di interventi di adattamento di strutture esistenti e di costruzione di nuovi edifici, dei quali solamente alcuni vennero realizzati. Negli anni Trenta furono ultimati e inaugurati con solenne cerimonia i seguenti edifici[2]: il Caronda nel rione Acquicella, nel 1932, il Mario Rapisardi nel rione Collegio Gioeni, il Filippo Corridoni nel rione Cibali ed il Carlo Amato nel rione Picanello, nel 1933, Indirizzo nel rione Municipio, nel 1934 e XX Settembre nel rione Monserrato, nel 1936. Lo scoppio della Seconda guerra mondiale mise un freno a questa intensa attività edificatoria. Dopo la guerra, gli edifici danneggiati vennero riparati o ricostruiti, e nei decenni successivi su alcuni di essi venne elevato un ulteriore piano.

2. Lo schema distributivo

Lo schema distributivo che caratterizza la maggior parte degli edifici scolastici storici catanesi è quello studiato dall'ingegnere Gentile Cusa alla fine dell'Ottocento. Dalla relazione che descrive i progetti (Municipio di Catania, 1902) si apprende che egli si ispirò alle opere dei tecnici del municipio di Torino e a quelle di alcuni professionisti d'Oltralpe, come l'ingegnere francese Felix Narjoux (1836-1891).

Gentile Cusa concepì un unico "*tipo normale delle scuole nuove*" non solo funzionale e salubre, ma anche economico e versatile. Esso è costituito da tre corpi di fabbrica disposti attorno a un cortile, con il corpo centrale orientato secondo l'asse ovest-est. Ventitré aule sono distribuite su tre piani, ciascuno dei quali era riservato esclusivamente alla scolaresca maschile o a quella femminile che il comma 4 dell'art. 4 del R.D. 5808/1888 imponeva di tenere separate; per questo stesso motivo anche gli ingressi sono indipendenti e i piani superiori sono serviti da due distinte scale collocate nei corpi laterali. L'edificio è a doppio corpo di fabbrica; tutte le aule sono rivolte verso l'esterno, mentre sul cortile si aprono i corridoi, dei quali quello che si trova nel corpo centrale è più ampio perché concepito non come un semplice spazio di attraversamento ma come un ambiente multifunzionale. Nelle testate degli edifici si trovano i bagni e gli antibagni, con triplice esposizione in modo tale da garantirne la massima aerazione. Le aule scolastiche costituiscono l'elemento principale del progetto; alcune hanno esposizione a sud o a est, condizione ritenuta ottimale, altre a ovest, condizione ammessa in via eccezionale dalle istruzioni nazionali, come si evince dal comma 2 dell'art. VIII del R.D. 484/1900. Le finestre, due o tre per ciascuna aula, sono disposte sul lato più lungo della stessa e opposto a quello in cui si trovano le porte d'ingresso; nelle aule più grandi è presente anche una quarta finestra posta sul lato più corto, inserita per rispondere a esigenze di natura compositiva, relativa al disegno delle facciate, piuttosto che funzionale. Al direttore, ai maestri e ai bidelli sono riservati due piccoli locali al piano terra del corpo orientale, adiacenti all'atrio, coerentemente a quanto indicato nel comma 3 dell'art. V del R.D. 484/1900.

Questo modello venne adottato fedelmente nel progetto dell'edificio Battisti e di quello che doveva sorgere in via Teatro Greco (non realizzato), mentre il Biscari e quello che doveva sorgere in piazza delle Carceri (non realizzato) presentano alcune leggere differenze dovute ad esigenze di natura urbanistica che resero necessari l'accorciamento dei corpi di fabbrica e la parziale ridistribuzione degli ambienti interni. Il tipo originario e le sue varianti sono schematizzati in figura 1.

Fra gli edifici ultimati negli anni Trenta del Novecento, il Caronda, il Rapisardi ed il XX Settembre presentano una planimetria molto simile a quella degli edifici progettati alla fine del secolo precedente, ma con alcune differenze. Nel caso dei primi due, le scelte di natura urbanistica imposero ai tecnici comunali, gli ingegneri Giuseppe Mancini e Francesco Cosentino, di apportare delle modifiche più severe al modello planimetrico, per rispondere ai requisiti dei regolamenti nazionali.

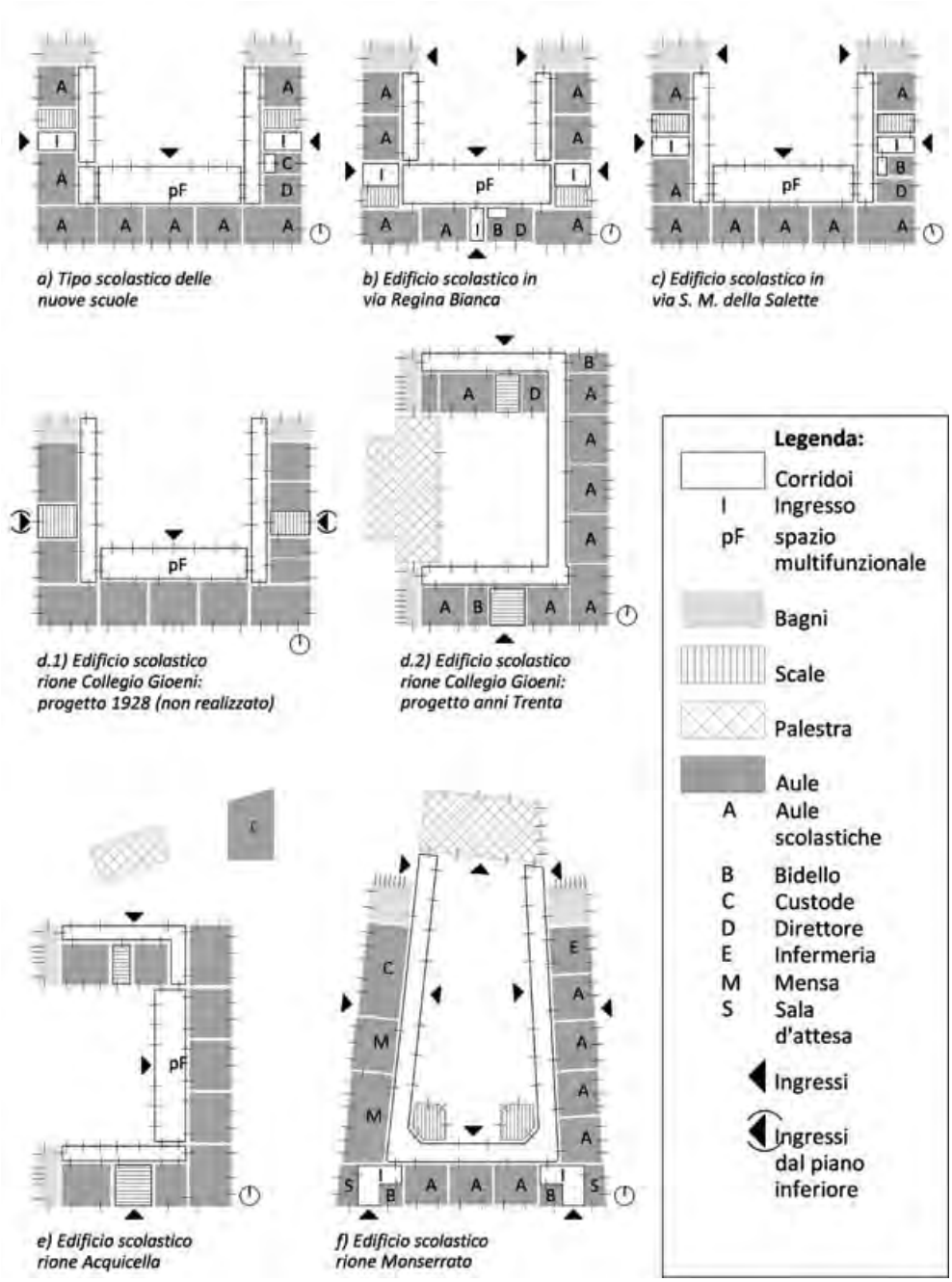


Fig. 1 – Schemi distributivi degli edifici scolastici catanesi.

Le dinamiche che hanno portato a queste variazioni possono essere ricostruite attraverso il confronto fra la planimetria del progetto del Rapisardi del 1928[3] e quella dell'edificio realmente costruito, ultimato nel 1933. Nella prima versione l'edificio aveva il prospetto principale rivolto a sud, così come quelli ottocenteschi; successivamente venne ruotato di 90°, in maniera che il prospetto principale fosse rivolto a oriente, ovvero disposto parallelamente a quello che diventerà uno degli assi viari principali della parte nord-orientale della città. Conseguentemente, la planimetria venne modificata in modo tale che nessuna delle aule fosse esposta a nord. Vennero, inoltre, eliminati gli ambienti multifunzionali nel corpo centrale ed introdotta la palestra coperta, che chiude il cortile da ponente.

L'edificio Caronda presenta lo stesso orientamento del Rapisardi e gli ambienti al suo interno sono distribuiti nello stesso modo, ma manca la palestra coperta e sopravvivono i grandi ambienti multifunzionali. Il R.D. 1432/1925, al comma 3 dell'art. X, imponeva che tutti i locali fossero illuminati ed aerati direttamente, per cui il vano scala meridionale, che ai piani superiori risulta interposto fra il corridoio a nord e un piccolo locale a sud, è coperto da un lucernario, caso unico in tutti gli edifici esaminati.

L'edificio XX Settembre ha ancora l'orientamento che aveva caratterizzato gli edifici ottocenteschi, ma i corpi laterali risultano più lunghi rispetto a quello centrale e non sono paralleli fra loro perché si adattano alla forma trapezoidale del lotto. Come nel Rapisardi, il cortile è chiuso dalla palestra coperta. Singolari sono i due vani scala e la posizione degli ingressi: i primi, esagonali, si trovano nel cortile, ad angolo fra il corpo meridionale e quelli laterali, mentre gli ingressi si trovano non più nei corpi laterali bensì alle due estremità di quello principale.

3. Il progetto d'arte

In merito ai requisiti di natura estetica, i regolamenti nazionali imponevano che ciascun edificio scolastico fosse semplice, economico, dall'aspetto dignitoso, consono alla destinazione d'uso ed in grado di nobilitare la scena urbana in cui erano inseriti, così come si legge nel comma 1 dell'art. 4 del R.D. 5808/1888 e nel comma 1 dell'art.1 del R.D. 1432/1925.

Queste poche e telegrafiche indicazioni si prestarono a svariate interpretazioni e soluzioni stilistiche. Pertanto, nonostante i numerosi vincoli imposti per l'organizzazione della pianta, nel disegno delle facciate i progettisti poterono esprimersi liberamente.

A Catania, a fronte di uno schema distributivo unico, è l'aspetto estetico e in parte quello tecnico - come si vedrà di seguito - a connotare e contestualizzare ciascun edificio. In particolare, si distinguono due gruppi: il primo comprende i progetti di fine Ottocento - inizio Novecento redatti dall'ingegnere Gentile Cusa, il secondo i progetti ultimati negli anni Trenta.

Gli edifici del primo gruppo (Figure 2 e 3), sono caratterizzati da un'estetica che si rifà ai canoni dell'architettura neo-rinascimentale, eletta alla fine del XIX secolo come stile nazionale: sono compatti, massivi, monumentali, ideati secondo una logica compositiva basata sulla simmetria e sull'organizzazione gerarchica delle facciate e dei suoi elementi, ripetuti in maniera seriale. Per via del numero, le finestre rappresentano l'elemento principale che caratterizza le facciate e sono sia del tipo architravato che del tipo ad arco, ribassato o a tutto sesto[4].

Fig. 2 – Edifici scolastici: Biscari.

Negli edifici realizzati negli anni Trenta il registro stilistico cambia. Dal punto di vista della critica architettonica, il periodo fu caratterizzato, a livello nazionale, da aspri e polemici dibattiti fra chi sosteneva la tradizione e chi la modernità. La tensione fra questi due poli venne vissuta anche dai professionisti catanesi e le opere realizzate in questo periodo storico ne sono una testimonianza, compresi gli edifici scolastici.

Fig. 3 – Edifici scolastici: Battisti.

Nel Caronda e nel Rapisardi, in Figura 4, sopravvive ancora la traccia dei progetti ottocenteschi, ma compaiono già alcuni significativi elementi di novità. Una gerarchia più marcata esiste fra le facciate rivolte verso il cortile e quelle rivolte verso la città. Queste ultime sono ricche di elementi architettonici singolari che interrompono la monotona serialità delle finestre. Ai portoni d'ingresso è data maggior enfasi, sia sotto il profilo dimensionale che decorativo; nicchie, lunette cieche, timpani spezzati, piccoli obelischi, frontoni e archi di trionfo posticci, sono alcuni degli elementi che arricchiscono le facciate. Nel caso dell'edificio Rapisardi, un fastigio, demolito quando venne realizzata la soprelevazione, coronava la facciata principale. Tutti questi elementi sono riconducibili al repertorio stilistico del neoclassicismo-novecentesco.

Fig. 4 – Edifici scolastici: a sinistra Caronda (S.N., 1932); a destra Rapisardi (S.N., 1933).

Fig. 5 – Edificio scolastico XX Settembre.

L'edificio XX Settembre, in Figura 5, è quello meno legato alla tradizione. I portoni d'ingresso dominano i settori d'angolo della facciata principale e la loro importanza è esaltata dalla presenza del balcone e della portafinestra che costituiscono un *unicum*. La scansione in paraste della facciata principale, sottolineata dal contrasto cromatico con lo sfondo, oggi poco visibile, i pilastrini arrotondati nelle finestre polifore dei bagni, le finestre circolari della palestra rimandano al razionalismo.

In questi tre edifici ricorrono alcuni elementi decorativi dettati dal carattere comunicativo e persuasivo dell'architettura degli anni Trenta, piena di retorica e significati politici. Essi rappresentano gli emblemi del fascismo[5] e del comune di Catania e talvolta il nome dell'istituzione scolastica, o semplicemente la destinazione d'uso dell'edificio. Solamente nell'edificio Rapisardi si trovano anche lo stemma sabaudo e i simboli del libro e del moschetto, chiaro riferimento a un noto motto del tempo.

4. Materiali e tecniche costruttive

Così come per gli aspetti estetici, anche per quelli costruttivi i regolamenti nazionali forniscono indicazioni di massima. Era richiesto che gli edifici fossero di "solida costruzione" e che fosse evitato l'impiego di materiali di "puro lusso", così come riportato nel R.D. 5808/1888 all'art. 4 commi 1 e 2. Per alcuni elementi, ad esempio i serramenti, i pavimenti e gli intonaci, erano prescritti requisiti prestazionali di carattere generale.

Per tener conto della grande varietà di materiali da costruzione esistenti in diverse parti della Penisola, i regolamenti imponevano di usare quelli che "*localmente sono*

più facili ad aversi". Ciò ha favorito l'impiego di soluzioni costruttive tradizionali ma, grazie alla libertà implicitamente concessa dagli stessi testi legislativi, venne dato spazio anche a soluzioni innovative.

Sotto questo punto di vista, gli edifici costruiti a Catania sono emblematici. Numerosi elementi tecnici sono realizzati secondo la tradizione (Randazzo, 1988) e sono comuni a tutti gli edifici analizzati, sia quelli ottocenteschi, sia quelli ultimati negli anni Trenta. I setti murari sono realizzati con blocchi squadrati di pietra lavica, denominati "cannarozzoni", e malta di calce e ghiara o azolo, due aggregati tipici del territorio etneo. Gli elementi decorativi, ad esempio i cornicioni, le lesene e le cornici delle finestre e dei portoni, sono in pietra calcarea, proveniente dal territorio siracusano; solamente nell'edificio Caronda essi sono realizzati con malta stesa per mezzo di modine su un'ossatura in muratura, soluzione più economica rispetto alla prima. Tutti gli edifici hanno un basamento realizzato con blocchi in pietra lavica a vista lavorata a bocciarda. Dal capitolato speciale d'appalto dell'edificio Biscari si evince che il rivestimento esterno originario era costituito da un intonaco a pastiglia, steso su un arriccio in malta di calce e ghiara ed un rinzaffo in malta di calce e azolo; la tinteggiatura era realizzata a calce. Anche nei locali interni l'intonaco era realizzato con malta di calce; la parte inferiore delle pareti, fino a circa 1,5 m, era tinteggiata con una pittura a base di olio di lino cotto, in modo tale da poter essere pulita più facilmente, come prescritto dal comma 8 dell'art. 7 del R.D. 5808/1888. Il tetto è costituito da una struttura principale a capriate lignee, arcarecci e un manto di copertura in coppi e canali. Quasi tutti i portoni, le porte delle aule e le finestre originari non sono più esistenti. Dal capitolato speciale d'appalto dell'edificio Biscari si evince che dovevano essere in legno, ma non viene specificata né la tipologia né la forma. Nel Rapisardi e nel Caronda si possono ancora vedere alcune porte delle aule, a doppia anta, prive di sopraluce, nonostante il comma 9 dell'art. VII del R.D. 12/1912 lo prescrivesse esplicitamente al fine di migliorare l'illuminazione degli ambienti.

Mentre gli elementi descritti finora furono realizzati secondo la tradizione, altri furono il frutto dei progressi della tecnica nel campo dei materiali da costruzione. Ad esempio, per ciò che riguarda le finiture, l'utilizzo di pavimenti in "*quadrelle di cemento policrome*", prodotte a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, è comune a tutti gli edifici analizzati. Per ciò che concerne gli elementi strutturali, nelle chiusure orizzontali si registra, invece, un graduale passaggio a soluzioni costruttive innovative che in quegli anni cominciava a compiersi. Negli edifici ottocenteschi la chiusura orizzontale di base e quelle intermedie erano costituite da volte. Nell'edificio Biscari, Gentile Cusa prescrisse la realizzazione di volte di mattoni per i sotterranei[6], in pomice e gesso per i piani intermedi, e in canne e gesso[7] per separare gli ambienti dell'ultimo piano dal sottotetto. Tuttavia, in corrispondenza dell'ambiente multifunzionale al primo piano, visibile in Figura 6, egli propose di realizzare un solaio con travi a doppio T e voltine in pomice e gesso, riservandosi di sostituirlo con

Fig. 6 – Edificio scolastico Biscari. Solaio della sala multifunzionale al primo piano.

un solaio di cemento siderale. La novità introdotta *in nuce* nell'edificio Biscari venne applicata in maniera estensiva in tutti gli edifici ultimati negli anni Trenta. Dal capitolato generale di appalto per le opere pubbliche della Città di Catania del 1938 (Comune di Catania, 1938) si evince che i solai con struttura in calcestruzzo armato erano costituiti da una "*soletta e nervature ad un sol senso od incrociate*". Inoltre, fra le specifiche si legge: "*si dovrà evitare che le nervature dei solai poggino direttamente sulla muratura ordinaria dei muri d'ambito dei locali da coprire con essi, costruendo invece, cordoli di cemento armato sui muri ai quali le nervature andranno ad adattarsi*". Queste caratteristiche sono chiaramente leggibili negli edifici Caronda, Rapisardi e XX Settembre, come mostrato in Figura 7.

Fig. 7 – Edifici scolastici: Caronda, solaio della sala multifunzionale al piano terra (a sinistra); Edificio XX Settembre, particolare della facciata (a destra).

Conclusioni

Gli edifici scolastici realizzati a Catania prima del secondo conflitto mondiale, rappresentano un emblematico esempio di applicazione delle direttive nazionali che hanno regolamentato la costruzione degli edifici scolastici italiani per oltre mezzo secolo.

Nonostante l'adozione di un unico schema distributivo ed i numerosi vincoli imposti dai regolamenti nazionali, tutti i progetti presentano delle specificità che li rendono unici e distinguibili e che testimoniano alcune fasi del progresso delle tecniche costruttive e dell'aggiornamento degli stili architettonici avvenuti nel corso del periodo storico considerato. Tutto ciò dimostra che la costruzione degli edifici

scolastici non è stata soltanto una sterile e meccanica applicazione di norme imposte dall'alto, ma anche un'occasione per sperimentare soluzioni nuove.

Ringraziamenti
Desidero ringraziare la prof.ssa C. Mosca, dirigente dell'I.C. Cavour, ed il prof. S. Di Stefano, dirigente dell'I.C. Coppola, per aver concesso l'autorizzazione alla pubblicazione delle fotografie degli interni degli edifici Biscari e Caronda.

Bibliografia
Comune di Catania. 1938, *Capitolato generale di appalto per la esecuzione delle opere dipendenti dall'amministrazione comunale di Catania* (a cura dell'Ufficio Tecnico). Catania: tip. F.lli Viaggio-Campo.
De Turris G. 2006. *Esoterismo e Fascismo*. Roma: Edizioni Mediterranee.
Gentile Cusa B. 1888. *Piano Regolatore pel risanamento e per l'ampliamento della città di Catania*. *Progetto del B.ne B. Gentile Cusa, ing. Dell'Ufficio d'Arte*. Catania: Galàtola.
Giaccone D. 2016. Gli edifici per l'istruzione primaria nella cultura architettonica ottocentesca: il contributo di Torino per la definizione del tipo scolastico italiano. *Annali di architettura. Rivista del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio*, 28, 125-132.
Giaccone D. 2017. *Gli edifici scolastici in Italia dall'Unità nazionale alla seconda guerra mondiale. Un caso studio: Catania*. Roma: Aracne.
Municipio di Catania. 1902. *Relazione sommaria sui progetti per la costruzione dei Casamenti scolastici in Catania* (a cura dell'Ufficio d'Arte). Catania: Galàtola.
Randazzo G. 1988. Le strutture murarie negli edifici del centro storico di Catania. In: *Materiali e tecniche costruttive della tradizione siciliana*. Documento 16 dell'Istituto Dipartimentale di Architettura e Urbanistica dell'Università di Catania, 109-143.
S.N. 1932. Le cerimonie inaugurali delle opere pubbliche. *Il Popolo di Sicilia*, 29 ottobre 1932.
S.N. 1933. La celebrazione dell'XI annuale della Marcia su Roma a Catania. *Catania. Rivista del Comune*, V (5), 247-249.

Testi legislativi citati nell'articolo
R.D. 30 novembre 1888 n. 5808, *che approva l'annesso regolamento per l'esecuzione della legge 8 luglio 1888 n. 551.*
R.D. 15 novembre 1900 n. 484, *che approva il Regolamento sui prestiti a Comuni e Province per provvedere alla costruzione, all'ampliamento od ai restauri degli edifizi scolastici*.
R.D. 11 gennaio 1912 n. 12, *col quale viene approvato il regolamento per l'applicazione delle leggi 15 luglio 1906, n.363, e 4 giugno 1911, n. 487, nelle parti relative alle disposizioni per gli edifici scolastici.*
R.D. 01 maggio 1925 n. 1432, *Norme per la compilazione dei progetti per la costruzione degli edifici scolastici.*
R.D. 27 maggio 1940 n. 875, *Approvazione di nuove norme per la compilazione dei progetti di edifici scolastici per le scuole elementari e preelemetari.*
R.D.L. 12 dicembre 1926 n. 2061, *che dichiara il fascio littorio emblema dello Stato.*

Note

1. Per ragioni igieniche e morali venne contestata la vicinanza delle aree scelte a quelle in cui sorgevano l'ospedale Vittorio Emanuele e il carcere, come si può dedurre dai documenti conservati presso l'Archivio Centrale dello Stato, Min. LL. PP., Dir. Gen. edilizia statale e convenzionata, Div. XVII, edilizia scolastica: Disegni e progetti 1920-1930, b. 87, *Municipio di Catania. Progetti per la costruzione di edifici scolastici in Catania.*
2. L'inaugurazione di questi edifici venne pubblicizzata sia nei quotidiani locali, sia nella rivista ufficiale del comune di Catania.
3. La planimetria è conservata presso l'Archivio Storico Comunale di Catania; Fondo U.T.C., progetti edilizi, pratica n. 48/1928 intestata a: Comune di Catania, oggetto: *Scuola Comunale in via Libertà*.
4. L'utilizzo delle finestre ad arco venne vietato a partire dal 1912, per effetto del comma 2, art. VII del R.D. 12/1912.
5 Con il R.D.L. 12 dicembre 1926 n. 2061, il Fascio Littorio fu dichiarato emblema dello Stato. Successivamente "*fu imposto che esso dovesse comparire a fronte degli edifici dei comuni, delle province, congregazioni di carità ed enti parastatali, oltre che nei loro atti ufficiali*» (De Turris, 2006, 18).
6. I regolamenti prescrivevano che il pianterreno fosse almeno a 80 cm rispetto al piano stradale (R.D. 5808/1888, art. 4, co. 5).
7. Le volte in canne e gesso erano costituite da centine lignee, poggianti sulle murature, cui erano inchiodate stuoie di canne palustri rifinite all'intradosso con malta di gesso (Randazzo, 1988).

Margherita Bongiovanni, Marianna Gaetani

Per la nuova sede del Politecnico di Torino: studi, progetti, realizzazione (1939-1958)

Abstract
The inauguration of the headquarters of Politecnico di Torino in corso Duca degli Abruzzi on 5 November 1958 marked the conclusion of a 20 year long discussion and decision-making and planning process. This process inevitably involved the whole city in crucial years of its history. Previously, Politecnico held his seat in historical buildings created for other purposes, such as the old Regio Museo Industriale. The fascist government had already strongly supported the construction of a new site. When the Regio Museo Industriale was heavily damaged during the allied bombing in 1942, a dedicated building for Politecnico became a necessity. The long phase of discussion and design took a positive turn, in two decisive moments. In 1949, it was decided to build on the site of the former Stadium, thus stopping the endless discussion of possible locations. In 1953, the arrival of the Sezione Costruzioni e Impianti of Fiat Engineering directed by Vittorio Valletta gave the decisive impetus to the construction site, and allowed the development of the building as seen today. Subsequent changes included the so-called Raddoppio del Politecnico, in the 1990s. Fiat was able to understand the needs of an ambitious Politecnico, mediating the desires of the many engineering faculties present within it. This synergy led to the construction of a building located in a strategic area of the city that is still transforming. This story, never told before, has been the subject of a complex but fascinating investigation. It involved numerous archives, including, those of Politecnico, and also led to the realization of an exhibition held in the corso Duca degli Abruzzi site during the celebrations the 60th anniversary of its inauguration.

Introduzione

Il Politecnico di Torino, nei suoi tanti anni di storia, nel crescente numero di iscritti e docenti e nelle sempre più forti ambizioni che da ciò derivano, è sempre stato in grado di aprire discussioni che coinvolgessero tutta la città, da quelle riguardanti l'organizzazione dei suoi spazi per la didattica, per la ricerca e per la vita, a quelle, più in generale, sul suo ruolo nella costruzione della Torino del '900, in costante crescita sin dai primi decenni del secolo, almeno fino all'immediato secondo Dopoguerra. Qui si inserisce la vicenda legata alla realizzazione della sede di corso Duca degli

Abruzzi, che ospita tuttora buona parte dei corsi di Ingegneria, inaugurata nel 1959 dopo decenni di discussioni, polemiche, cambi di rotta e attori. Questa ricostruzione è stata possibile, come mai prima era stato tentato, anche grazie a una lunga ricerca, che ha fatto emergere una storia a tratti sorprendente.

Il lavoro d'archivio

Per ricostruire una vicenda tanto complessa è stato necessario impostare un'ampia indagine archivistica oltre che, seppur in misura minore, bibliografica, che ha richiesto diversi mesi di lavoro.

La ricerca non poteva che partire dall'Archivio Storico del Politecnico, dove è conservata buona parte dei documenti. I fondi più antichi che l'Ateneo conserva sono quelli inventariati della "Biblioteca di Direzione" e della "Direzione Amministrativa", nei quali trovano collocazione le carte relative all'attività della Scuola di applicazione e del Museo Industriale, oltre che del Regio Politecnico, che dalla fusione dei due istituti ha avuto origine nel 1906. Questi due fondi, ricchi anche di documentazione iconografica, conservano le serie archivistiche relative ai regolamenti degli Istituti e del Regio Politecnico, all'attività didattica e ai viaggi di istruzione degli studenti, alle commemorazioni e alle celebrazioni, alla carriera dei docenti e alle onoranze pubbliche a loro tributate, all'origine degli Istituti, all'attività contabile e a quella relativa all'edilizia, da cui sono emersi molti dati utili per la ricerca. In un altro archivio dell'Ateneo, quello di Architettura della Biblioteca Centrale "Roberto Gabetti", sono inoltre conservate diverse tavole all'interno dei fondi di alcuni dei progettisti coinvolti, a vario titolo, nel lungo iter.

La ricerca è poi proceduta all'interno dell'Archivio Storico della Città di Torino, in cui, oltre agli atti del Consiglio Comunale e ai verbali delle sedute della Giunta Popolare, sono stati rintracciati anche alcuni numeri della *Gazzetta del Popolo*, ormai leggendario quotidiano torinese che ha cessato le proprie attività da circa ormai quaranta anni. La ricostruzione degli eventi principali è stata possibile anche grazie all'Archivio Storico di un altro quotidiano torinese, *La Stampa*.

Tra i fondi di collezione privata, quello all'interno dell'Archivio Giovanni Muzio, a Milano, ha permesso di rintracciare numerose tavole prodotte da Muzio, mentre l'Archivio Maire Tecnimont, fondo Fiat Engineering, anch'esso a Milano, e, a Torino, l'Archivio Guido Radic, conservano materiali relativi all'ultima fase della progettazione, con Fiat e la supervisione, appunto, dall'architetto Radic.

Da Cascina Ceresa a corso Duca degli Abruzzi (1939-53)

Il 1939 è un anno importante, qui individuato come possibile inizio della vicenda: Benito Mussolini approva il progetto di massima per il Politecnico di Torino su un'area nei pressi del complesso ospedaliero delle Molinette, individuata dalla presenza della Cascina Ceresa. La soluzione a un problema posto da più di vent'anni, rispetto

Fig. 1 – Plastico del progetto per Cascina Ceresa (AST).

al quale, secondo l'opinione generale, il Politecnico pare essersi limitato alla continua rifunzionalizzazione di locali "*creati per tutt'altra destinazione*"[1]: ci si riferisce all'ex Museo Industriale di via dell'Ospedale, già convento, poi sede del Ministero della Guerra, nel centro di Torino, in cui hanno trovato spazio diversi laboratori. Una commissione, presieduta dai professori ingegneri Mario Bianco ed Enrico Bonicelli, definisce in tempi rapidi le linee generali approvate dal Duce. Tale soluzione, mostrata in Figura 1, è "*radicale e grandiosa e* […] *guarda all'avvenire*", per divenire "*forza e vanto di Torino. Lo sarà anche più e meglio domani [quale] palestra esemplare di giovinezza fascista*"[2]. Nel 1940, dopo una fase di progettazione in realtà piuttosto complicata, si dà il via ai lavori.

La Seconda Guerra Mondiale, però, rallenta molto il cantiere, secondo alcuni mai proseguito oltre la "*farsesca cerimonia del primo colpo di piccone*"[3], anche perché i finanziamenti non sono mai stati erogati, obbligando la sede di via dell'Ospedale ad adattarsi alle esigenze emergenti. Fino però al 1942, quando questo edificio è bombardato, distruggendo oltre la metà della cubatura originaria. Meno danneggiato risulta il Castello del Valentino, dove il direttore del Politecnico Aldo Bibolini decide di raccogliere quanto si è potuto salvare, ospitando i professori rimasti senza aule e uffici.

Nel 1945, partita la ricostruzione, il problema si ripresenta in tutta la sua urgenza. Scartata la possibilità di tornare all'idea di Cascina Ceresa, si opta per la ricostruzione in una sede considerata "*degna […] sicuramente bastevole per molti anni*"[4] proprio in via dell'Ospedale, con il progetto redatto dall'ing. arch. Giovanni Chevalley.

Nel 1947 però, ricordando che una nuova sede "*più corrispondente alle esigenze del Politecnico*"[5] in questa ubicazione piuttosto limitata richiederebbe un edificio di almeno otto piani, altezza giudicata insostenibile per varie ragioni, il progetto di Chevalley è bloccato. Questo, in realtà, è già stato osteggiato, tra gli altri, dagli studenti, secondo cui non sarebbero possibili i futuri ampliamenti, immaginati come

certi, né l'adozione di costruzioni orizzontali a padiglioni, considerata la soluzione più congeniale. Nel 1948, dopo aver vagliato diverse altre possibilità, il Consiglio Comunale delibera che si costruisca il complesso al Parco del Valentino, non lontano dal Castello: soluzione, tra l'altro, su cui si discute da anni. Il Ministero dei Lavori Pubblici indice allora un bando di concorso nazionale per un progetto di massima.

Anche in questo caso, però, non mancano le polemiche, che riguardano come al solito le dimensioni dell'area, che non permetterebbero ampliamenti futuri, la pendenza del terreno, che non consentirebbe di costruire una cubatura sufficiente, e l'importanza del Parco del Valentino come "*polmone verde*"[6] per la città, da non poter comprimere. Quando, nel 1949, la commissione giudicatrice del concorso sta per riunirsi, il prof. ing. Eligio Perucca, divenuto nel frattempo direttore al posto di Bibolini, afferma di essere consapevole che la soluzione del Valentino non sia "*immune da inconvenienti*"[7], e si dichiara quindi disposto a ricevere una diversa proposta, ma entro soli quindici giorni, nel rispetto dell'urgenza della ricostruzione. La proposta arriva dall'Unione Industriale di Torino che ha concentrato la propria attenzione sull'area dell'ex Stadium comunale, realizzato per l'Esposizione Universale del 1911 in corso Duca degli Abruzzi. Un'opzione già emersa in passato, ma scartata dalla Municipalità che non ha voluto privarsi dei certi, cospicui proventi derivabili dalla cessione dell'area a privati. L'Unione Industriali offre al sindaco 300 milioni, che potrebbero permettere il potenziamento dei laboratori nel caso egli volesse tornare sui suoi passi e cedere il terreno gratuitamente, come avverrebbe, d'altronde, per il Valentino.

Dopo lunghi dibattiti e molte polemiche, la Giunta Comunale accetta, deliberando prima la cessione dell'area dello Stadium, poi la revoca della donazione dell'area del Valentino oggetto del concorso, che però resta ancora da concludere. La commissione ufficializza allora i risultati: vincono ex aequo il gruppo torinese guidato da Giovanni Astengo e quello di Francesco Castiglioni; al secondo posto il progetto di Adalberto Libera, in Figura 2.

Fig. 2 – Il progetto di Adalberto Libera per il Parco del Valentino (ASP).

Si decide poi di formare "un collegio di architetti con la collaborazione dei professori", con i primi prescelti in base ai risultati del concorso, e invitando poi tutti i vincitori e alcuni tra i segnalati. Per ognuno di loro, la stessa regola: "entrando [nel] collegio di studio, rinuncerebbero naturalmente alla loro figura di progettisti per assumere quella di collaboratori nello studio del progetto definitivo". Questo sarebbe suddiviso "per settori": i "professori capi-materia" dovranno coordinare l'operato dei progettisti sulla base delle esigenze tecniche dei vari settori, mentre un "coordinatore incaricato" controllerà l'organizzazione generale del complesso. Per evitare però che questo assuma "un carattere piatto e impersonale" - in un progetto bisognoso di diverse modifiche per essere adattato all'area di corso Duca degli Abruzzi, molto differente rispetto a quella del Valentino - saranno banditi "concorsi parziali" per le "parti rappresentative"[8], come aula magna, biblioteche e sala conferenze.

Il C.d.A. del Politecnico decide subito che sia Giovanni Muzio, che aveva lavorato pure per Cascina Ceresa, a fare da coordinatore. Egli a sua volta sceglie i suoi compagni di lavoro, tra cui Astengo, che però non accetterà l'invito, in polemica col Politecnico per questa nuova impostazione data al progetto. Egli, infatti, poco tempo prima aveva inviato una lettera a Perucca, scritta insieme agli altri professionisti con cui aveva partecipato al concorso, ritenendo "*di poter esprimere il loro pensiero in merito alla miglior soluzione da adottare*", essendo per loro "*ovvio* [...] *e onesto*" che coloro che abbiano "*subìto un esame tanto rigoroso*" non siano "*messi da parte*", all'interno di quel *collegio* ora voluto dal Politecnico.

Secondo Astengo, inoltre, l'idea, facilmente considerabile, di riadattare il progetto per l'area di Cascina Ceresa, è comunque "*insostenibile*", per ragioni "*tecniche*" come la mancanza di aule piccole, le circolazioni "*poco chiare*" in corridoi troppo larghi, l'uso "*antieconomico*" della pietra; "*di sollecita progettazione*", perché il riadattamento di un progetto è "*faticoso*"; di "*sollecita approvazione*" delle Autorità, che non si accontenteranno di "*soluzioni di ripiego*" non adeguate ai nuovi prezzi e a un piano finanziario aggiornato; di "*giustizia*"[9], nel caso si trascuri un concorso, per di più nazionale. Astengo e i suoi colleghi concludono la loro missiva ricordando come, in quasi dieci anni, loro abbiano partecipato a buona parte degli studi per il nuovo Politecnico, da quello per via Giolitti, a quello di Piazza d'Armi, fino a quello del Parco del Valentino e che, inoltre, hanno già studiato una planimetria per corso Duca degli Abruzzi, tutti motivi, questi, per cui assicurano di poter consegnare i disegni esecutivi già entro tre mesi dalla data dell'eventuale incarico.

Tale offerta non viene però accettata. Nel 1950 Muzio e il suo collegio mostrano già una prima bozza del progetto per gli istituti di Ingegneria, in Figura 3, cui si aggiunge quello per Architettura redatto da Carlo Mollino, che però non sarà mai realizzato.

Pur ottenendo l'approvazione del Ministero dei LL.PP., e raccogliendo i favori dell'ing. Vittorio Bonadè Bottino, responsabile della Sezione Costruzioni Impianti della Fiat - che ammette di seguire con interesse la questione del Politecnico - il

Fig. 3 – Studi preliminari di Giovanni Muzio per corso Duca degli Abruzzi (AGM).

progetto di Muzio si arena presto. Nel 1951 mancano ancora molti disegni esecutivi degli edifici già appaltati, e la somma stanziata, nonostante tali mancanze, risulta già superata. Le lamentele della direzione del Politecnico, cui si aggiungono quelle delle ditte coinvolte nel cantiere, logorano il rapporto tra questa e Muzio, che difende il suo lavoro pur ammettendo le difficoltà riscontrate nel riuscire a definire alcuni dettagli dell'operazione che soddisfino i tanti istituti di Ingegneria. Alla fine egli chiederà di essere esonerato, e il suo posto di capo dell'Ufficio Tecnico sarà preso dal direttore dell'Istituto di Architettura, prof. Giuseppe Maria Pugno.

Neanche questa collaborazione, però, riuscirà a durare fino alla conclusione dei lavori. Pugno propone una diversa organizzazione dell'Ufficio Tecnico, cercando di ovviare ai problemi insorti durante la 'fase Muzio', come "*il cimitero di stanze*"[10] senza ricercatori cui il gran numero di fabbricati per ogni facoltà ha condotto e l'annosa questione della copertura a shed, ma non riuscendo a velocizzare la definizione degli esecutivi ancora rimanenti, né il cantiere. Ciò porta la direzione del Politecnico, nel 1953, a una sorta di ultimatum sotto forma di Convenzione, subito rifiutata con forza da Pugno, che quindi rassegna le dimissioni.

L'arrivo di Fiat Engineering

Mentre l'uscita di scena di Pugno è ufficializzata, nonostante egli si dichiari a disposizione per il completamento degli elaborati da lui iniziati, insieme a quella dello scioglimento dell'Ufficio Tecnico da lui diretto, è istituita una nuova Commissione, che decide di avvalersi di competenze tecniche speciali, stavolta esterne alla scuola, per lo sviluppo del progetto esecutivo. La direzione del Politecnico stipula quindi, nel maggio del 1953, un accordo con la Sezione Costruzioni e Impianti della Fiat, allora nota per la competenza dei suoi tecnici, nonché per il "*particolare attaccamento al nostro Politecnico*"[11] del presidente Vittorio Valletta. La direzione del Politecnico decide pure che i fondi precedentemente stanziati per l'edificio sede di Architettura

Fig. 4 – Prospettive a cura dalla Sezione Costruzioni e Impianti Fiat (AGR).

progettato da Carlo Mollino siano ora destinati per la sistemazione del Castello del Valentino, scelta come futura sede dell'Istituto.

Il progetto Fiat è curato dall'arch. Guido Radic, con la consulenza degli architetti Annibale Vitellozzi e Cesare Bairati nonché dell'ing. Arturo Danusso per le parti di maggiore complessità, come il calcolo delle travi a traliccio, in Figura 4.

L'ingresso della Fiat porta subito una razionalizzazione della comunicazione con i vari istituti di Ingegneria, che da questo momento deve passare attraverso il direttore e non più attraverso i progettisti, come avvenuto fino a quel momento, e alla definizione di una prima proposta di massima (tra cui due proposte di facciata, una delle quali disegnata da Vitellozzi) per l'Aula Magna, nel settembre del 1954.

A gennaio del 1955 la mancanza di finanziamenti certi tiene ancora banco, non permettendo al cantiere di procedere con la velocità sperata, nonostante la squadra della Fiat abbia consegnato quasi tutti gli esecutivi richiesti. Il nervosismo è tale che Giuseppe Romita, ministro dei LL.PP. ed ex allievo della scuola, arriva a inviare una lettera alla direzione della *Gazzetta del Popolo*, rea di aver ironizzato sul completamento dei lavori in un articolo dall'inequivocabile titolo "Il Politecnico del Duemila" dove si è messa in dubbio la promessa che il ministro ha fatto ai dirigenti del Politecnico.

Nel maggio dello stesso anno, Perucca afferma di stare assistendo a una progressione nel ritmo dei lavori "*che lascia ben sperare*", ma che comunque accetta "*a malincuore*" di prendere la nuova sede in consegna anche incompleta della parte rappresentativa, pur di avere in efficienza quella scientifico-didattica, per cercare di contrastare il trasferimento di numerosi studenti. Tutta la direzione conviene in maniera unanime che il principale problema da affrontare sia ora quello di un ulteriore finanziamento, per opere non previste, perlomeno non nella misura attuale, nel primo progetto generale di massima. In accordo con Romita, quindi, si propone di concentrare tutte le attuali disponibilità nel completamento delle costruzioni già iniziate: una volta ottenuti i fondi richiesti, si proseguirà "*senza interruzioni*"[12] con i fabbricati mancanti del secondo blocco, ritenuto, oltre che molto importante per la

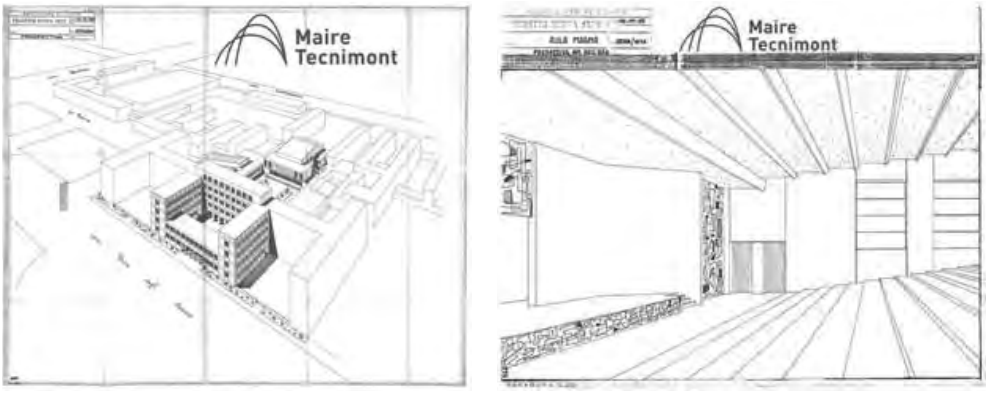


Fig. 5 – Prospettive esterna su corso Duca e interna dell'aula magna. AMT.

rappresentazione del Politecnico, pure più impegnativo e costoso poiché comprende, tra gli altri, aula magna, direzione e rettorato.

Fortunatamente per Perucca, a ogni modo, nel dicembre del 1955 Valletta e Bonadè Bottino a nome della Fiat, con Gianni Agnelli e l'ing. Giovanni Nasi a nome degli eredi di Giovanni Agnelli, rendono nota la decisione di voler costruire a proprie spese parte di tale blocco, in Figura 5, "*nell'intento di onorare la memoria del grande industriale*"[10] a dieci anni dalla scomparsa del senatore.

Ciò porta il corpo accademico del Politecnico ad approvare all'unanimità, nel gennaio del 1956, la dedica della futura aula magna a Giovanni Agnelli, laureato *honoris causa* in Ingegneria presso il Politecnico. La donazione dei suoi eredi e della Fiat permetterà di costruire una biblioteca di cinque piani, il cortile d'onore con il suo "*colonnato monumentale*", e un "*grande fabbricato*" che a piano terra conterrà la "*sala per ritrovi*", la sala conferenza, la sala riunioni per gli studenti e locali di sosta, mentre al primo piano, accessibile per mezzo di due grandi gradinate, la vera e propria aula magna, un "*grandioso semicerchio*" da mille posti. Un busto di Agnelli ricorderà ai futuri ingegneri "*di che cosa fu capace questo grande capitano d'industria per il progresso della nazione e* […] *di Torino*"[13].

IL MUNIFICO GESTO DELLA FIAT HA AVVIATO ALLA SOLUZIONE L'ANNOSO PROBLEMA

Entro l'anno il nuovo Politecnico potrà aprire le porte agli studenti

Diciotto istituti saranno pronti in ottobre nella nuova sede, che comprenderà i palazzi della direzione, della biblioteca e dell'aula magna - Al nome di Giovanni Agnelli, laureato «ad honorem» nel 1937, sarà intitolato il grande salone delle riunioni

Fig. 6 – Articolo apparso sulla Gazzetta del Popolo il 5 gennaio 1956 (AST).

Per molti, l'impegno della Fiat contribuirà al completamento di tutto il complesso entro la fine del 1956, in Figura 6: i fabbricati donati sono considerati il cuo-

re del complesso, la parte "*monumentale e di rappresentanza, scintillante di marmi e fedele alla tradizione di grandiosità delle università italiane*"[14]. Sulla sezione torinese de L'Unità è invece espresso il timore che "*anche il Politecnico possa diventare una dipendenza della Fiat*"; riguardo alla dedica dell'aula magna ad Agnelli, che avverrà agli inizi del '56, "s*olo*" per via della donazione, non si ritiene che il suo nome sia il più indicato a esprimere e sintetizzare "*la gloriosa tradizione culturale, scientifica e tecnica*"[15] di Torino, nonostante gli indubbi ingegni e meriti del personaggio. A ogni modo, ciò porta a un ulteriore finanziamento da parte del Comune, per la realizzazione di un padiglione da intitolare alla Città di Torino, e a una Convenzione voluta dalla Provincia, che provvederà alla gara d'appalto per i lavori interessati.

Mentre però la costruzione di questo padiglione procede a rilento, quella relativa alla donazione Fiat-Agnelli va più spedita, al netto di alcune modifiche in corso d'opera: il Consiglio Superiore dei LL.PP., che ha già dato un preventivo parere favorevole, ha chiesto di dare alla parete di fondo dell'aula magna, per la quale nel frattempo la ditta dell'ing. Franco Borini, Figli & Co. si è aggiudicata l'appalto per l'esecuzione delle opere murarie, del cemento armato e dei finimenti interni, e a quella del sottostante salone per ricevimenti, un andamento curvilineo, con la convessità verso l'esterno, per ottenere una forma ancora più confacente all'importanza funzionale e di rappresentanza di questi ambienti, e ha anche chiesto particolare cura nei confronti del pannello decorativo in mosaico, immaginato sulla facciata principale verso il cortile d'onore, per i quali è persino valutata la possibilità di indire un bando di concorso nazionale.

Arrivati alla fine del '56, neanche il cedimento di alcuni solai sollecitati unicamente dal loro peso in uno dei fabbricati realizzati dalla Fiat, che ha già superato il collaudo della Commissione del Ministero dei LL.PP., può interrompere il sereno corso dell'iter, e la Commissione del Senato approva in maniera definitiva il disegno di legge per l'ultimo finanziamento occorrente. Nel frattempo anche i lavori affidati all'impresa dei fratelli Cena, da compiere con parte dei fondi provinciali, proseguono con velocità "*discreta, sebbene non paragonabile a quella dei lavori diretti dalla Fiat*"[16], mentre l'Amministrazione comunale dà l'avvio alla redazione degli atti per gli appalti delle opere da realizzare col suo finanziamento, seguendo la faccenda anche per mezzo di Pugno, ora assessore comunale.

Nel 1957 il prof. Antonio Capetti, divenuto nel frattempo direttore del Politecnico, ipotizza che il trasferimento dal Castello del Valentino a corso Duca possa essere completato entro l'anno, mentre i lavori saranno conclusi entro il 1958; la Fiat rende noto che per lo stesso periodo tutti i fabbricati da essa eseguiti saranno completati, negli impianti ma anche nell'arredo, in parte fornito dalla Olivetti.

E così sarà. Il 5 novembre 1958 la nuova sede del Politecnico di Torino è inaugurata, alla presenza del Presidente della Repubblica Giovanni Gronchi e di diverse altre autorità. A essere realizzato è un impianto quasi assiale, con una distribuzione classicamente *a pettine*, in cui si articolano circa trenta corpi, distribuiti attraverso

Fig. 7 – Atrio antistante all'aula magna (AGR).

uno schema volutamente gerarchizzato, contenenti spazi per la didattica e la ricerca, uffici e laboratori, realizzati con telaio in cemento armato e solaio in laterocemento, relativi a tutti gli istituti che all'epoca compongono la scuola politecnica torinese: fisica sperimentale, fisica tecnica, chimica, geologia e mineralogia, scienza delle costruzioni, costruzioni in legno-ferro-cemento, trasporti e strade, idraulica, elettrotecnica, tecnologia e meccanica applicata. Ci sono inoltre i fabbricati per la direzione, il rettorato, le segreterie, le aule per il triennio, per il biennio e per il disegno, la biblioteca, l'aula magna in Figura 7, e gli alloggi per i custodi.

Più nello specifico, i laboratori sono dissimili tra loro, progettati in funzione della disciplina di volta in volta ospitata, a ogni modo generalmente di ampiezza tale da consentire il funzionamento di impianti, all'epoca considerati all'avanguardia e anche molto ingombranti. I corpi con le attività direttive e di rappresentanza sono disposti in prossimità dell'ingresso principale, su corso Duca degli Abruzzi (Fig. 8). L'aula magna, in particolare, si affaccia sul cortile, posta in posizione centrale rispetto all'asse d'accesso del corso e si estende su due livelli: al primo piano, l'aula principale con sviluppo a gradoni, riproposta anche nel fabbricato per il triennio, pure su due livelli; al piano terra, una seconda sala con struttura e portali sagomati in cemento armato. Il rivestimento esterno è in granito lucidato e pietra di S. Gottardo.

Alla conclusione dei lavori, il consuntivo darà conto di tutti coloro che hanno partecipato al finanziamento dell'opera. Oltre agli Agnelli, i contributi per la nuova sede sono stati offerti da Comune di Torino (parte del terreno più 500 milioni di lire); Unione Industriale di Torino (300 milioni); Provincia di Torino (200 milioni); SIP (100 milioni); ing. Adriano Olivetti (attrezzature varie del valore di 50 milioni); Camera di Commercio (40 milioni); Ministero della Pubblica Istruzione (prima assegnazione di 25 milioni); Istituto Bancario S. Paolo (prima assegnazione di 25 milioni); società Cogne (10 milioni); soc. Acque Potabili di Torino (3 milioni); soc. Michelin (3 milioni); STIPEL (impianto gratuito della centrale telefonica).[17]

Fig. 8 – La sede appena realizzata: fronte principale e vista generale (ASP).

Conclusioni

In questa breve presentazione della vicenda che ha portato alla realizzazione della sede di corso Duca degli Abruzzi, si è cercato di analizzare un iter che, pur conclusosi con un esito positivo, ha conosciuto numerose battute d'arresto, repentini cambi di programma, lungaggini burocratiche, polemiche non solo in ambito cittadino, mostrando tutte le difficoltà che anche una Scuola prestigiosa, com'era già allora il Politecnico di Torino, doveva affrontare nel tentativo di imporre le proprie necessità e ambizioni al cospetto del Comune, dei Ministeri, di un Paese da ricostruire nei primi anni del secondo Dopoguerra. Tali difficoltà furono dovute anche a problematiche interne al Politecnico stesso, ma il provvidenziale intervento della Fiat - per quanto anche questo accompagnato da un discreto seguito di malumori - seppe superarle.

La ricerca, da parte di un Politecnico in costante crescita, di ulteriori spazi da conquistare a Torino, non si è comunque fermato nel 1958. Il cosiddetto *Progetto Raddoppio* nell'area delle ex Officine ferroviarie Grandi Riparazioni, portato a compimento nel corso negli anni Novanta, e il progetto *Masterplan*, presentato ufficialmente proprio in occasione dell'anniversario dei sessant'anni di corso Duca degli Abruzzi (da realizzare nei prossimi anni), costituiscono altri due importanti tasselli di questa storia, ancora aperta.

Il Politecnico di Torino sta affrontando una stagione di maggiore apertura verso il territorio e di internazionalizzazione, e in quest'ottica il tema degli spazi e della loro qualità costituisce uno dei nodi strategici più importanti. È proprio su questo tema-chiave che l'Ateneo ha inteso focalizzare il suo nuovo Piano Strategico, in corso di redazione, in cui didattica, ricerca, innovazione e qualità della vita all'interno del Politecnico sono ripensate per essere all'avanguardia e coerenti con la società e la cultura contemporanee.

Abbreviazioni
AGM: Archivio Giovanni Muzio
AGR: Archivio Guido Radic
AMT: Archivio Maire Tecnimont
ASP: Archivio Storico Politecnico di Torino
ASS: Archivio Storico *La Stampa*
AST: Archivio Storico Città di Torino
C.C.: Consiglio Comunale
LL.PP.: Lavori Pubblici
C.d'A.: Consiglio d'Amministrazione

Bibliografia

Articoli

Gaetani M. 2018. I progetti e la costruzione del Politecnico e la nuova sede del Politecnico di Torino in corso Duca degli Abruzzi; una cronologia (1939-1958). In: *60. Il Politecnico di Torino e la costruzione della città nel Novecento: la sede di corso Duca degli Abruzzi nel sessantesimo anniversario della sua inaugurazione* (a cura del Politecnico di Torino). Torino: Politecnico di Torino.

Politecnico di Torino. 1940. *Progetto della nuova sede[del] Regio Politecnico di Torino: relazione*. Torino: Soc. Ed. Torinese.

Politecnico di Torino. 1959. *Politecnico di Torino nel primo centenario dalla fondazione, 1859-1959*. Torino: Politecnico di Torino.

s. a. 1951. La nuova sede del Politecnico di Torino. L'ingegnere, 638.

Documenti ufficiali

Costruzione del Politecnico. Verbale della seduta della Giunta Popolare, 30 agosto 1946, n. 29. ASP.

Deliberazione 30 giugno 1948 relativa alla ricostruzione del Politecnico. Rinvio della Giunta provinciale Amministrativa. Controdeduzioni, Atto del C.C., 22 dicembre 1948, 23-51. ASP.

Ex Stadium Nazionale. Delimitazione dei confini di proprietà fra la città di Torino, l'amministrazione della Provincia e il Politecnico di Torino. Atto del C.C., 8 settembre 1952, 180-2. ASP.

Lettera dell'ing. Sandro Fiorio, Presidente degli Industriali, a Eligio Perucca, 21 gennaio 1949. ASP.

Lettera di Astengo, Melis, Renacco e Rizzotti a Perucca, 16 dicembre 1949, ASP.

Lettera di Fiorio a Perucca, 21 gennaio 1949, ASP.

Lettera di Perucca al Ministro della Pubblica Istruzione, 16 maggio 1955, ASP.

Nuova sede del Politecnico di Torino. Impianti per esperimenti di laboratorio. Costruzione e installazione di aspirazione e accessori relativi per gli istituti di chimica industriale, chimica generale, elettrochimica, arte mineraria, ecc. Affidamento dei lavori mediante appalto concorso. Atto del C.C., 14 aprile 1958. AST

Politecnico di Torino. Costruzione della nuova sede. Donazione di area municipale nella zona dell'ex Stadium. Revoca della deliberazione 30 giugno 1948 relativa alla sdemanializzazione e alla donazione di area facente parte del Parco del Valentino. Atto del C.C., 31 maggio 1949, 11-26. AST.

Ricostruzione del Politecnico. Donazione di area di terreno municipale. Provvedimenti. Atto del C. C., 30 giugno 1948, 17-25. AST.
Verbali del C.dA. del Politecnico di Torino. 29 ottobre 1955; 21 marzo 1956; 21 marzo 1956; 17 luglio 1956; 29 ottobre 1956; 8 luglio 1958; 17 dicembre 1958. ASP.

Articoli comparsi sulla stampa

Cobolli Gigli presenta alla Camera i disegni di legge per i lavori del Politecnico e del Regio. Stampa Sera, 10 giugno 1939, 3. ASS.
Completato lo studio per i progetti del Politecnico, Stampa Sera, 15-16 novembre 1949, 2, ASS.
Demolizione di una cascina sull'area del nuovo Politecnico. La Stampa, 20 ottobre 1939, 2. ASS.
Dobbiamo salvare il Valentino nonostante il parere dei professori. Gazzetta del Popolo, 16 febbraio 1949. AST
Entro l'anno il nuovo Politecnico potrà aprire le porte agli studenti. Gazzetta del Popolo, 5 gennaio 1956. AST.
Firmata la donazione del terreno dell'ex-Stadium. Gazzetta del Popolo, 15 ottobre 1949. AST.
Gli studenti vorrebbero una nuova sede del Politecnico. La Nuova Stampa, 19 ottobre 1945, 2. ASS.
I lavori del Politecnico non sono imminenti. La Stampa, 7 aprile 1940, 5. ASS.
I lavori del Politecnico ritardati dalla Burocrazia. Gazzetta del Popolo, 4 novembre 1952. AST.
I milioni della Fiat per il nuovo Politecnico. L'Unità, 5 gennaio 1956. AST.
Il Duce approva il progetto e ordina il prossimo inizio dei lavori. La Stampa, 17 maggio 1939, 4. ASS.
Il Ministro Bottai ha dato inizio stamane ai lavori per il nuovo Politecnico. Stampa Sera, 8 novembre 1940, 2. ASS.
Il nuovo concorso per il Politecnico. Gazzetta del Popolo, 25 maggio 1949. AST.
Il nuovo Politecnico sarà pronto nel '59. Gazzetta del Popolo, 21 ottobre 1954. AST.
Il nuovo Politecnico si aprirà nel 1957 ma non ospiterà la facoltà di architettura. Gazzetta del Popolo, 21 settembre 1955. AST.
Il nuovo Politecnico voluto dal Duce. La Stampa, 19 maggio 1939, 4. ASS.
Il nuovo Politecnico. Gazzetta del Popolo, 19 maggio 1940. AST.
Il Politecnico al palazzo della Moda? La Nuova Stampa, 25 luglio 1946, 2. ASS.
Il Politecnico risorgerà dove fu distrutto. Gazzetta del Popolo, 30 aprile 1946. AST
Il Politecnico. L'area del Valentino o l'area delle Molinette? La Nuova Stampa, 30 luglio 1946, 2. ASS.
Il Politecnico. La Nuova Stampa, 3 marzo 1946, 2. ASS.
L'Aula Magna del Politecnico dedicata al sen. Giovanni Agnelli, *La Nuova Stampa*, 5 gennaio 1956, 2, ASS.
L'esito del concorso per il Politecnico. In Stampa Sera, 1-2 luglio 1949, 2. ASS.
L'ex-Stadium trasformato in un cantiere. Stampa Sera, 22-23 agosto 1952, 2. ASS.
L'inizio dei lavori di sterro per il nuovo Politecnico. La Stampa, 15 dicembre 1939, 4. ASS.
La questione del nuovo Politecnico. La Nuova Stampa, 7 dicembre 1945, 2. ASS.
Mancano i fondi per il Politecnico. Stampa Sera, 10 maggio 1955, 2. ASS.
Opposte soluzioni del problema per la ricostruzione del Politecnico. La Nuova Stampa, 27 febbraio 1945, 2. ASS.

Per una nuova sede del nostro Politecnico. La Nuova Stampa, 5 agosto 1945, 2. ASS.
Si ricostruisce il Politecnico sull'area del distrutto edificio. Nuova Stampa, 2 settembre 1945. ASS.
Un contributo decisivo per le sorti del Politecnico. Stampa Sera, 31 dic. 1955–1 gen. 1956, 2. ASS.

Note

1. Il Nuovo Politecnico voluto dal Duce, 1939.
2. Il Duce approva il progetto e ordina il prossimo inizio dei lavori, 1939.
3. Per una nuova sede del nostro Politecnico, 1945.
4. Si ricostruisce il Politecnico sull'area del distrutto edificio, 1945.
5. Gli studenti vorrebbero una nuova sede del Politecnico, 1945.
6. Il Politecnico al palazzo della Moda?, 1946.
7. Lettera di Fiorio a Perucca, 1949.
8. Completato lo studio per i progetti del Politecnico, 1949.
9. Lettera di Astengo, Melis, Renacco e Rizzotti a Perucca, 1949.
10. Verbale dell'adunanza del Comitato Direttivo del Politecnico di Torino, 1951.
11. Verbale del C. d'A. del Politecnico di Torino, 1953.
12. Lettera di Perucca al Ministro della Pubblica Istruzione,1955.
13. L'Aula Magna del Politecnico dedicata al sen. Giovanni Agnelli, 1956.
14. Entro l'anno il nuovo Politecnico potrà aprire le porte agli studenti, 1956.
15. I milioni della Fiat per il nuovo Politecnico, 1956.
16. Verbale del C.d.A. del Politecnico di Torino, 1956.
17. I progetti e la costruzione del Politecnico e la nuova sede del Politecnico di Torino in corso Duca degli Abruzzi, 2018.

Giulia Marino

Variations on the theme of Plattenbau Heavy prefabrication and total industrialisation in the experience of the Göhner housing estates in Switzerland (1966-1979)

Abstract
Ernst Göhner fu un imprenditore lungimirante, ma anche promotore immobiliare e costruttore generale di numerosi quartieri residenziali. L'obiettivo era di mettere rapidamente a disposizione della middle-class alloggi con standard abitativi superiori alla media, mantenendo i prezzi accessibili grazie a processi costruttivi di industrializzazione integrale. Il ricorso a sistemi di prefabbricazione pesante diventa inoltre la garanzia di riuscita delle promozioni di Göhner, segnando un sodalizio duraturo con l'impresa IGECO, che permetterà all'impresa di mettere annualmente sul mercato una media di 900 alloggi, un exploit nella Svizzera degli anni 1960. Un decennio più tardi, una nuova generazione di architetti criticherà duramente questa prima fase di realizzazione dei Grands ensembles, una successione di edifici lineari, generalmente disposti secondo la rigida griglia ortogonale prescritta dalla Carta d'Atene. Come conciliare un nuovo impianto urbano volontariamente articolato con le esigenze di approvvigionamento del cantiere industrializzato? Come contrastare l'effetto di "monotonia" determinato dall'inflessibile giustapposizione dei pannelli prefabbricati in cemento armato Plattenbau? In altri termini, come rendere più vivibile, più espressivo, più "umano" il quartiere residenziale senza rinunciare agli enormi benefici in termini di costi e di fattibilità della costruzione industrializzata? La cité Avanchet-Parc a Ginevra (1969-77) sarà la risposta a questi interrogativi aprendo una nuova fase nella realizzazione dei quartieri d'abitazione dove si coniugano ricerca formale e sperimentazione tecnologica.

Ernst Göhner, "open-minded general entrepreneur"

Between the wars, Ernst Göhner (1900-1971) inherited his father's joinery firm in Zurich-Altstätten. A skilled businessman, he steadily developed the small family firm by transforming it into a true factory producing standard windows and doors, then, in 1928, an international industrial group by acquiring factories manufacturing building fittings. Parallel with the development of this dynamic and diversified business, Göhner also became a developer, not only in Switzerland but also Berlin, Munich and Ljubljana, as well as North America, which was very unusual for a European company at that time[1].

Fig. 1 – Siedlung Müllerwis (© ETH, Zurich, Comet Photo AG).

Fig. 2 – Siedlung Sonnhalde (© ETH, Zurich, Comet Photo AG).

After his foundational experiments with Schindler-Göhner prefabricated industrialised houses sold as kits in 1940s Britain (Risch, 1970), after World War II Göhner invested heavily in mass housing. The goal was to rapidly make available to the middle-classes housing with higher than average standards but at affordable prices. The formula was simple: the use of the most advanced industrialised techniques made for a very competitive budget. In this context, it was not just a question of using on a large scale the components produced and distributed by the Göhner company itself – from parquet floors to windows – but using integral heavy prefabrication processes, in particular the system developed by the IGECO company with which he established a long and fruitful collaboration. Among the main operations carried out by Göhner and IGECO in partnership were some of the most outstanding housing projects of the 1960s-1970s in Switzerland: the Siedlungen Grafenwis, Müllerwis (Fig. 1) and Am Pfisterhölzli (J. Schilling architect, 1964-75), the Sonnhalde complex at Adlikon (Steiger + Partner and W.-M. Förderer architects, 1966-74, Fig. 2), the Gartenstadt Benglen (H. Litz architect, 1972-74) and the Sunnebüel estate at Hegnau-Volketswil (Gelpke und Düby architects, 1964-72, Fig. 3). In this context, the emblematic Avanchet-Parc housing estate in Geneva in many respects marked, as will be seen in the following paragraphs, a crucial step in the history of the Zurich company.

Göhner and IGECO, an enduring partnership

The collaboration between the Zurich developer and the first heavy prefabrication plant in French-speaking Switzerland founded in 1957 by the engineer and architect César Tacchini (Zanghi, 2009; Graf, 2009) dated from 1966. At that time, IGECO already had an impressive record of achievements. In a decade, the factory based in Etoy, near Lausanne, had built a considerable number of dwellings. In 1958-59, the building for the co-operative Les Ailes in Cointrin (J. Duret, F. Maurice, J.-P. Dom) served as a prototype. Then there was the complex En Champs-Morgins in Nyon

Fig. 3 – Siedlung Sunnebüel as "Göhnerswil", at Hegnau-Volketswil by the architects Gelpke und Düby, 1964-72 (© ETH, Zurich).

(M. Lasserre, 1965-66) and the Ancien-Stand housing estate in Lausanne (Atelier des Architectes Associés, 1961-67), one of the most significant operations. Very well received by the French-speaking architects, who saw the potential of the processes of rationalisation of the building site, these IGECO buildings were followed immediately after by the remarkable complex of the Pont-des-Sauges in Lausanne (B. Calame, J. Schlaeppi, D. Gilliard, 1965-70), the second stage of the Meyrin estate (A. and F. Gaillard, 1961-69) and La Gradelle (J. Hentsch, J. Zbinden, 1961-67), a complex of 900 apartments particularly successful in architectural terms.

In 1966, the commissioning of a building at Alchenflüh near Bern, with Göhner as the developer, opened up the Swiss German market, which grew rapidly until the opening of IGECO's subsidiaries at Lyssach, in the canton of Bern, and Volketswil, in the canton of Zurich, an important factory run by Ernst Ulmer, "*where the concrete elements for 4 apartments were manufactured every day, meaning some [...] 105 items*"[2]. This last would be the production plant for the Zurich developer's whole group, with operations conducted under the watchful eye of the engineer Walter Böhler.

IGECO, a proven heavy prefabrication process

The IGECO system had an exceptional distribution in the 1960s, also benefiting from the reputation of a structure that brought together a team of talented young professionals: the architect Georges van Bogaert and the engineers Georges Steinmann of the Zschokke firm and Jean-Marie Yokoyama, who had just left the Zwahlen & Mayr metal construction company. A derivation of the Danish patent licence held by Larsen & Nielsen, whose company Etoy held the exclusive rights to its use in Switzerland, the process offered many advantages. Everything was installed so that construction work could move ahead quickly and without hold-ups. The heavy concrete panels were large, made to match the width of the rooms, so reducing assembly operations. They were the elements of the structural work and were manufactured in the factory, in "*vertical batteries of vibrating and heating shutters that ensured excellent compaction of the concrete and speeded up production times*"[3]. The joints to make the elements fit firmly together, on the upper part of the panels, were also a major advantage of the process. They were secured by flanges on the edges of the slabs and joints consisting of metal plates, with anchoring, incorporated during the manufacture of the elements. This method of connection ensured the immediate stability of the building and allowed for the continuation of assembly independently of the grouting operations and regardless of weather, with obvious benefits in terms of speed and construction management. As for the support of the vertical elements, they "*were secured firstly by the dovetailing of the joints, by means of lugs which allowed their temporary installation. The load-bearing surface of the lugs was lined with a compressible material, further ensuring a uniformly distributed transmission of the vertical loads*"[4] as well as a perfect seal. In the most sophisticated operations the panels, when they left the factory, also incorporated a part of the material of the fittings, namely all the fasteners, electrical wiring, lighting fixtures, switches, sockets and circuits, as well as as the door frames (Fig. 4).

Fig. 4 – IGECO panel system at Siedlung Sunnebüel (© ETH, Zurich).

Criticisms of the Plattenbau

The scale of Göhner's commissions enabled IGECO to perfect its system. The basic principle, a method of heavy prefabrication by flat panels, basically very close to the famous French Camus system[5], was optimised in this way for its installation, particularly on the level of the joints. But if the efficiency of the process is beyond doubt, the question of the aesthetics of concrete envelopes (exposed or painted), inflected by a regular grid that coincided with the edges of the prefabricated elements was a much more thorny question, in a phase of radical questioning of the production of collective housing.

In fact, after the euphoria at the construction of the first satellite cities in the 1950s, scepticism set in. The comments of the architectural press were sometimes very harsh and they regularly questioned the "boring" architectural forms of these "contemporary rabbit hutches", these "termite mounds" that had sprung up on the outskirts of cities. As in most of Europe, in Switzerland, too, the achievements of the 1950s and 1960s were subjected to lively criticism. In this context, the Göhner residential complexes were singled out. The phenomenon of "Sarcellitis", the "disease of major housing developments", which takes its name from the city of Sarcelles in France (J.-H. Labourdette, R. Boileau, 1955-76), was matched in Switzerland by the term "göhnerite", with reference to the new cities built by the Zurich-based promoter and entrepreneur. The *Plattenbau* façades, a true hallmark of Göhner's developments, were presented as the emblem of a production where the human dimension was completely absent, according to its detractors. Likewise they decried the simple volumetrics of Göhner's linear blocks, whose standard height was limited to 4 storeys to favour the assembly of the prefabricated panels. Even worse, in 1972 Göhner was in the spotlight: the Sünnebuel ensemble at Volketswil (Fig. 5) was particularly targeted, first in a documentary by Hans and Nina Stürm showing the daily life of a child in the city[6], then by the pamphlet *Göhnerswil. Wohnungsbau im Kapitalismus*, written by researchers from the Zurich Polytechnic, an equally violent criticism of the Volketswil development and his output in general, wrongly considered as the outcome of the most abject speculation (Bachmann, 1972).

So as we await the judgment of history to finally do justice "*to these façades of classical architecture of the 20th century"* (*s.a.*, 1969), major housing projects were therefore stigmatised at the turn of the 1970s. This was in keeping with the times, at a key moment when there was an effort to move beyond the very principle of the "satellite cities", now identified as "dormitory towns". In this context, the processes of heavy prefabrication, and more generally the industrialisation of building, were pointed at as "*a kind of combinatorial enclave in which the architect is shackled, [...] the notion of 'procedure' calling for the closure of the compositional logic*"(Ciribini, 1968)[7]. Despite successful formal research, the term "monotony" systematically recurs in criticisms of the *Grands ensembles*.

Fig. 5 – Göhner Advertisings.

Stop the monotony! Cité Avanchet-Parc, a demonstration

The Avanchet-Parc housing estate in Geneva, Ernst Göhner's last and most important development, was intended precisely as a reaction to the prejudices that weighed on his "standard" production. With the backing of Franz Amrhein, in 1969 he hired the architects Peter Steiger and Walter Maria Förderer, both very active in the Swiss Werkbund at the time when it was campaigning for the renewal of collective housing. Göhner, sceptical at first, then encouraged them to experiment with new forms. After the experience of the Siedlung Sonnhalde, near Zurich, where they had sought to overcome certain constraints resulting from industrialised construction methods, this new operation in Geneva was a testbench[8]. The intention was demonstrative and there was no attempt to conceal it. On the contrary, the design process was based on the idea of counteracting the effect of monotony, which was supposed to arise from a grid of prefabricated reinforced concrete elements. Every means was deployed in a veritable crescendo: the open pattern of the layout (Fig. 6), asymmetrical and articulated around a central spine of services; the volumetry staggered, skewed and twisted, created by a skilful combination of typologies (Fig. 10); the colouring of the buildings, which drew on the rules of perception to enable the inhabitants to identify themselves with their homes, to orient themselves on the estate (Fig. 13); the archi-

Fig. 6 – Avanchet-Parc in Geneva, by the architectes Peter Steiger, Walter Maria Förderer and Franz Amrhein (© ETH, Zurich, Comet Photo),

tectural landscape, literally scored in the ground so as to offer a multitude of very different outdoor spaces, where the plant species served to help the inhabitants find their bearings. A panoply of devices was used to "humanise architecture" according to the vocabulary of the time. Everything was, however, admirably ordered at the same time to guarantee the rationalisation of industrialised construction, which meant controlling costs and completion times, one of the main objectives of Göhner's operations. IGECO engineers were at work to adapt the process to new constraints, which now included prior reflection on the architectural qualities of industrialised production.

Heavy prefabrication and high-rise construction

At the Cité Avanchet-Parc, the IGECO heavy prefabrication process was applied to the construction of the main structure of the complex from the ground-floor foundation slab. This was an optimisation of the system, in order to be able to climb in height, with a variable elevation (of up to 50 meters), in response to criticisms of excessive volumetric uniformity of Göhner's developments. The static diagram, as noted by the engineer Jean-Marie Yokoyama, remained relatively simple and followed the rules of the heavy prefabrication process. "*The vertical loads of the floors rest wholly on the pillars of the ground floor and the walls of the stairwell, which ensures the bracing of the entire building*" (Yokoyama, 1975). On the other hand,

Fig. 7 – IGECO advertising show Avanchet-Parc.

Fig. 8 – Avanchet-Parc worksite in 1974, IGECO panels system (© Archives Architectures Genève, Zschokke).

"*the static independence of each building, due to the double walls of the expansion joints*" (Perrin, 1975), the oblique profile of the envelopes, as well as the height of the buildings, up to 13 storeys, were unprecedented data, since, in general, buildings erected by heavy prefabrication tend to be much smaller in size. This forced the engineers at Volketswil to adapt the standard process, deploying a smart system of partial prestressing at the core of the buildings in order to restore the monolithic structure and stabilise it. In this way the four corners of the stairwells were fitted with prestressing cables up to the slab of the 10th floor, doubled on the lower floors, an original device that opened up new possibilities in the volumetric design.

"Every day, two apartments on average see the light!" enthused the press in the face of the rapid progress of the site, however colossal of the Cité Avanchet-Parc intended to accommodate 7000 inhabitants. The "*total efficiency achieved during the installation and assembly of prefabricated elements on site*" were indeed particularly extreme: "*An average apartment with a surface area of 90 square metres takes around 150 hours of work. The normal rate of assembly [thanks to particularly high-performance lifting machines], turns out 30 to 35 pieces per day and per assembly team.*"[9]. It was an exploit (Fig. 7-8).

The ventilated facades of Avanchet-Parc, a pioneering choice

In addition to the 500 basic types of prefabricated elements of the reinforced concrete structure – slabs, walls, staircases, but also lift cages, a new "product" IGECO put on the market in the 1970s – the balconies too, in their multiple configurations, consisted of an assembly of elements produced at the Etoy factory. The balcony

Fig. 9 – Avanchet-Parc worksite.

Fig. 10 – Avanchet-Parc under completion in 1977 (© Centre d'iconographie genevoise, Bibliothèque de Genève).

construction technique was equally exemplary in terms of the energy management strategy adopted at Avanchet-Parc. Devised as completely independent elements of the main supporting structure, the "towers" of the balconies were simply anchored to the extremities of the slabs by a stud installed during the manufacture of the panels in the factory. Any thermal bridge created by the internal/external continuity of the lamellar load-bearing structure was therefore precluded (Fig. 11).

The same principle can be found in the design of building envelopes, which, in constructional terms, are undoubtedly one of the principal constructive advances made by Avanchet-Parc (Fig. 9). The whole includes a ventilated facade, a continuous skin placed in front of the prefabricated reinforced concrete load-bearing structure that avoids any thermal bridge. The construction technique is that of the "Ickler Norm 100 system", a substructure of T-shaped and square aluminium profiles, fixed to the supporting structure by means of cast aluminium plates using stainless steel screws. After the insulation (4 cm of Vetroflex glass wool), the façade was then covered with Pelichrom panels (Fig. 12), an Eternit flagship product added to its catalogue in 1964: asbestos-cement sheets 7-8 mm thick, strongly compressed and autoclaved, provided with a chemically treated, baked coloured coating that ensured high durability and excellent fire resistance. Logically, the buildings incorporated the standard window modules produced by the Ego company (from Ernst Göhner's initials) at Altstätten, which had been part of the group since the 1940s[10]. These wooden window casings were particularly elaborate in terms of airtightness. Fitted with two coupled single glass panes, they also ensured excellent thermal performance, a major concern of the developer Göhner who was concerned to ensure an optimal exploitation of the whole for the heat lost.

Fig. 11 – Avanchet-Parc worksite (© Archives Architectures Genève, Zschokke).

Fig. 12 – Pelichrom advertising.

A pragmatic option, ventilated envelopes were without a doubt a pioneering choice, ahead of their time. On the one hand, this constructional principle offered a great deal of freedom in the plastic expression of the envelopes compared to traditional concrete painted or patterned with the formwork, a freedom which the architects also took advantage of in a masterful way. On the other hand, from the constructional point of view, the design of these envelopes, "stable, adjustable and economical", followed the logic of the industrialisation of components and constructional elements, the true unifying thread running through the Avanchet-Parc project and the spearhead of the Göhner company. It also announced the paradigm shift that would take place in construction following the oil shocks of 1973 and 1979 by a generalisation of peripheral insulation, leading to the decline of heavy prefabrication processes, with their exclusion in the following decades.

Conclusion

The housing developments by the architects Peter Steiger, Walter Maria Förderer and Franz Amrhein were deliberately conceived as a reaction to current practice, at a time when it was being questioned. This was a pivotal period in the history of architecture that coincided with the end of the policy of the *Grands ensembles* (mass housing estates), common to most of Europe. While waiting for grouped housing to become a viable alternative to the cities of the 1950s and 1960s, designed according to an elementary grid by the juxtaposition of towers and blocks, they sought to experiment. The approach adopted by the architects was – very clearly – to make a break with the past. Through a relentless design process, conducted with the expertise of the architect Christian Hunziker (who would be, in the 1980s, the author of another crucial constructional experiment, that of the Schtroumpfs development

Fig. 13 – Avanchet-Parc in 2019 (© C. Merlini).

in Geneva), the designers of Avanchet-Parc created a bravura piece. Curved or biased lines, complex volumetrics, concave or convex façades, variegated polychromy and heterogeneous materials: it was an explosion of shapes and volumes, hues and textures. As the pioneers of the inter-war period had done in a radical reaction to historicism and the academy, the new generation of architects of the 1970s once again sought to achieve a *tabula rasa* of established precepts. This time, it was the teaching of the Modern Movement that was targeted. It was also a question of adapting the industrialised construction techniques, which had finally been mastered perfectly, to a new way of devising housing estates so as to exclude any form of "monotony". Avanchet-Parc participated in this research of extreme experimentation by new and innovative configurations, with obvious and overtly declared societal implications. The Geneva housing estate is undoubtedly an achievement as representative of this new vision of the architecture of housing for the greatest number as it is remarkable for the coherence of its process of conception and construction by drawing on the theoretical and technical tools of the industrialisation of construction. The excellent state of preservation of the whole today is an incontestable proof of this.

Bibliography

Bachmann H., Bosshard M., Föhn R., Franck H., Gerard A., Herzog H.J., Müller H.R. 1972. *Göhnerswil. Wohnungsbau im Kapitalismus.* Zurich: Verlagenossenchaft.

Ciribini G. 1968. Préfazione. In: Oliveri G.M., *Prefabbricazione o metaprogetto edilizio*, XI. Milan. Etas-Kompass. XI.

Fürter F., Schoeck-Ritschard P. 2013. *Göhner Wohnen. Wachstumseuphorie und Plattenbau*. Baden: Hier+Jetzt.

Graf F. 2009. Préfabrication “haute couture” (IGECO) versus “prêt-à-porter” (HA). In: *Bauten der Boomjahre. Paradoxen der Erhaltung*, 120-133. Gollion: Infolio.
Marino G., Graf F. 2019. *Avanchet-Parc: cité de conception nouvelle et originale*. Report.
Perrin J. 1975. Préfabrication en grands panneaux. In: Chantiers, 33-36.
Pont des Sauges. 1968. Habitations collectives préfabriquées. Schweizer Baublatt, 99.
Risch G. 1970. Ernst Göhner 70 Jahre. Schweizerische Bauzeitung, 10, 212-213.
Steiger P., Meier H. 2014. *Die Sonnhalde in Adlikon*. HVF Heimatkundliche Vereinigung.
Yokoyama J.M. 1975. Description générale du gros-œuvre du bâtiment. Chantiers. 28.
Zanghi D. 1999. Espoirs et aléas de la préfabrication en Suisse romande. Le cas de l’usine IGECO à Étoy. Matières, 3, 86-95.

Notes

1. The first of the series of *Göhner-Wohnblöcken* that formed the City Park estate was built in Toronto, Canada, in 1946.
2. Ernst Göhner *AG, Programme pour la visite des chantiers du 25 novembre 1970*; Archives Communauté genevoise d’action syndicale, Geneva.
3. IGECO SA, *Vorfabrikation-Préfabrication*, IGECO Etoy-Berne, 1971; Archives de la construction moderne, EPFL, Lausanne, fonds IGECO.
4. IGECO SA, *Vorfabrikation-Préfabrication*, IGECO Etoy-Berne, 1967; Archives de la construction moderne, EPFL, Lausanne, fonds IGECO.
5. Patented in 1948, the Camus system became the symbol of the heavy prefabrication around the world. The system consisted of a fixed set of casted horizontally panels for façades, floors, and inner walls, as well as prefabricated staircases.
6. Hans et Nina Stürm, *Zur Wohnungsfrage*, film, 30 min., 1972.
7. Ciribini refers in particular to the criticisms made by Pier Luigi Spadolini and Marco Zanuso.
8. Supported, initially, by a working group from the Swiss Werkbund, the Göhner Wohnsiedlung Sonnhalde operation, led by Peter Steiger and Walter Maria Förderer, was a pioneering experiment, capable of reversing some common practices. In spite of very thorough research – from the layout of the buildings to their architectural expression – it would result in a compromise solution, with the logic of industrialised construction imposing its strict rules. Apart from the volumetry developed in the field, the design of the whole remains very much linked to current production, in particular with regard to the urban scheme, by parallel blocks arranged in opposite each other.
9. *Préfabrication lourde et construction industrialisée*, text prepared on the occasion of the inauguration of Avanchet-Parc, June 19, 1973; Archives C. Graber, Versoix.
10. With the same logic of integration of standardised elements of the fittings, the prefabricated cells of the bathrooms ready to be installed and comprising finishes, produced in *prefabrication foraine* by the company EBO, were hailed as a major innovation.

Federica Ribera, Rossella Del Regno, Flora Arrichiello

Un'opera di Samu Pecz: la Boiler House dell'Università di Tecnologia ed Economia a Budapest

Abstract
Samu Pecz (Pest 1854 - Budapest 1922) was a prominent figure and lecturer at the Budapest University of Technology and Economics (BME). His fame is linked to his ability in solving particularly complex structural problems. He was also among the proponents of the use of steel and reinforced concrete elements in the construction of traditional masonry buildings. At the beginning of the 20th Century the Hungarian capital, declared UNESCO World Heritage Site in 1987, was littered with his works: The buildings of the University of Economics and Technology, including the Boiler House, place of the heating system. Despite being a service building, Pecz wanted to give it a nerve-centering role within the Campus as symbol of technological progress. Built in load-bearing masonry, with foundations on plinths in reinforced concrete and cover in steel and wood, the Boiler House was dismissed at the end of 1960 and, as a result of following removals, today is partial abandoned. Nevertheless, it retains its original character with a rich and interesting history and still with a strategic location on the BME Campus. In retracing the history of this particular example of industrial archeology, the article aims to highlight technological and constructive characteristics in order to evaluate an adequate proposal for valorisation and reuse.

L'Ungheria del XX secolo, tra storicismo e innovazione

"Madrepatria e Progresso", "*Haza és haladás*", è stato il motto degli ungheresi riformisti che, a cavallo tra il XIX e XX secolo, guidarono il Paese verso la ricerca della propria identità culturale, economica e politica, tradotta poi nel linguaggio di un'architettura che, partendo da un provincialismo intorpidito, si è evoluta, nel tempo, verso un linguaggio più complesso e internazionale (Sisa, 2016).

Il *compromesso*[1] del 1867 con gli Asburgo rese l'Ungheria un regno indipendente all'interno del nuovo Impero Austro-Ungarico e rimosse l'ultimo ostacolo alla crescita della classe media ungherese (Dwyer, 1980).

La dipendenza iniziale da idee e modelli austriaci lasciò il posto alla libera diffusione di un sapere contemporaneo che portò all'autenticazione di uno "stile ungherese", basato su motivi presi in prestito dall'arte contadina e dallo storicismo europeo (Ceccuti, 2007).

Il più grande successo dell'architettura ungherese è certamente riconoscibile in Budapest (Ferkai, 2010). Dopo un inizio incerto e alquanto titubante, la capitale magiara, in una sola generazione, divenne una metropoli rilucente e moderna, sposando le ultime tendenze e innovazioni internazionali con le esigenze locali (Kalmár, 2001): furono tracciate nuove reti di infrastrutture, viali, strade e parchi e il Danubio fu attraversato da maestosi ponti realizzati con le tecnologie più avanzate, appena sperimentate in Francia ed Inghilterra, quali il ponte ad arco in ferro e ghisa e la tecnica della saldatura ossiacetilenica (Tatano, 2002).

Degne di nota sono anche le innovazione nel campo impiantistico. Tra queste i sistemi di riscaldamento e raffrescamento interni progettati per la sede del Parlamento, a tutt'oggi funzionanti a distanza di oltre un secolo dalla prima installazione, seppur rimodernati. Il vapore veniva generato da una fornace alimentata a legna e carbone, collocata in una struttura indipendente al fine di minimizzare i danni derivanti da esplosioni e incendi accidentali; tale soluzione consentiva altresì di posizionare le alte ciminiere lontano dall'edificio principale. Le vecchie fornaci sono state oggi sostituite da moderne caldaie a gas, ma restano inalterati gli originali cunicoli interrati in muratura dove sono stati alloggiati i nuovi condotti per la distribuzione dell'aria calda ai singoli ambienti. L'aria veniva all'occorrenza raffrescata grazie al passaggio in un ambiente di grandi dimensioni, situato al di sotto della piazza d'accesso al Consiglio, all'interno del quale erano stipate tonnellate di ghiaccio prelevate direttamente dal Danubio durante la stagione fredda.

In tale scenario di innovazione tecnologica si evidenzia anche il ruolo della *Boiler House* dell'Università di Tecnologia ed Economia di Budapest, progettata dall'architetto Samu Pecz, per ospitare l'impianto di riscaldamento del Campus.

Dismessa alla fine degli anni Sessanta e più volte rimaneggiata, oggi rappresenta un'interessante testimonianza di archeologia industriale.

Questo contributo, nel ripercorrere la storia dell'edificio, intende evidenziarne la rilevanza nel panorama architettonico ungherese e quindi la necessità di approfondire la sua conoscenza ai fini della tutela e conservazione.

Samu Pecz, un architetto dallo spiccato senso ingegneristico

In piena rivoluzione industriale Budapest si configurava una grande fucina per i giovani progettisti, ansiosi di contribuire all'innovazione tecnologica e scientifica del Paese (Kalmár, 2001). Tra questi, spicca la figura di Samu Pecz, grande studioso e docente all'Università di Tecnologia ed Economia di Budapest, ricordato soprattutto per la "*sua specialità di trovare soluzioni a problemi strutturali di apparente impossibile risoluzione*" (Rerrich, 1929), che contribuì alla diffusione delle innovazioni costruttive in Ungheria, in particolar modo delle strutture in ferro e in calcestruzzo armato.

Nato a Pest nel 1854, Pecz si avvicinò per la prima volta all'architettura nel 1871, presso il Dipartimento di Architettura della *Royal Hungarian Joseph Technical Uni-*

versity, dimostrandosi uno dei migliori studenti dell'ateneo (nel 1878 vinse il *Preis Stipendium*, prestigiosa borsa di studio per aspiranti architetti) e qualche anno più tardi partì per una permanenza di quattro mesi in Italia; fu uno dei primi architetti ungheresi a conseguire il *Diploma in Architettura* (Pecz, 1920).

Tra il 1880 e il 1882 affiancò il collega Alajos Hauszmann (1847 - 1926), architetto, professore e membro della *Magyar Tudományos Akadémia*, viaggiando molto in Germania e in Francia.

Il 10 gennaio 1887 Pecz venne promosso alla carica di Professore Onorario del Dipartimento di Architettura dell'Antichità e l'anno seguente, all'età di 33 anni, ottenne la cattedra per l'insegnamento dei corsi di Progettazione Pubblica e Enciclopedia delle Costruzioni (Hargittai et al., 2015).

Nel ventennio successivo curò la progettazione in svariate città ungheresi di oltre quaranta chiese protestanti ed edifici pubblici, tra cui anche scuole e biblioteche, il Grande Mercato Centrale e gli Archivi Nazionali Ungheresi. Riprese a viaggiare in Europa raggiungendo le città di Vienna, Lipsia, Weimar, Karlsruhe, Strasburgo, Francoforte, Basilea, Berna e Parigi, facendo ritorno a Budapest solo nel 1922, anno della sua morte. La permanenza all'estero e lo studio delle tecniche costruttive all'epoca in uso nei vari luoghi europei, lo resero personaggio di primo piano nella storia dell'architettura ungherese: egli introdusse il linguaggio del neogotico, riunendo estetica medievale e materiali moderni sotto il condiviso spirito sciovinista ungherese (Gyetvainé Balogh et Kalmár, 2013).

Con Pecz si assiste, quindi, a un equilibrato dialogo tra la componente architettonica scaturita dall'esperienza tedesca e quella legata al linguaggio tradizionalmente magiaro, riconoscibile nella scelta di materiali locali (mattone rosso, legno, acciaio) e nell'uso decorativo della simbologia tradizionale dei motivi popolari (*Kalocsai, Debreceni, Szentistvàni, Torockòi, Matyò, Palòc*).

Béla Rerrich, uno degli studenti più affezionati di Pecz, divenuto in seguito suo assistente e collega, nel diario personale ricordava così i principali insegnamenti del maestro sottolineandone: "*[...] una ragionevole ponderatezza nel lavoro architettonico, garanzia del suo successo*" e la ferma convinzione nel ritenere che un progetto potesse "*[...] produrre un edificio chiaro, logico e di buona fattura, solo con una buona organizzazione dello spazio, una soluzione sicura alle domande tecniche e una corretta gestione dei materiali*" (Rerrich, 1929).

Le opere di Pecz sono caratterizzate da profonda conoscenza e adattamento di stili storici principalmente medievali, che emersero tra quelle dei suoi contemporanei *"grazie alla loro praticità"* (Pecz, 1886). Nelle sue memorie lo stesso Pecz sottolineava l'importanza di alcuni aspetti della progettazione, fondamentali e assolutamente moderni, quali la corretta organizzazione strutturale e il contenimento dei costi, nonché il rispetto delle basilari accortezze in materia di prevenzione incendi (Rados, 1971), grazie a un approfondito studio dei materiali (mattone, ferro e con-

glomerato cementizio armato). I rivestimenti delle murature si distinguono principalmente per le pannellature e le decorazioni in piastrella colorata, provenienti dalla fabbrica *Zsolnay*. In maniera del tutto intuitiva poneva, inoltre, già particolare attenzione al tema dell'accessibilità in modo da direzionare i percorsi interni e guidare il visitatore (Bierbauer, 1929).

> *"Come docente, Samu Pecz era un sostenitore del principio materico che ha anche cercato di applicare nel suo lavoro. Odiava il materiale falso che creava il falso aspetto; invece, quando non richiedeva materiali nobili come il marmo italiano, apprezzava anche quello povero come il mattone rosso. Egli aspirava all'autenticità: il materiale era chiara dichiarazione della funzione interna. I suoi edifici in mattoni sono testimonianze eloquenti di questa comprensione concettuale" (Az Ujság, 1922).*

La nuova sede dell'Università di Tecnologia ed Economia di Budapest

Nel corso dei suoi ultimi anni, Pecz fu incaricato, insieme ai colleghi Alajos Hauszmann, uno dei maggiori esponenti del neobarocco monumentale ungherese, e al connazionale Győző Czingler, architetto e accademico, di progettare la sede dell'Università di Tecnologia ed Economia, la BME di Budapest, in Figura 1. Il lotto era divenuto di proprietà municipale grazie all'acquisto di un terreno dal Ministero della Pubblica Istruzione ed all'esproprio di altri appezzamenti ai danni di privati. La realizzazione dell'opera fu preceduta da una preliminare operazione di bonifica e drenaggio delle acque provenienti dal Danubio.

In corso d'opera, l'originale composizione architettonica dei volumi fu più volte modificata. Mentre Czigler, il primo autore del progetto, concepiva gli accessi principali dalle strade adiacenti, Hauszmann e Pecz li riorganizzarono. Pecz nella sua biografia riportava, inoltre, che *"[...] l'intera genesi di questi edifici è diversa da quella dei primi padiglioni. […] L'edificio centrale deve essere accademico, perché alcune parti devono servire a scopi diversi. Per gli edifici per scopi speciali, solo le funzioni del pianterreno determinano il volume e le piante superiori, perché le planimetrie richiedono uno studio volumetrico che si muove dall'interno verso l'esterno e che si sforzano di attirare l'esterno tramite un adeguato impianto decorativo*" (Pecz, 1888).

In effetti è possibile apprezzare una diretta relazione tra la genesi degli spazi, la soluzione strutturale e la disposizione funzionale. Questo approccio trovò la sua più chiara espressione nella *Boiler House*, in cui fu la funzione d'uso a dettare la forma dell'involucro, le dimensioni e finanche l'apparato decorativo (Gyetvainé Balogh *et al*., 2013).

Dalla teoria alla pratica: la Boiler House della BME

All'inizio del XX secolo soltanto il Dipartimento di Chimica disponeva di un proprio sistema di riscaldamento, mentre tutti gli altri edifici del Campus della BME

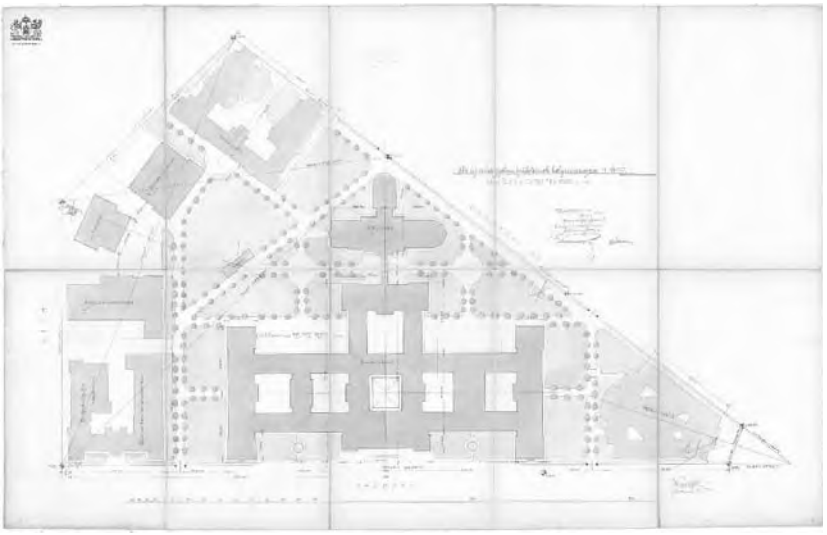


Fig. 1 – Progetto del Campus a firma di Hauszmann, Czingler e Pecz, 1906 (da Archivi Storici della BME).

erano serviti dalla *Boiler House*, dove si trovava il generatore di energia termica per l'alimentazione degli impianti di riscaldamento delle aule e dei laboratori.
I primi disegni risalgono al dicembre del 1905 e vennero approvati dal Consiglio Comunale nel giugno del 1906. Furono tuttavia richieste alcune variazioni relative agli accessi del piano terra e l'aggiunta di due corpi aggettanti, tra loro simmetrici, che interessarono i fronti Nord e Sud (Gyetvainé Balogh *et al*., 2013). La firma di Pecz è riconoscibile nel progetto delle quattro facciate esterne che rievocano le linee austere e severe dell'epoca medievale, arricchite solo puntualmente da rilievi in pietra calcarea alternati a mattoni rossi faccia vista. Le semplici linee architettoniche che definiscono il corpo di fabbrica, in apparente contrasto con la ricchezza decorativa degli altri edifici, rimarcano la destinazione funzionale della struttura al cui interno erano contenuti esclusivamente macchinari e installazioni impiantistiche, a eccezione del primo piano che ospitava l'*appartamento dell'ingegnere*.
In muratura portante con fondazioni su plinti in calcestruzzo armato, la *Boiler House* si compone di vari ambienti distribuiti su tre livelli: un piano seminterrato, in Figura 2, un tempo adibito a deposito per le ceneri di carbone; la grande sala macchine a doppia altezza e un locale di servizio al piano terra, in Figura 3, e l'*appartamento dell'ingegnere* al primo piano, in Figura 4, accessibile grazie a un vano scala dedicato. La sala macchine e la residenza privata presentavano originariamente tetti e piccole terrazze impermeabilizzati in pece con un manto di copertura in coppi di laterizio.

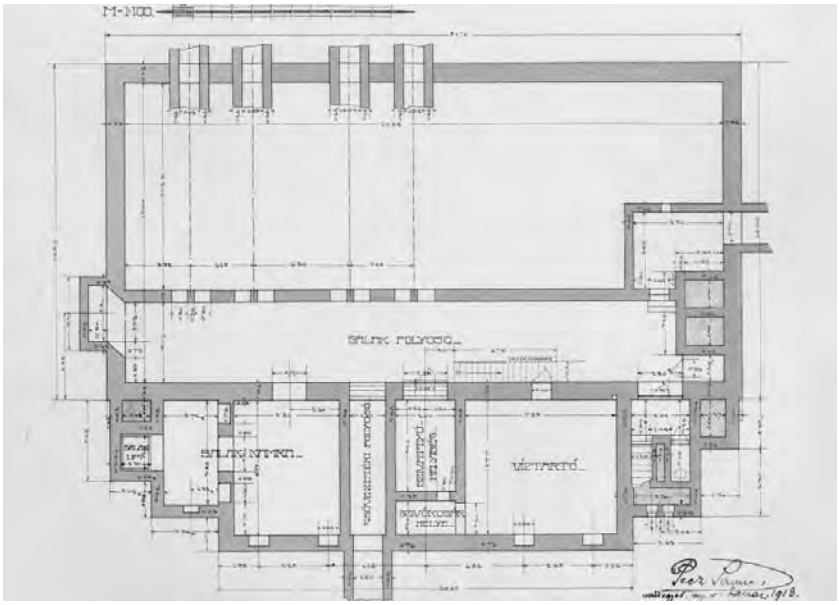


Fig. 2 – Pianta del piano seminterrato a firma di Samu Pecz, 1913 (da Archivi Storici della BME).

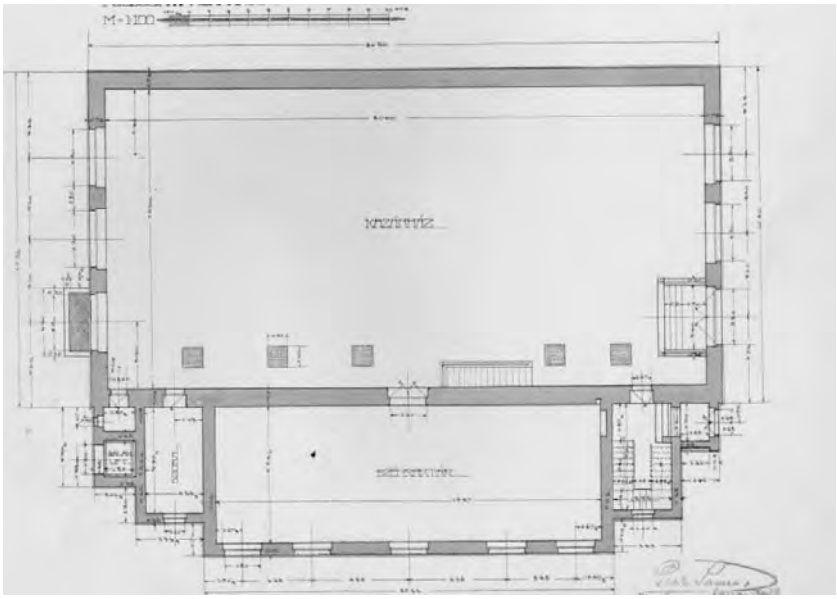


Fig. 3 – Pianta piano terra a firma di Samu Pecz, 1913 (da Archivi Storici della BME).

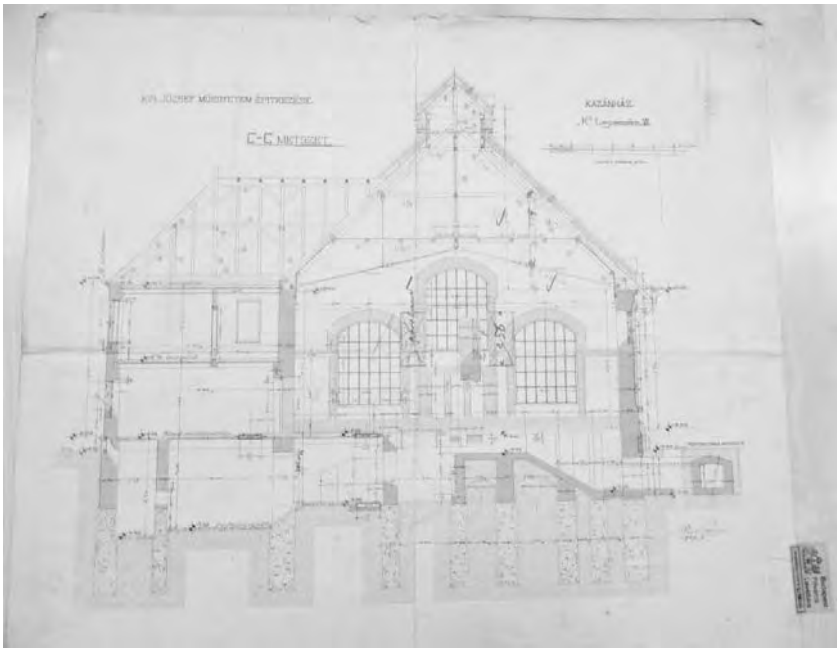


Fig. 4 – Sezione a firma di Samu Pecz, 1913 (da Archivi Storici della BME).

La costruzione presenta una facciata principale a salienti e un tetto a doppio spiovente, posto a copertura della sala macchine e degli ambienti secondari a essa annessi. La soluzione tecnologica adottata era all’epoca del tutto originale: si tratta di una *capriata mista composta da puntoni e sottocatene in legno e catena e tiranti in ferro* (Pecz, 1888). I prospetti Est e Ovest evocano il sistema costruttivo delle basiliche paleocristiane: gli ingressi posti sui lati minori, le facciate a capanna, la copertura a capriata e la sequenza regolare di pieni e vuoti, tutti elementi cari al progettista. Il prospetto Sud si rivolge al fronte strada e ospita la ciminiera, oltre a piccole aperture verticali di forma rettangolare con traversi intermedi e finiture in mattoni. Il prospetto Nord, infine, si presenta più dinamico, grazie alla compresenza delle terrazze pavimentate, delle falde del tetto, dei due corpi laterali torreggianti, dell’alternanza di piccole e grandi aperture e parapetti prevalentemente in mattoni. Una scala a chiocciola in ferro battuto, trasferita da un altro edificio dell’Università, dava accesso alla terrazza principale (Pecz, 1888).

Da tutta l’Ungheria provenivano quotidianamente carichi di carbone, destinati all’alimentazione dell’impianto di riscaldamento, che venivano scaricati nel seminterrato e successivamente impiegati per rifornire le caldaie; queste ultime producendo vapore alimentavano le turbine che, collegate a un alternatore, generavano energia elettrica. Il vapore in uscita dalle turbine attraversava, poi, uno scambiatore

termico in grado di riscaldare l'acqua della rete di distribuzione sotterranea inviata ai termosifoni dei singoli ambienti.

Sale di grande estensione come la biblioteca, le sale riunioni, i laboratori e gli studi dei docenti al piano terra erano dotate di termostato e ventilazione controllata che permetteva di convogliare l'aria viziata all'esterno con l'ausilio di ventilatori. L'aria fresca veniva immessa all'interno degli ambienti attraverso una rete di condotte incassate nei muri perimetrali.

Tale tipologia di impianto, lavorando a pressioni e temperature elevate, era dotata di opportuni sistemi di allarme e valvole di sfiato. Tutte le linee presentavano, inoltre, valvole a saracinesca con manopole e valvole di 'by-pass' che permettevano di escludere singoli tratti di tubazioni, in caso di danno o operazioni di manutenzione. Inoltre, venne installata una paratia di ferro alta mezzo metro che avrebbe protetto i locali del piano seminterrato da inondazioni accidentali, tenendo conto che la zona era originariamente sede di un piccolo lago naturale, prosciugato alla fine del XIX secolo e, infine, bonificato (Gyetvainé Balogh et al., 2013).

La Boiler House nel corso del XX secolo e la prospettiva di un recupero sostenibile

Alla morte del progettista la *Boiler House* si presentava come un edificio dalle funzioni assai modeste, ma assolutamente originale nel proprio stile architettonico.

All'alba del secondo conflitto mondiale, le attività dell'Università di Tecnologia ed Economia vennero sospese e il personale e gli studenti furono evacuati a Ovest del Paese. La *Boiler House* non subì gravi danni; oggetto dei bombardamenti aerei furono, infatti, i collegamenti sul Danubio: quattro ponti su cinque vennero distrutti per poi essere ricostruiti nel decennio successivo (Ungváry, 2011).

La guerra rese l'Ungheria un campo di battaglia comune, sul quale le grandi potenze internazionali non risparmiarono colpi e attacchi violenti. Le perdite furono gravissime e di molti monumenti storici, immobili residenziali ed ecclesiastici non rimase che la memoria (Ungváry, 2011). Malgrado ciò, gli stessi ungheresi dichiararono la propria originalità di fronte ai danni provocati dalla guerra, essendo i soli, se si fa riferimento ai paesi socialisti dell'Europa centrale, a non adottare il criterio della ricostruzione integrale, riconoscendo il valore delle stratificazioni storiche in favore del ripristino imitativo (Ranki e Lacko, 1976). Riconosciuta l'impossibilità di riesumare ciò che si era irrimediabilmente perduto, si mirò, infatti, a preservare l'autenticità di ogni elemento superstite e la sua resa visiva (Carbonara, 1997).

Nel Campus, superata la fase post bellica, nel 1947 venne riattivato il sistema di riscaldamento e, nel novembre 1950, venne rilasciato il permesso per l'ampliamento del deposito sotterraneo, necessario alle manovre di stoccaggio e trasporto del carbone, realizzato con struttura a pilastri e solaio nervato in calcestruzzo armato. Negli anni successivi la *Boiler House* cominciò ad essere fortemente rimaneggiata con l'aggiunta di volumi sui fronti Sud e Ovest[2], destinati ad ospitare gli uffici e altri ambienti di servizio.

Nel 1964 la modifica del sistema di riscaldamento dell'Università, alimentato dalla vicina centrale elettrica di *Kelenföld*, causò la dismissione delle oramai obsolete turbine e caldaie; nel corso degli anni Settanta furono ipotizzate diverse destinazioni d'uso, mai concretamente attuate.

Come risultato dei recenti lavori, l'edificio è stato gradualmente rimaneggiato, come attestano le pesanti manomissioni visibili a tutt'oggi sulla facciata Est, in Figura 5, e le zone ricostruite sulla falsariga del progetto originale, come la facciata Nord, in Figura 6. Ciononostante, esso conserva riconoscibile il proprio carattere autentico e rimane, ancora oggi, una delle opere di Pecz dalla storia più ricca e interessante presenti all'interno dell'Università.

Per tali motivi si è studiata una ipotesi che fosse in grado di recuperare gli spazi del manufatto garantendo il suo inserimento nella vita contemporanea del Campus e della città.

L'Ungheria, in memoria della propria storia e del forte legame con il teatro austro-ungarico, si presenta come una vera e propria fucina artistica capace di generare prodotti legati al mondo della danza, del teatro e della musica. Si è pertanto ipotizzato di dare una idonea sede all'esistente Teatro delle Scene, in ungherese *Szkéné Színház*, attualmente allocato in uno spazio ricavato da alcune aule e la cui direzione è affidata a un ente esterno.

Fig. 5 – Facciata Est della Boiler House (foto di Flora Arrichiello, 2018).

Fig. 6 – Facciate Nord e Ovest della Boiler House (foto di Flora Arrichiello, 2018).

La proposta di recupero prevede la riconversione della grande sala macchine in teatro, mantenendo inalterate forme e dimensioni originarie. È intorno a questo volume centrale, che potrà ospitare un ampio palcoscenico e fino a 240 sedute, che si sviluppano tutti gli altri ambienti accessori: sui lati Nord e Est sono previsti due ampi foyer, di ingresso e uscita, serviti da grandi porte ricavate sfruttando le aperture originarie delle rispettive facciate; la parte Sud è invece dedicata ai servizi e agli artisti, cui è destinato l'intero volume aggiunto alla Boiler House negli anni Cinquanta. Dal foyer d'ingresso, tramite una scala interna, si ha accesso ai locali del primo piano, un tempo adibiti ad *appartamento dell'ingegnere*, pensati quali spazi per esposizioni temporanee.

L'idea progettuale, prefigurando una nuova vita per l'edificio dismesso, risulta rispettare pienamente l'assetto tipologico degli spazi, garantendo la conservazione dei caratteri identitari, e al contempo risulta soddisfare i requisiti della contemporaneità legati alla nuova funzione. Grazie alla sua conformazione architettonica, la *Boiler House* risponde positivamente, ad esempio, ai dettami della vigente normativa nazionale in materia di prevenzione incendi e ai principi base dell'acustica degli ambienti interni: lo spessore dei muri perimetrali risulta adeguato a garantire gli attuali requisiti di sicurezza (classe REI) e la composizione spaziale di vuoti e pieni unitamente alla scelta di opportuni materiali per finiture e arredi concorrono a ga-

rantire una buona alternanza di superfici riflettenti e assorbenti, determinante per la progettazione di un corretto "clima acustico". A supportare le premesse progettuali sono i risultati della simulazione della propagazione delle onde sonore in linea con i valori della UNI EN ISO 3382-1:2009 "Acustica - Misurazione dei parametri acustici degli ambienti - Parte 1: Sale da spettacolo".

Lo studio condotto[3] ha simulato la risposta acustica della sala macchine per il tramite di una preliminare modellazione tridimensionale dell'ambiente, inclusi i materiali, e di una successiva analisi dei principali indici acustici (T60, EDT, STI_male, STI_female) avvalendosi del software Datakustik CadnaR. Il calcolo è stato effettuato secondo due metodi (statistico e particolato) che hanno evidenziato, seppur tramite algoritmi differenti, che la media dei parametri relativi al tempo di riverbero (T60) si posiziona tra un minimo di 0,9 secondi per frequenze di 250 Hz e un massimo di 2,4 secondi per frequenze di 2000 Hz, con valori di intelligibilità del parlato (STI_male e STI_female) prossimi all'unità.

Conclusioni

L'archeologia industriale rappresenta una evoluzione del primordiale concetto di archeologia tradizionale, tesa alla complessa analisi di quello stretto rapporto che ha unito l'architettura alla fabbrica, intesa come luogo di lavoro, e al riconoscimento del valore storico, tecnologico e sociale delle tracce materiali della cultura industriale, i cui esempi più significativi necessitano di essere inventariati, protetti e preservati, secondo lo spirito della Carta di Venezia, per l'uso e il beneficio del presente e del futuro (TICCIH, 2003).

Mentre in Italia l'assunzione di valore si è tradotta in forme di vincolo diverse da parte delle Soprintendenze, promuovendo conservazioni a volte parziali a volte totali di interi complessi e avviando dialoghi tra proprietari e progettisti (Maspoli, 2014), lo stesso non può dirsi dell'Europa, e nella fattispecie dell'Ungheria, che manca di specifiche tutele per i moderni patrimoni industriali.

Invero, per la nazione magiara il discorso è ben più ampio in quanto ancora oggi non si è sviluppata una cultura della manutenzione conservativa degli edifici antichi e l'approccio alla tutela, di tipo storico e museale, non sempre è volto a rendere 'vivo e fruibile' il passato nell'ottica di un uso funzionale e sostenibile del bene (Zsembery, 2008).

Questo atteggiamento fa sì che vadano irrimediabilmente perduti edifici del passato, alcuni dei quali si presentano a noi come semplici vuoti industriali, ma che in realtà sono il simbolo dell'identità e dell'immagine di un'epoca.

Il recupero e la riconversione rappresentano dunque i principali strumenti di conoscenza e conservazione di architetture industriali dismesse che vanno considerate nella propria unicità e inserite nel contesto territoriale di appartenenza come fulcro di attività che mirano alla salvaguardia e valorizzazione (Horler, 1971).

La progettazione del recupero funzionale dà quindi avvio a un processo di trasformazione e dialogo, cosicché la nuova destinazione d'uso possa integrarsi perfettamente con il 'contenitore' che la ospiterà e con l'ambiente circostante, garantendo il giusto equilibrio tra tradizione e innovazione.

Con tali premesse la *Boiler House* potrà assumere il nuovo ruolo di un magnete funzionale, in grado di promuovere e attirare nuovi flussi all'interno della BME e di proporsi quale luogo privilegiato di incontro e scambi culturali.

Bibliografia

Az Ujság. 1922. Quotidiano ungherese del 02/09/1922.

Bierbauer V. 1929. Pecz Samu emlékezete, Döbrentei-téri Emlékkútja avatása alkalmából. Magyar Mérnök - és Építész-Egylet Közlönye (In occasione dell'inaugurazione della fontana commemorativa di piazza Döbrentei. Bollettino della Società ungherese di ingegneri e architetti), 63, 270-280.

Carbonara G. 1997. *Avvicinamento al restauro*. Napoli: Liguori, 561-569.

Ceccuti C. 2007. *Cento anni di tutela*. Firenze: Polistampa.

Dwyer J.D. 1980. *Russia, the Soviet Union, and Eastern Europe*. Stanford: Hoover Institution Press.

Ferkai A. 2010. National Identity in Hungarian architecture and the shaping of Budapest. Hungarian Studies, 24, 181-187.

Gyetvainé Balogh Á., Frey Gy.P., Kalmár M., Kiss Zs.E., Zsembery Á. 2013. *Megjelent: A történeti Műegyetem - The Historic Campus*. Budapest: University of Technology and Economy.

Gyetvainé Balogh Á., Kalmár M. 2013. Functional Thinking in the Architecture of Samu Pecz and his followers. Periodica Polytechnica Architetcture, 44, 61-68.

Hargittai I., Hargittai M. 2015. *Budapest Scientific: A Guidebook*. Londra: Oxford University.

Horler M. 1971. La Charte de Venise et la restauration des Monuments Historiques en Hongrie. ICOMOS Bulletin, XI(1), 52-125.

Kalmár M. 2001. *Az építészet története. Historizmus. Századforduló* (Storia dell'Architettura. Storicismo. La Belle époque). Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.

Maspoli R. 2014. Patrimonio industriale. Conservazione, patrimonializzazione, trasformazione sostenibile. Il Progetto Sostenibile, 34-35.

Pecz S. 1920. *Műépítész, műegyetemi tanár életrajzi adatai és munkálkodása saját leírása szerint* (Vita e opere dell'architetto secondo la propria descrizione). Budapest: Omikk Library.

Pecz S. 1886. *Az ókeresztény templom-építészet fejlődése* (Sviluppo dell'architettura sacra paleocristiana). Budapest.

Pecz S. 1888. *Műépítész Műegyetemi tanár életrajza* (Biografia di un architetto professore all'università). Budapest.

Rados J. 1971. *Magyar építészettörténet* (Storia dell'Architettura ungherese). Piliscsév: Műszaki Könyvkiadó.

Ranki M., Lacko G. 1976. The restoration and crisis of capitalism in Hungary. Austrian History Year Book, 12, 1, 291-311.

Rerrich B. 1929. Pecz Samu emlékezete, Döbrentei-téri Emlékkútja avatása alkalmából. Magyar Mérnök - és Építész-Egylet Közlönye (Gazzetta dell'associazione di Ingegneri e

Architetti ungheresi - Alla memoria di Samu Pecz in occasione dell'inaugurazione della fontana a Döbrentei), 63, 43-44 e 269-270.
Seidl A. 1997. *Hauszmann Alajos naplója: építész a századfordulón* (Il diario di Alajous Hauszmann: architetto della Belle époque). Budapest: Gondolat.
Sisa J. 2016. *Motherland and Progress: Hungarian Architecture and Design (1800-1900)*. Budapest: Institute of Art History, Hungarian Academy of Sciences.
Tatano V. 2002. *Sulle tracce dell'innovazione: tra tecniche ed architettura.* Milano: Franco Angeli.
TICCIH. 2003. Carta di Nizhny Tagil.
Ungváry K. 2011. Battle for Budapest: 100 Days in Worl War II. Londra: I.B.Tauris.
Zsembery A. 2008. Attualità del restauro in Ungheria e recenti ripristini dei complessi reali medievali. Palladio, 42, 89-98.

Webgrafia

[1] http://www.treccani.it/enciclopedia/ausgleich/

Note

1. lett. *Ausgleich*: riforma condotta nel 1867 da Francesco Giuseppe I, imperatore d'Austria, che, riconoscendo all'Ungheria una condizione di parità con l'Austria, diede origine alla monarchia austro – ungarica [1].
2. Le superfetazioni lato Ovest sono state eliminate nel 2004 lasciando evidenti segni sulla facciata che andrebbe, pertanto, restaurata.
3. Studio condotto nell'ambito di una ricerca del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Salerno e di una tesi di laurea magistrale in Recupero e Conservazione degli Edifici e Fisica Applicata, Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura: Flora Arrichiello, *La Boiler House dell'Università di Tecnologia e di Economia a Budapest: da generatore di calore a teatro*, relatore: prof. arch. Federica Ribera, correlatori: prof. Claudio Guarnaccia, ing. Rossella Del Regno, in collaborazione con il prof. Mezős Tamás, Dipartimento di Storia dell'Architettura e dei Monumenti della BME, A.A. 2017/2018.

Simona Talenti, Annarita Teodosio

I grattacieli italiani. La trasposizione di una tipologia

Abstract
The diffusion of the skyscraper in Italy had particular impetus during the Fascist period, following the competition for the Chicago Tribune Tower of 1922, in which many European architects participated (Loos, Gropius, Meyer, Taut) and also some Italians like Giuseppe Boni and Marcello Piacentini, designer of the INA Tower in Brescia (1932), unanimously recognized as the first Italian skyscraper, and of the Piacentini Tower in Genoa (1935), that they became an iconic model for the subsequent realizations of 1930s in Italy. The aim of the present work is to explore the Italian transposition of a typically American architectural typology transplanted to Europe in the early Twentieth Century to accommodate the desire for architectural renewal rather than the need to solve practical problems linked to building speculation. Furthermore, the study proposes a critical reflection on a design theme that includes stylistic and technological but also political and cultural issues.

Piacentini e il primo grattacielo italiano

Già negli anni che precedono la Grande Guerra il tema dell'edificio alto viene progressivamente assimilato e rimodellato dalla cultura europea grazie ai progressi tecnici e alla crescente attenzione da parte degli addetti ai lavori (De Magistris, 2004). Un ulteriore impulso è fornito dal concorso per la Chicago Tribune Tower del 1922, cui prendono parte molti famosi architetti europei come Loos, Gropius, Meyer e Taut (Savorra, 1996). Tra i partecipanti alla competizione figurano anche gli italiani Giuseppe Boni, unico nostro connazionale a ricevere una menzione, e Marcello Piacentini, che propone un edificio composto dalla sovrapposizione di parallelepipedi ma caratterizzato da aspetti stilistici e decorativi classicheggianti: un progetto che sembra fondere la modernità americana con la tradizione italica delle torri campanarie (Lupano, 1991).

Se nell'Italia degli anni Venti l'edificio alto ha una fortuna abbastanza limitata ed episodica, lo scenario sembra cambiare nel decennio successivo, anche sulla spinta delle grandi trasformazioni urbane incentivate dal Regime, che promuove interventi connotati da una spiccata monumentalità (Muratore, 1976; De Magistris, 2004). Non si tratta probabilmente di un caso se proprio Piacentini, architetto rappresentativo del Regime e acuto osservatore dell'architettura americana (Pisani, 2004; De Magistris,

2004)[1] progetta a partire dal 1928 il Torrione INA di Brescia, unanimemente riconosciuto come il primo grattacielo italiano, e qualche anno più tardi la Torre Piacentini di Genova (1935-1940) che, con i suoi 31 piani, è stata per circa due decenni la più alta struttura in cemento armato in Europa.

Il torrione INA inaugurato nel 1932 costituisce così il primo esempio di grattacielo, che stampa e progettista continuavano però a chiamare Torre, nell'Italia governata da Mussolini (Pacini, 1932). La realizzazione di Brescia non è un semplice edificio alto, isolato dal contesto; al contrario, esso dialoga e si relaziona con il tessuto urbano, inserendosi in maniera organica nel progetto di sistemazione della piazza sulla quale si affaccia. La Torre viene in tal modo a far parte di un progetto urbano di risanamento e modernizzazione, assumendo il ruolo di "cerniera" con l'intorno attraverso i suoi ampi basamenti porticati. Significativo il fatto che per Piacentini, la ragione sottesa all'adozione dell'edificio alto in stile "italico" riguardi non tanto la pura e semplice convenienza economica legata alla speculazione fondiaria, ma l'idea di riproporre, in chiave moderna, la varietà altimetrica del patrimonio storico bresciano con le sue numerose torri medievali, in Figura 1.

L'austerità della Torre di Genova, progettata da Piacentini con la consulenza dell'ingegnere Angelo Invernizzi circa sette anni dopo, rinvia ancora alla tradizione italica del torrione medievale o cinquecentesco, piuttosto che al modello ad alveare tipico della cultura americana. Inserito anch'esso all'interno di un piano di rinnovamento urbano, l'*high-rise* genovese costituisce l'esito di una scelta questa volta quasi scontata, legata all'elevato costo delle aree da espropriare e alle ingenti spese

Fig. 1 – La sistemazione del centro di Brescia con la torre INA (da Pacini, 1932).

di demolizione, oltre che al diffuso verticalismo dell'edilizia della città ligure. La diversità dei prospetti, l'ampio basamento porticato, le fasce orizzontali di laterizi e di rivestimenti marmorei, caratterizzano questa torre "nostrana" che intende però dialogare con la modernità europea attraverso i tagli netti, le forme pure e il ritmo prodotto dalla ripetizione di elementi sulle facciate.

Le 'torri' degli anni Trenta

Anche a Torino, nell'ambito del Piano di Risanamento di via Roma, redatto dall'ufficio tecnico comunale nel 1920 e adottato nel 1930 (Rosso, 1998), si realizza il primo edificio alto residenziale: la Torre Littoria (1933-34), in Figura 2, così denominata poiché originariamente destinata a ospitare la sede del Partito Nazionale Fascista, ma in realtà acquistata dalla Reale Mutua Assicurazione che la adibisce a residenze di lusso e uffici.

Il progetto, frutto della collaborazione tra l'architetto, urbanista e accademico Armando Melis de Villa e l'ingegnere e politico Giovanni Bernocco, è costituito da un blocco basamentale di 9 piani, caratterizzato da una spiccata orizzontalità accentuata dalla sovrapposizione di fasce di travertino e laterizi in cui si inserisce il sistema delle aperture, su cui si eleva una torre di 19 piani e 87 metri di altezza, 109 se si considera l'antenna metallica sommitale, un elemento svettante compatto, privo di ornamenti, anch'esso giocato sull'alternanza dei due materiali. L'edificio viene realizzato in tempi rapidissimi grazie a ritmi di cantiere molto serrati, all'utilizzo di soluzioni tecnologiche di avanguardia (struttura portante metallica elettrosaldata) e materiali

Fig. 2 – Piazza Castello e la Torre Littoria di Torino in una cartolina degli anni Trenta.

innovativi (vetrocemento, clinker, linoleum). L'opera, che costituisce un importante esempio di razionalismo italiano con reminiscenze mendelsohniane (Rosso, 1994), sin dalla sua inaugurazione è stata oggetto di giudizi controversi. Essa, infatti, se dal punto di vista stilistico sembra provocatoriamente contrapporsi alle fabbriche barocche simbolo del potere sabaudo situate nella adiacente Piazza Castello e alla stessa Mole Antonelliana, per collocazione e tipologia emblematizza il carattere speculativo del rinnovamento novecentesco dell'antico centro. E forse proprio per queste ragioni è al centro di tante polemiche culturali e architettoniche, testimoniate dalla pubblicistica dell'epoca, e non sembra riscuotere approvazione neanche da parte dei cittadini che, nel corso anni, le attribuiscono vari soprannomi e definizioni ironiche: "pugno nell'occhio", "dito del Duce", "torre arrogante", "telefonino".

Un'altra significativa esperienza sul tema degli edifici alti, unica nel suo genere, è legata alla nascita del complesso sciistico di Sestriere, in Figura 3, sorto negli anni Trenta da una intuizione di Giovanni Agnelli che, in seguito a un viaggio in Norvegia, decide di investire sul turismo montano per favorire la diffusione di uno sport allora sconosciuto in Italia. Si tratta di una vera e propria città di fondazione nel cuore delle Alpi (Comba e D'Attore, 2017) il cui studio di impianti e servizi è affidato a Vittorio Bonadè Bottino (Signorelli, 1988), ingegnere torinese già collaboratore di Giacomo Mattè Trucco per la realizzazione della FIAT Lingotto (1915-30) e poi destinatario di altre importanti commesse da parte degli Agnelli tra cui lo stabilimento Mirafiori (1936-39).

La realizzazione più emblematica è quella della cosiddetta Torre di Sestriere (1932), un grande albergo che, per volere dello stesso imprenditore, deve avere un carattere "popolare" ed essere in grado di ospitare 200 sciatori alla modica cifra di 10 lire al giorno. La struttura è concepita come uno svettante corpo cilindrico scandito da aperture omogenee e regolari. L'interno è connotato da una rampa elicoidale continua, che riprende la precedente esperienza torinese del Lingotto e che sembra anticipare i temi wrightiani del Gugghenheim, su cui affacciano le cabine per gli sciatori; in copertura, un grande lucernaio centrale a 18 lati crea suggestivi effetti luminosi. La costruzione dell'edificio è portata a termine in soli 8 mesi, nonostante le problematiche logistiche e tecniche dovute alla complessità dei collegamenti e le asperità del sito, e forse la scelta tipologica della torre discende proprio dalla difficoltà di sbancamento del suolo e dalla necessità di concentrare in poche colonne portanti gli impianti per evitarne il congelamento (Signorelli, 1988) oltre che, probabilmente, dalla volontà di ottimizzare gli spazi e i costi. L'anno successivo, lo stesso Bonadè Bottino realizza una seconda torre, l'hotel Duchi d'Aosta (1933), più grande e spaziosa (Comba e D'Attore, 2017) e chiaramente indirizzata a una clientela più esclusiva, come si deduce anche dalla pista di atterraggio per elicotteri collocata in sommità, utilizzata dagli Agnelli per raggiungere velocemente Sestriere che, d'ora in avanti, si trasforma in una meta di turismo invernale sempre più

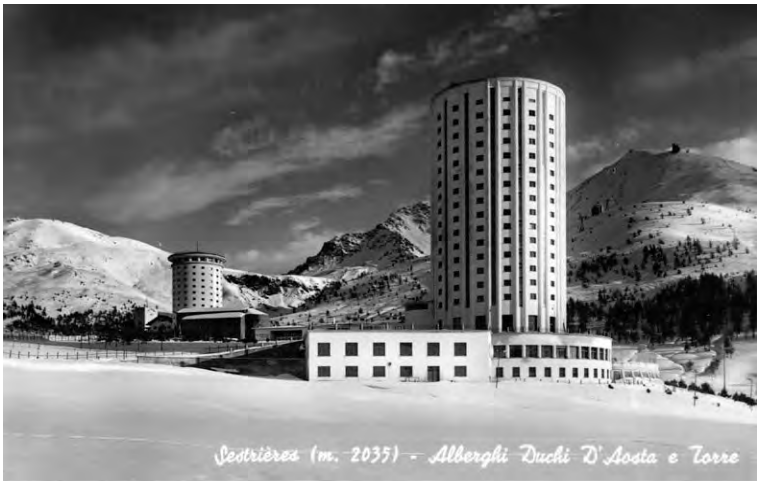


Fig. 3 – Gli alberghi-torre di Sestrière in una cartolina degli anni Cinquanta.

ambita. Le due torri albergo, imponenti per dimensioni e tipologia, sembrano sfidare provocatoriamente il loro contesto di riferimento ponendosi come elemento di rottura nel paesaggio, tanto che Mario Cereghini, nel suo volume *Costruire la montagna* (1950), in cui analizza vari edifici alpini, parla di una "minuscola moderna Babele" (Tamborrino, 2015). Esse costituiscono l'audace interpretazione estetica e la concretizzazione del binomio sci-innovazione (Tamborrino, 2015) e, con i loro volumi puri e razionali, emblematizzano il superamento dell'architettura vernacolare imponendosi ben presto come immagine iconica della nuova località sciistica e della modernità.

Alcuni dei temi architettonici dell'esperienza alpina vengono riproposti da Bonadé Bottino anche nella Colonia Marina Edoardo Agnelli (1933) di Marina di Massa, luogo di soggiorno estivo per i figli dei dipendenti Fiat, in Figura 4. L'avveniristico edificio, che in pianta ricorda un aereo, è costituito da un blocco basamentale alto 30 metri contenente i servizi (sale di ricreazione, refettorio, cucina, direzione, infermeria; impianti tecnici, magazzini e dispense nel seminterrato) su cui spicca una imponente torre che domina il paesaggio e ricorda nelle forme e nello stile l'hotel Duchi d'Aosta realizzato proprio in quegli anni a Sestriere (Teodosio, 2014). Anche stavolta il grande volume cilindrico (52 m di altezza e 25 m di diametro) contiene al suo interno una rampa elicoidale che si sviluppa per 17 piani attorno a un pozzo luce centrale, concepita come una sorta di camerata continua per circa 800 bambini (Cutini e Pierini, 1993).

Le torri di Sestriere e Marina di Massa rispondono a ragioni funzionali e pratiche ma si ammantano anche di valenze psicologiche e simboliche. Se sfruttare la di-

Fig. 4 – La Colonia Marina FIAT (Edoardo Agnelli) di Marina di Massa Carrara in una cartolina del 1947.

mensione verticale consente di ricavare molti posti letto su una superficie ridotta, le camerate strutturate intorno a un unico spazio vuoto centrale favoriscono la coesione sociale e facilitano il controllo dei piccoli ospiti della colonia marina. L'architetto Bonadè Bottino ha avuto l'innegabile merito di sdoganare la nuova tipologia architettonica aprendola a nuovi usi e collocazioni alternative in contesti paesaggistici rilevanti di cui diventano l'imprescindibile immagine iconica.

I grattacieli di Milano

Se a Brescia viene innalzato quello che è considerato il primo grattacielo italiano e se gli edifici alti sembrano trovare negli anni Trenta, seppure in maniera frammentaria ed episodica, una loro collocazione nelle stazioni turistiche, sarà però il capoluogo lombardo a diventare la vera palestra di sperimentazione della tipologia di importazione americana, come mostrato in Figura 5 (Veronesi, 1959; Mari, 1955).

Già prima della ricostruzione di Milano a seguito delle ingenti distruzioni dovute alle incursioni aeree degli alleati nel 1943-44, l'architetto Alessandro Rimini costruisce infatti in piazza San Babila la Torre Snia Viscosa (1935-37), una monumentale sede di rappresentanza con un'avanguardistica struttura in cemento armato e un'altezza di circa 60 metri (Disertori 2002). La volontà di continuità con la tradizione e la storia e il tentativo di legare l'edificio alto con il tessuto urbano che avevano caratterizzato l'intervento piacentiniano, si ritrovano anche nell'esperienza della prima svettante torre di Milano. Concepita anch'essa come cerniera, la torre Snia avrebbe permesso di ridare forma a un isolato profondamente distrutto dagli sventramenti del

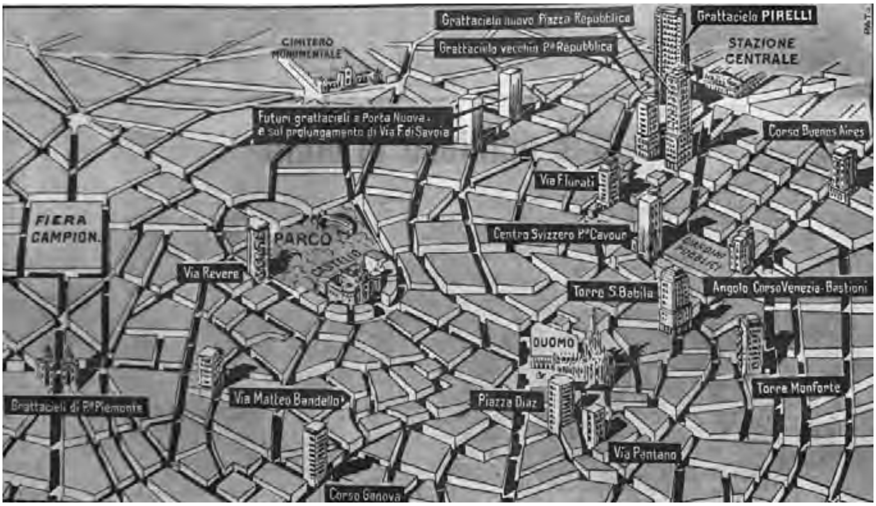


Fig. 5 – La "selva" di grattacieli a Milano in un articolo della Domenica del Corriere del 1955 (Mari, 1955).

piano Albertini, "*mediando con il suo volume le altezze difformi dei diversi fronti stradali*" e riammagliandosi al tessuto urbano attraverso il "*corpo curvo che risvoltava verso via Montenapoleone*" [1]. Per armonizzarsi maggiormente con i tratti della fisionomia urbana meneghina, il progettista opta per linee, le finestre quadrate, e materiali che sottolineano l'orizzontalità della torre similmente alla torre bresciana, mentre i balconi sul lato corto esaltano la verticalità del volume coronato da due piani arretrati che ne accentuano il carattere torriforme.

Anche quelle che si diffondono nella Milano del secondo dopoguerra sono spesso declinazioni italiche del grattacielo d'oltreoceano, come lo dimostra per esempio la soluzione adottata da Luigi Mattioni nella Torre Breda, alta 117 m, realizzata in piazza della Repubblica tra il 1953 e il 1955, anche se su un progetto degli anni Venti (Mattioni, 1955). Inaugurata dal presidente della Repubblica Giovanni Gronchi e celebrata come l'edificio in cemento armato più alto del mondo, la torre Breda, il cosiddetto "grattacielo di Milano", è il primo edificio alto a superare la soglia della Madonnina ubicata sopra il Duomo, che un regolamento di epoca fascista impediva di sorpassare in altezza. La torre si collega con le case vicine rispettando gli allineamenti del filo stradale attraverso un basamento con un porticato, confermando anche in questo caso che non si tratta di un edificio completamente indifferente al contesto urbano. L'eterogeneità formale ottenuta tramite bow-windows o terrazze, ma anche attraverso il cromatismo delle facciate dove il gres ceramico color turchese sfuma verso l'alto, attesta la ricerca di eccezionalità, di unicità e atipicità del manufatto, rinnegando i dettami della moltiplicabilità dello *skyscraper* statunitense. Seppur profondamente diversi

Fig. 6 – Il Grattacielo Pirelli di Milano in una veduta attuale.

per struttura, skyline e tecnologia, la torre Velasca (1950-58) dei BBPR, soprannominata dai milanesi il grattacielo con le bretelle, e il grattacielo Pirelli (1955-60) di Giò Ponti, in Figura 6, con la sua fenditura mediana che esprime chiaramente l'invenzione strutturale, nascono entrambi per essere dei "pezzi unici" resi possibili dalle nuove tecnologie. E anche le ragioni economiche legate all'elevata rendita fondiaria, che oltreoceano avevano costituito il presupposto dell'edificio alto, a Milano lasciano il posto alla ricerca di innovazione, cambiamento e modernità: ma una modernità che non è necessariamente in contrasto con la tradizione. Il corposo aggetto, la tonalità dei rivestimenti e la dimensione delle finestre della torre Velasca, per esempio, intendono riallacciare con la tradizione un manufatto che si discosta radicalmente da ogni possibile riferimento tipologico.

Apprezzata da Giò Ponti per la sua "proporzione perfetta di volumi" (Ponti, 1961), la torre Galfa (1956-59) svetta con i suoi 109 m e fa parte del piano per un nuovo centro direzionale mai pienamente realizzato, a poca distanza dalla torre Breda e dal coevo grattacielo Pirelli. Melchiorre Bega fa chiaramente l'occhiolino alle soluzioni dell'architettura moderna europea, per il guscio completamente trasparente e smaterializzato ottenuto dal *curtain wall* in stile gropiusiano, ma anche alle trasparenze spettacolari e alla flessibilità interna degli *skyscrapers* statunitensi, inaugurando anche a Milano il modello del grattacielo vetrato che ancora oggi trova un largo consenso nei progettisti attivi nel capoluogo lombardo.

Conclusioni

Il grattacielo è una tipologia tipicamente americana trapiantata in Europa nei primi decenni del Novecento per assecondare esigenze di rinnovamento architettonico piuttosto che per l'effettiva necessità di risolvere problemi pratici. Il tema compositivo, che racchiude questioni stilistiche, tecnologiche, ma anche politiche e culturali, affascina tanti nostri progettisti. Le riconfigurazioni di antichi nuclei cittadini, particolarmente numerose durante il Ventennio, spesso costituiscono l'occasione per sperimentare la nuova categoria architettonica.

Gli edifici alti costruiti in questo periodo, quasi sempre denominati "torri" per sottolineare la continuità con il passato, nonostante la fortuna talvolta controversa, diventano inevitabilmente gli episodi più eclatanti e rappresentativi delle rinnovate realtà urbane di riferimento.

Se le realizzazioni di Piacentini, per scelte stilistiche e materiche, rimangono saldamente ancorate alla storia e ai luoghi in cui si svolgono esprimendo appieno il legame con la tradizione e il carattere italico, un approccio differente caratterizza le esperienze piemontesi di Melis de Villa con Giovanni Bernocco e Bonadè Bottino. La torre di Torino, così come quelle di Sestriere e Marina di Massa, emblematizzano la ricerca di una connessione con la modernità europea attraverso la sperimentazione di linguaggi alternativi, ma anche di materiali e tecniche innovative.

Nel secondo dopoguerra, nell'ambito dei processi di ricostruzione e modernizzazione delle città italiane, la ricerca architettonica e costruttiva sulla tipologia torna a essere molto viva (Cottone, 2009). La diffusione del cemento armato e di nuovi materiali consentono una sempre maggiore aderenza tra innovazioni tipologiche e soluzioni costruttive (Franchini, 2009). Edifici alti, ormai sempre più 'grattacieli' e meno 'torri', vengono innalzati in tutta la nostra penisola: dai già citati casi milanesi di Breda (1955), Velasca (1958), Galfa (1959) e Pirelli (1960), al Grattacielo della Società Cattolica Assicurazioni (1954) realizzato dall'architetto Stefania Filo Speziale nel cuore di Napoli, a due passi da Piazza Municipio e il Maschio Angioino (Castagnaro, 1998), al monumentale Palazzo Ina Assitalia (1955) dell'architetto Carlo Broggi nei pressi del Teatro Massimo di Palermo, sino alle realizzazioni dell'ingegner Eugenio Berardi sulla costa romagnola, il grattacielo Marinella di Milano Marittima (1956) e il "grattanuvole" di Cesenatico (1957) che, a dire del loro progettista, proprio grazie all'altezza, offrono una rinnovata percezione e fruizione dell'ambiente naturale marino (Trentin, 2006; Orioli, 2008) e ben presto diventano l'icona indiscussa della turisticizzazione della riviera.

Bibliografia

Castagnaro A. 1998. *Architettura del Novecento a Napoli*. Napoli: Edizioni Scientifiche Italiane.

Cereghini M. 1950. *Costruire la montagna*. Milano: Ed. Milione

Comba M,. D'Attorre R. 2017. 1931: orizzonte a quota 2000. In: *La città, il viaggio, il turismo. Percezione, produzione e trasformazione* (a cura di G. Belli, F. Capano, M.I. Pascariello), 1943-1941. Napoli: Cirice.

Cottone A. 2009. L'edificio alto nella declinazione italiana. In: *La costruzione dell'architettura. Temi e opere del dopoguerra italiano* (a cura di P. Bardelli, A. Cottone, F. Nuti, S. Poretti, A. Sanna), 24-27. Roma: Gangemi Editore.

Cutini, V., Pierini R. (a cura di). 1993. *Le colonie marine della Toscana. La conoscenza, la valorizzazione e il recupero dell'architettura per la riqualificazione del territorio*. Pisa: Edizioni ETS.

De Magistris A. 2004. *High-Rise. Percorsi nella storia dell'architettura e dell'urbanistica del XIX e del XX secolo attraverso la dimensione verticale*. Torino: UTET.

Disertori A. et al. 2002. *Il primo grattacielo di Milano. La casa torre di piazza San Babila di Alessandro Rimini*. Cinisello Balsamo: Silvana Editoriale.

Franchini F. (a cura di). 2009. *Colonie per l'infanzia tra le due guerre*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Lupano M. 1991. *Marcello Piacentini*. Roma-Bari: Laterza.
Mari S. 1955. Tra qualche anno a Milano una selva di grattacieli. Domenica del Corriere, 40, 12-14.
Mattioni L. 1955. Il grattacielo di Milano. Edilizia moderna, 56, 9-30.
Muratore G. 1976. Métamorphose d'une mythe: 1922-1943; le gratte-ciel américain et ses reflets sur la culture architecturale italienne. Archithèse, 18, 28-36.
Orioli V. 2008. *Cesenatico. Turismo balneare tra Otto e Novecento*. Firenze: Alinea.
Pacini R. 1932. La sistemazione del centro di Brescia dell'architetto Marcello Piacentini. Architettura, 12, 649-673.
Pisani M. 2004. *Architetture di Marcello Piacentini. Le opere maestre*. Roma: CLEAR.
Ponti G. 1961. Le torri di Milano: la torre Galfa. Domus, 377, 3-16.
Rosso M. 1998. La crescita della città. In: *Storia di Torino dalla Grande Guerra alla liberazione 1915-1945* (a cura di N. Tranfaglia N.), 8, 425-471. Torino: Einaudi.
Savorra M. 1996. Un "sogno americano": gli europei al concorso del 1922 per il Chicago Tribune. In: *Luoghi e stagioni dell'architettura moderna fra Europa e Stati Uniti* (a cura di M.L. Scalvini, F. Mangone), 85-108. Napoli: CUEN.
Signorelli B. 1988. Vittorio Bonadè Bottino. In: *Dizionario Biografico degli Italiani*, 34. Roma: Treccani
Tamborrino R. 2015. I convegni di architettura montana a Bardonecchia, Roberto Gabetti e la questione del moderno nel Piemonte del dopoguerra. In: *Architettura e paesaggi della villeggiatura in Italia tra Otto e Novecento* (a cura di F. Mangone, G. Belli e M.G. Tampieri), 137-157. Milano: FrancoAngeli.
Teodosio A. 2014. Sguardi verso l'orizzonte. Le colonie marine tra Tirreno e Adriatico. In: *Le jeu savant. Luce e oscurità nell'architettura del XX secolo - Light and Darkness in XX Century Architecture* (a cura di S. Berselli, M. Brunner e D. Mondini), 127-135. Mendrisio: Mendrisio Academy Press.
Trentin A. (a cura di). 2006. *Edifici alti in Romagna*. Bologna: Clueb.
Veronesi G. 1959. L'architettura dei grattacieli a Milano. Comunità, 74, 78-91.

Webgrafia

[1] www.ordinearchitetti.mi.it/it/mappe/itinerari/edificio/723-torre-snia-viscosa/17-milano-altahttp://www.museotorino.it/view/s/33a14d5c4e3c447096c6d1c5e67378f4 http://www.aurumhotels.it/hotel-torri/la-storia-delle-torri.html

Note

* All'interno di questo testo, sono di Simona Talenti i paragrafi 1 e 3; di Annarita Teodosio i paragrafi 2 e 4.

1. Nel 1915 Piacentini visita alcune tra le più importanti città degli Stati Uniti (San Francisco, Chicago, New York). Le sue impressioni, non sempre entusiasmanti, sono contenute in una lettera datata 12 marzo 1915 indirizzata alla sorella Maria da Chicago conservata presso l'Archivio Marcello Piacentini (Università degli Studi di Firenze. Biblioteca di scienze tecnologiche. Architettura) Cartella 27.1.

Alessandra Como, Luisa Smeragliuolo Perrotta

Street Architecture: l'infrastruttura come spazio della città e del paesaggio

Abstract
In Italy during the '60s the construction of public works such as roads and infrastructural networks created fast and safe connections among places, building a new system of relations, superimposed on the landscape, that over time has changed through these new works. Today, with the transformations affecting the transport system, there is an increasing need to talk about the role and sense that infrastructures - old and new – take on within cities. The sudden collapse of part of the Polcevera Viaduct designed by Riccardo Morandi, that occurred in Genoa in 2018, tragically reminded us that the existing infrastructures need constant overhaul with conscientious replacements of parts and in some cases that it is necessary to give them up if they no longer guarantee safety criteria. The demolition of infrastructures is often seen as the fastest and most useful solution. However, there are also opinions opposing the demolition tout court that trust in the possibility of reuse and creative transformation for new spaces within the city. This paper analyzes the role of infrastructure within the contemporary city, showing its character as a machine for reading and knowledge of the landscape and its role in the development of studies and experimentations on the construction of perceptual experiences within the architectural project. Infrastructures, and in particular roads and paths, are no longer observed exclusively from a technical point of view but rather as spaces in the city that need new interpretations in order to respond to the growing demand for alternative mobility and related public spaces.

Introduzione
Il dramma del ponte Morandi, crollato nell'agosto 2018, con il suo bilancio di 43 morti ha tragicamente riportato il tema delle infrastrutture al centro del dibattito contemporaneo sull'architettura e sulla città, ricordando la necessità di tenere sotto stretta osservazione le strutture della mobilità realizzate negli anni passati. Non si tratta più esclusivamente di ampliare e ristrutturare stazioni, scali aerei e ferroviari esistenti per adeguarli a nuove esigenze di mobilità come accaduto in molte città italiane negli ultimi anni, ma piuttosto di rivedere e garantire la sicurezza del fitto sistema di reti infrastrutturali che a partire dagli anni '60 in poi è stato sovrapposto al territorio.

A partire dalla reale necessità di controllo di strade, ponti e viadotti, c'è anche il bisogno di rimettere al centro del dibattito la rivisitazione di alcuni sistemi della viabilità. Sono ancora necessari? In alcuni casi gli interventi di consolidamento sono poco sostenibili e le infrastrutture si potrebbe ritenere non più indispensabili o da sostituire. In caso di demolizione di infrastrutture, quali sono le conseguenze?

Ripensare al sistema delle infrastrutture è una questione di grande importanza nel contemporaneo. Spesso in passato le strade sono state viste come elementi da progettare esclusivamente da un punto di vista tecnico. Oggi invece il progetto delle strade necessita di far riconoscere il ruolo che le infrastrutture hanno nella costruzione della città. Questo riconoscimento è legato non solo alle mutate esigenze tecniche della nuova mobilità ma piuttosto ad alcune caratteristiche spaziali delle infrastrutture ancora parzialmente da esplorare da un punto di vista progettuale.

L'obiettivo di questo lavoro è mostrare che le infrastrutture sono dispositivi di collegamento, funzionali alla mobilità dei cittadini, ma sono soprattutto spazi della città: infrastrutture e reti infrastrutturali sono dispositivi sensoriali e percettivi interni al tessuto urbano, parti integranti della cultura e della città contemporanea. Nella prima parte del testo le infrastrutture sono analizzate come elementi inseriti all'interno del territorio che si sovrappongono al paesaggio e creano una seconda natura. L'intensificarsi della realizzazione di reti infrastrutturali ha portato infatti non solo un cambiamento nella geografia dei luoghi ma anche un cambiamento culturale. Le infrastrutture sono diventate, passando anche attraverso una metamorfosi dell'immaginario collettivo, luoghi di vita quotidiana. Nella seconda parte del testo sono invece analizzati la dimensione territoriale, il carattere narrativo, le differenti percezioni legate al movimento come caratteristiche delle infrastrutture e dei luoghi che le caratterizzano. Ripensare alle infrastrutture e al loro ruolo nella città contemporanea è ritrovarne un senso a partire da queste categorie spaziali che sono un valore che il progetto dell'infrastruttura ha portato all'interno della città e del paesaggio.

Passando attraverso esempi di strategie per la trasformazione di infrastrutture nella città che coinvolgono esempi internazionali e sperimentazioni progettuali condotte dagli autori, il paper propone una riflessione sul tipo di spazio pubblico che le infrastrutture portano all'interno della città con l'obiettivo di dare un contributo al dibattito sul tema delle infrastrutture attraverso la costruzione di un punto di vista che possa risultare alternativo alla loro demolizione totale. È stata infatti operata una rilettura delle infrastrutture a partire dal ruolo e dal senso che assumono all'interno della città e del paesaggio ai fini di una possibile riconversione che tenga in considerazione le caratteristiche spaziali e urbane delle infrastrutture stesse.

L'infrastruttura come dispositivo per la lettura e la conoscenza del paesaggio

È tra gli anni '50 e gli anni '60 del 900 che l'ingegneria e il mondo delle costruzioni italiano vivono una stagione di grandi successi decretati anche a livello internaziona-

le. Il testo di Kidder Smith, *Italy Builds,* ha mostrato il grande fermento costruttivo di quegli anni (Kidder Smith, 1955). Nel 1957 Riccardo Morandi costruisce il viadotto di Maracaibo; nel 1963 Pier Luigi Nervi continua il ciclo delle sue opere americane con la stazione degli autobus al George Washington Bridge di New York. In Italia invece in quegli anni sono le reti di strade e autostrade a incidere maggiormente sul territorio.

Nel 1964 viene inaugurata l'Autostrada del Sole, che attraversa la penisola collegando Milano a Napoli per una lunghezza di quasi 800 km. Se la rete ferroviaria aveva visto il suo maggiore sviluppo nell'800 con l'inaugurazione del tratto Napoli - Portici nel 1839, è intorno alla metà del '900 che vengono rinnovate stazioni ferroviarie come quella di Roma Termini, su progetto di Annibale Vitellozzi, e quella di Firenze Santa Maria Novella, su progetto di Giovanni Michelucci.

La rete autostradale e la rete ferrovia si sovrappongono al paesaggio italiano: uniscono la penisola. Diventano occasioni importanti per la costruzione di nuovi spazi connessi alle infrastrutture. Il progetto delle reti infrastrutturali porta con sé la realizzazione di elementi architettonici come le pensiline, i ponti, i viadotti e i caselli autostradali e di luoghi come le aree di sosta e le nuove fermate della linea ferroviaria. Questi sono occasioni di progetto per una generazione di professionisti che si sperimenta nella cultura del progetto dell'infrastruttura.

Le reti infrastrutturali hanno rappresentato un momento importante per la cultura nazionale, in quanto è attraverso il loro uso che si è entrati a contatto con la diversità e la ricchezza del paesaggio italiano. Da Nord a Sud, attraversando la penisola, il paesaggio cambia molto, rispecchiando caratteristiche morfologiche e geografiche che cambiano da regione a regione. La rivoluzione delle reti infrastrutturali e del loro uso di massa è stato proprio portare tutti a conoscenza di questo paesaggio, prima noto solo attraverso le descrizioni letterarie.

Il cinema italiano del '900 porta sul grande schermo il cambiamento culturale, misto all'inquietudine, della vita moderna cui ha contribuito il diffondersi delle infrastrutture. Pellicole come *Destinazione Piovarolo* di Domenico Paolella del 1955, *L'ingorgo* di Luigi Comencini del 1978, *Il vigile* di Luigi Zampa del 1961 o *Cafè Espresso* di Nanny Loy del 1980 sono ambientate su strade, autostrade, vagoni e stazioni ferroviarie (Canova, 2012). Questi sono i luoghi dove si trascorre la vita moderna, dove nascono storie, luoghi di relazione, scenografie reali di frammenti di vita.

Le infrastrutture sono non solo una linea tecnica necessaria. Si compongono di più elementi e nel loro insieme riscrivono il paesaggio. Strade, autostrade e reti ferroviarie assumono così la dimensione narrativa di un racconto dove ogni episodio è un segno architettonico sul paesaggio. Non è solo questione di collegare punti: le stesse reti infrastrutturali si fanno dispositivi per l'attraversamento e la conoscenza del paesaggio.

"*Innumerevoli sono i sopralluoghi che ho ripetutamente eseguito lungo tutto il percorso dell'autostrada del sole, fra il 1953 e il 1955: calcolo, senza tema di sbagliare, di aver fatto a piedi, passo passo, in andata e ritorno, almeno tre volte l'intero cammino da Milano a Napoli. Ma alcuni tratti li ho percorsi in particolare, assai di più; come quello appenninico fra Bologna e Firenze, che devo aver percorso almeno una ventina di volte...Una persona ebbe in quel tempo ad affermare pubblicamente che la mia soluzione fra Bologna e Firenze "era fatta coi piedi". Senza volerlo diceva una gran verità, ché le strade si devono proprio fare coi piedi, calpestando il tracciato metro per metro, guardando, osservando, interrogando, riflettendo e meditando*" (Jelmoni, 1960).

Con queste parole Aimone Jelmoni, ingegnere progettista dell'Autostrada del Sole, descrive il suo progetto di quella che è definita l'autostrada più bella del mondo, camminando e percorrendo quei kilometri.

Questo tipo di impostazione nel contemporaneo è utilizzata come strumento per la riscoperta dei luoghi intorno alle infrastrutture. 300 km a piedi e 1550 km a bordo di un camper sono alcuni dei numeri del *Sacro Gra*, una ricerca pubblicata nel 2013 del paesaggista italiano Nicolò Bassetti, che ha esplorato i luoghi intorno alla celebre infrastruttura romana del Grande Raccordo Anulare, l'autostrada tangenziale che circonda come un anello il centro della città di Roma.

Il GRA è conosciuto per essere la più lunga autostrada urbana d'Italia con il suo tracciato di 68 kilometri, ma anche fortemente complessa e trafficata. Dalla ricerca di Bassetti (Bassetti e Matteucci, 2013) è stato tratto il documentario *Sacro Gra* diretto da Gianfranco Rosi, vincitore del premio Leone d'oro al miglior film Mostra internazionale d'arte cinematografica di Venezia nel 2013. Il documentario mostra la vita che si snoda intorno alla strada che circonda Roma. Gianfranco Rosi e Nicolò Bassetti hanno esplorato i luoghi intorno alla celebre infrastruttura romana percorrendo strade e sentieri non segnati in alcuna mappa e incontrando le persone che abitano quei luoghi, evidenziandone la vita e la bellezza sconosciuta.

"Nei luoghi che abbiamo attraversato, che sono stati realizzati attraverso operazioni di cosiddetto abusivismo di necessità, o edilizia spontanea, c'è un senso di appartenenza che è molto superiore ai luoghi progettati e imposti da una politica pubblica o privata. [...] Il GRA produce città [...] Anche quelle aree sono città e non solo luoghi della mobilità" [1].

L'appropriazione del GRA da parte delle persone che lo abitano ogni giorno negli spazi sottostanti che crea e definisce lo rende un pezzo di città vivo.

La maniera istintiva e creativa di abitare pezzi di reti infrastrutturali ci dà la misura della capacità di adattamento che la città stessa mette in atto nei confronti degli

spazi indefiniti, come in questo caso i ritagli di spazio nati intorno al GRA. Spazio sono le infrastrutture, ma sono anche i luoghi su cui insistono che, aldilà dello stato e della manutenzione, crescono e si evolvono al loro intorno come organismi biologici autonomi.

Riflessioni sulle condizioni spaziali delle infrastrutture

I racconti della costruzione della grande autostrada italiana e l'interpretazione attraverso il cinema del raccordo anulare romano mostrano come anche la grande infrastruttura possa diventare un luogo, uno spazio raccontato attraverso le percezioni e all'interno dell'esperienza soggettiva della percorrenza. Tale considerazione ci invita a guardare con occhi nuovi le aree complesse della città contemporanea caratterizzate dalla presenza di macroinfrastrutture come ponti, sovrappassi, cavalcavia, sottopassi, incroci con strade a elevato scorrimento, grandi nodi viari, vuoti, ponti ferroviari e così via. Benché questi interventi siano generalmente originati da studi unicamente di tipo funzionale, tali da realizzare sistemi che si sovrappongono, spesso con violenza e in altri casi con indifferenza, allo spazio urbano, è ancora possibile uno sguardo interno alla specifica condizione spaziale, capace di riconquistare il ruolo del soggetto fruitore di quegli spazi, restituendo dunque un livello fisico e sensoriale capace di interpretare e dunque anche di individuare una potenzialità di trasformazione. Si tratta in sostanza di spostare lo sguardo dalla condizione dell'essere al di sopra della città e del territorio a quella interna dello spazio architettonico, da una visione fissa e astratta a quella mutevole ed esperienziale che segue, come scrive De Certeau, le traiettorie di coloro che vivono quotidianamente la città e che sono in basso. In tal senso anche i luoghi difficili da comprendere, come quelli delle infrastrutture, possono essere riappropriati e divenire spazio:

> *"Si ha lo spazio quando si prendono in considerazione il movimento e il tempo. È spazio l'effetto prodotto dalle operazioni che lo temporalizzano, lo fanno funzionare. Spazio è luogo praticato. Così la strada geograficamente definita da un'urbanistica è trasformata in spazio dai camminatori"* (De Certeau, 1984).

È dunque dall'interno, nelle specificità spaziali e attraverso un'investigazione di tipo percettivo, che intendiamo cercare di comprendere i luoghi dell'infrastruttura nella città, provando a interpretarli. Il progetto dovrà partire dunque dalla natura degli spazi delle infrastrutture che sono, per costituzione, complessi, ambigui, pluriscala e fuori dalle logiche normative di classificazione tipologica o funzionale. All'interno di tali spazi complessi è possibile, nonostante l'apparente eterogeneità delle soluzioni e le forti differenze dei casi concreti, riconoscere dei tratti comuni. Tra questi, elemento ricorrente è lo spostare il livello di riferimento urbano da quello del suolo ad altri livelli: sotterranei o sopraelevati. Si ottiene una nuova condizione

simile a quella degli scavi archeologici, in cui si riconoscono vari livelli sovrapposti, tante città spesso prive di relazione, una stratigrafia che di fatto costruisce una nuova geografia.

L'elevarsi di livello può portare a una comprensione più profonda dello spazio urbano. Si possono conquistare viste che permettono di creare collegamenti visivi con altre parti della città e del territorio, riconfigurando il paesaggio urbano. Nuove relazioni possono essere istituite, precedentemente inconcepibili; dall'alto di un viadotto, ad esempio, si può penetrare all'interno degli spazi abitati dei piani alti degli edifici, osservare i piani dei tetti come un nuovo orizzonte, oppure scavalcare con lo sguardo parti di città.

Non si tratta di creare panorami o luoghi per lo spettacolo urbano, quanto di comprendere quello che è intorno a noi, lo spazio della città. Questa è nello specifico l'interpretazione che Henri Lefebvre fa della vista dall'alto della città nel suo testo *Seen from the Window*, in cui osserva e studia la città dall'alto della sua finestra (Lefebvre, 2004). Il trovarsi a distanza e a una quota maggiore rispetto alla scena della strada sottostante gli permette un'osservazione più attenta. Se nello spazio della città i suoni si sentono come rumori, dall'alto è possibile coglierli individualmente separando i flussi, per poterne studiare il ritmo. Anche se da un'altezza maggiore rispetto a quello del suolo, è un'osservazione dentro gli spazi, dall'interno della vita della città.

Ulteriore aspetto degli spazi delle infrastrutture è l'essere indissolubilmente legati al movimento e alla percorribilità. Lo studio del movimento può incrementare la complessità spaziale, introducendo sequenze tradizionalmente inconcepibili. Si può cominciare un percorso dall'alto invece che dal basso, l'esterno e l'interno possono essere confusi, nuove relazioni possono essere create passando attraverso o sopra architetture esistenti. Analogamente alla lettura di Kevin Lynch e Donald Appleyard in *The View from the Road*, il progetto intorno alle infrastrutture può controllare il sistema delle viste e delle percezioni costruendo sequenze spaziali nel movimento (Appleyard et al., 1964). Progetti intorno alle infrastrutture conquistano in tal senso una dimensione narrativa, che potremmo accostare all'esperienza cinematografica.

La condizione dell'*infra* che è connaturata al senso e all'etimologia dell'infrastruttura, può divenire la concezione spaziale del progetto, basato sull'instaurare e rivelare un sistema di relazioni. Progettare intorno alle infrastrutture conduce a basare il progetto su un sistema di relazioni, ciò che ad esempio Alison e Peter Smithson consideravano l'elemento fondante dell'architettura: "*A building today is interesting only if it is more than itself; if it changes the space around it with connective possibilities*" (Smithson e Smithson, 1994).

Progettare intorno alle infrastrutture è dunque sostanzialmente un ridisegno del territorio attraverso le percorrenze e le viste, la conquista di una dimensione paesaggistica, interna agli spazi e che al contempo guarda lontano. Spazio, movimento e paesaggio sono gli elementi essenziali di un progetto intorno alle infrastrutture.

Ripensare l'infrastruttura come spazio della città e del paesaggio

Il secolo scorso ha prodotto una grande quantità di sistemi infrastrutturali che oggi vanno cambiati, trasformati e in alcuni casi sostituiti. Nasce dunque la domanda di cosa farne. La loro demolizione e il loro ri-uso diventano le due posizioni che animano i dibattiti sul ruolo e sul senso di queste infrastrutture all'interno dello spazio urbano.

C'è la necessità oggi di ripensare al tema delle infrastrutture del Paese, esplorandolo attraverso una ricerca trasversale per dare forza alla consapevolezza dell'importanza culturale e identitaria delle infrastrutture per il paesaggio.

Il tema delle infrastrutture interessa da vicino la vita delle persone che le utilizzano, sia quando le usano in maniera distratta sia quando, con consapevolezza, le percepiscono come spazi dove si svolge un momento di vita seppure breve.

Alcuni dei casi più interessanti che hanno riguardato il tema del riutilizzo di infrastrutture urbane sono stati infatti animati e alimentati da gruppi di cittadini che nelle infrastrutture urbane hanno riconosciuto un valore identitario. La trasformazione della High Line di New York [2] è caratterizzata dalla riconversione di un vecchio tracciato ferroviario sopraelevato in disuso in parco pedonale verde, creando uno spazio pubblico, come un giardino, attraverso cui attraversare la città a una quota differente rispetto alla strada. L'idea nasce da un gruppo di residenti e commercianti della zona che si è opposto alla demolizione della ferrovia, creando l'associazione *Friends of the High Line*, che ha promosso il concorso internazionale per il progetto di riconversione.

"*Il viadotto è mercerie e tu puoi averne un pezzo*", è invece una delle frasi che si può leggere sul sito dedicato alle vicende della demolizione e ricostruzione del viadotto Alaskan Way, una strada a più livelli che caratterizzava il waterfront di Seattle. Danneggiato da un evento sismico, il viadotto è stato considerato troppo deteriorato per essere rimesso in sesto. Dopo molti anni di discussioni e polemiche, si è optato per la sua rimozione con la realizzazione di un tunnel stradale in sua sostituzione. La demolizione, terminata solo a novembre del 2019, così come i lavori previsti dal programma di ricostruzione per l'area su cui insisteva, sono seguiti con riprese in tempo reale. Oggi il viadotto non c'è più ma il Dipartimento dei Trasporti fa sapere che, in seguito alle numerose richieste pervenute, si può ricevere un pezzo di viadotto come ricordo.

Le esperienze di New York e di Seattle e delle associazioni mostrano la necessità dei cittadini di entrare a far parte dei processi decisionali e delle politiche di trasformazione delle città, soprattutto quando riguardano aspetti che li coinvolgono direttamente. Nel caso di New York, l'associazione *Friends of the High Line* ha scongiurato la demolizione della ferrovia sopraelevata facendosi promotrice del progetto di trasformazione della stessa in *promenade* verde. L'associazione *Friends of Waterfront Seattle* [3] non ha scongiurato la demolizione del viadotto ma ha preso

parte come partner delle istituzioni cittadine nel processo di trasformazione del waterfront mostrando l'importanza di essere parte del processo, avere voce e non subirlo passivamente. Le due associazioni sono oggi parte di una rete che comprende altre realtà urbane accomunate dalla partecipazione a grandi trasformazione urbane legate alle infrastrutture, *The High Line Network* [4], che comprende altri casi di riutilizzo delle infrastrutture localizzati tra Stati Uniti e Canada. Sul sito del network sono presenti le esperienze condivise ma anche materiale didattico per guidare i processi partecipati legati alle decisioni strategiche che investono il futuro delle infrastrutture e dunque di brani di città.

Sono oramai molti anni che le città investono nell'ammodernamento delle infrastrutture e dei luoghi a esse legati come stazioni e aeroporti, nuove linee e nuove fermate delle metro. In Italia, ad esempio, la realizzazione delle linee veloci dei treni, nonostante i ritardi, ha portato a grandi cambiamenti nonché alla realizzazione di nuove stazioni dedicate, modificando notevolmente il traffico e i movimenti dei pendolari e dei viaggiatori. Non sono poi mancati casi di ammodernamento e di ampliamento di strutture esistenti. Gli ambiti di rivisitazione dell'esistente, pur essendo diversi, in genere non si allontanano dalla proposta di una rivisitazione esclusivamente funzionale. I luoghi delle infrastrutture vengono ampliati con l'aggregazione di spazi legati al mercato dell'attesa in continua crescita.

I progetti esaminati, per quanto differenti nei contenuti e nelle soluzioni, mostrano l'evidenza della necessità di considerare le infrastrutture come spazio pubblico. Da qui la necessità di incentivare le ricerche e le sperimentazioni progettuali rivolte al ripensare le infrastrutture come occasioni di spazio pubblico all'interno della città contemporanea.

Ripensare l'infrastruttura come tema di progetto

Ripensare le infrastrutture esistenti e il loro ruolo all'interno della città contemporanea è stato oggetto di sperimentazioni progettuali condotte all'interno dei corsi di Architettura e Composizione Architettonica dell'Università degli Studi di Salerno. *Inhabit infrastructure* e *Street Architecture* sono alcune delle frasi utilizzate per demarcare l'ambito di intervento come rovesciamento del paradigma tradizionale che vede le strade e le infrastrutture esclusivamente come una questione tecnica minimizzando il loro essere spazio pubblico all'interno della città e il loro interesse come tema di architettura. Attraverso lo studio di testi teorico-critici e di esperienze progettuali si è tentato innanzitutto di spingere gli studenti verso la costruzione di una consapevolezza e di una sensibilità nei confronti delle possibilità esperienziali esistenti all'interno di spazi che tradizionalmente siamo orientati a considerare esclusivamente come dispositivi e macchine per la mobilità con la funzione di trasportarci da un punto a un altro. Si è deciso pertanto di utilizzare come oggetto di sperimentazioni progettuali infrastrutture luoghi della mobilità, in disuso o già in

trasformazione, per evidenziare la contemporaneità del tema e rendere il progetto simulazione di una situazione reale.

In particolare sono stati oggetto di studio esempi di infrastrutture esistenti già in corso di trasformazione, come il citato caso del viadotto Alaskan Way a Seattle, la Stazione per autobus al George Washington Bridge progettata da Pier Luigi Nervi, la trasformazione del Viale XVII Olimpiade oggetto di un concorso di idee promosso dal Municipio 2 del comune di Roma e viadotti e stazioni che potrebbero essere oggetto di trasformazioni perché abbandonati o sostituiti, come nel caso dei due casi studio a Salerno: il viadotto Gatto e un ex deposito ferroviario ora in stato di abbandono.

Le sperimentazioni sono state orientate a una rivisitazione generale delle opere che ha coinvolto la mobilità e gli spazi connessi, in alcuni casi riducendoli, in altri ampliandoli. In generale è prevalsa la possibilità di riusare totalmente o in parte le infrastrutture e i luoghi della mobilità come spazi di città, non solo perché già esistenti, ma perché rappresentano nuove possibilità di uso e di attraversamento del tessuto urbano. Gli studi sono infatti partiti da analisi percettive condotte da esperienze reali o condotte a distanza. In alcuni casi la tecnologia ha guidato l'esperienza dei luoghi anche attraverso le suggestioni di altre persone che vivono gli spazi in oggetto.

A partire dalle esperienze di percezione e di attraversamento della città, le soluzioni definite hanno rispecchiato delle aspirazioni che tengono insieme caratteristiche dello spazio pubblico e usi possibili. In tal senso, il progetto ha avuto come obiettivo la risposta alla complessità dei sistemi infrastrutturali all'interno della città, tenendo insieme potenzialità ed esigenze reali. I progetti sono soluzioni urbane a questioni e nodi delle città aperti e in attesa di idee. Le soluzioni proposte hanno così espresso innanzitutto una posizione critica nei confronti del tema, proponendo trasformazioni e riusi totali o parziali e riconoscendo nelle infrastrutture possibilità di spazio della città con caratteristiche specifiche.

Conclusioni

Ripensare oggi alle infrastrutture all'interno delle città significa saperle interpretare attraverso le loro caratteristiche spaziali. Se oggi si guarda alle infrastrutture e al loro riutilizzo in chiave urbana è perché sono state lette come nuove possibilità di spazio pubblico. La dimensione pubblica che oggi ha la High Line di New York è una conquista non banale di una rivoluzione del senso dell'infrastruttura stessa. Se in passato erano le grandi utopie a contenere al proprio interno la fusione della dimensione utilitaristica con la dimensione pubblica dei sistemi di reti stradali e ferroviarie, oggi la necessità di ripensare ai sistemi infrastrutturali ci fa guardare alla trasformazione di brani di città dove la dimensione pubblica è la principale caratteristica dello spazio dell'infrastruttura.

Lo studio sulle infrastrutture diviene così una occasione per ripensarle non solo da un punto di vista funzionale, ma come presupposto per qualsiasi scelta che ne

determina l'esistenza, la funzione e il ruolo all'interno del tessuto urbano. Le infrastrutture generano occasioni di spazio all'interno della città caratterizzate da relazioni di scala, di misura e di viste singolari che possono essere valorizzate all'interno del progetto.

Senza entrare nella retorica che tutto debba essere conservato, è necessario inserire all'interno dei criteri utilizzati nelle valutazioni sulle opportunità di conservare le infrastrutture le possibilità spaziali che queste offrono per le loro caratteristiche individuali e in relazione allo spazio della città

La dicotomia tra riuso e demolizione non può essere rimpiazzata da una idea di infrastruttura moderna che guarda esclusivamente alla funzionalità e all'incremento del consumismo dell'attesa, dimenticando le relazioni con la città e il paesaggio. Le infrastrutture portano al loro interno possibilità percettive ed emozionali che diventano occasioni di spazio per vivere la città differentemente.

Bibliografia

Appleyard D., Lynch K., Myer J.R. 1964. *The View from the Road*. Cambridge Mass: MIT Press.

Bassetti N., Matteucci S. 2013. Sacro romano Gra. Macerata: Qoodlibet.

Canova G. 2012. Rotaie, viadotti, autostrade. In: *L' architettura del mondo. Infrastrutture, mobilità, nuovi paesaggi* (a cura di A. Ferlenga, M. Biraghi, B. Albrecht), 232-239. Milano: Compositori.

De Certeau M. 1984. *The Practice of Everyday Life*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Jelmoni F.A. 1960. Come ho progettato l'Autostrada del Sole. Asfalti, bitumi, catrami, XXIX, 399-409.

Kidder Smith G.E. 1955. *L'Italia costruisce: sua architettura moderna e sua eredità indigena = Italy builds*. Milano: Edizioni di comunità.

Lefebvre H. 2004. *Rhythmanalisis. Space, Time and Everyday Life*. London - New York: Continuum.

Smithson A., Smithson P. 1994. *Changing the Art of Inhabitation*. London: Artemis.

Webgrafia

[1] http://www.sacrogra.it/p/oggetto/ring-infrastructural-landscapes-rethinking-the-urban-borders-conversazione-con-nicolo-bassetti (ultima consultazione dicembre 2019).

[2] https://www.thehighline.org/

[3] https://www.friendsofwaterfrontseattle.org/

[4] https://network.thehighline.org/

Michele Maria La Veglia

Il Nucleo NBCR dei Vigili del Fuoco: una storia recente

Abstract
In 2002 the Fire Brigade created a special organization based on specialized units for nuclear, chemical, chemical and radiological risks, the CBRN. These units normally intervene in accidents in production activities and especially in accidents related to the transport of dangerous substances. They shall also face the new threat of unconventional terrorism. In the first months of 2020, the Italian NBCR was the only non-health technical resource in the Covid-19 emergency.

Introduzione
Da tempo ormai tutti abbiamo capito di essere esposti a rischi non facilmente immaginabili, cosiddetti rischi derivanti anche da eventuali atti criminosi,

Per il contrasto di tipo tecnico a queste minacce opera un nucleo speciale dei Vigili del Fuoco che è specializzato nella lotta ai rischi generalmente indicati con l'acronimo NBCR, cioè Nucleari, inteso come sostanze fissionabili, Biologici, Chimici e Radiologici.

Il settore opera pertanto negli interventi che coinvolgono sostanze chimiche pericolose convenzionali (derivate dai cicli produttivi industriali) e non convenzionali (tutti gli altri).

Nel campo degli interventi coinvolgenti organismi biologicamente attivi e/o virulenti i Vigili del Fuoco sono stati impegnati negli anni recenti negli interventi di recupero di contenitori o buste con sospetta presenza di polveri di antrace (batteri e spore), per il recupero di volatili migratori (influenza aviaria o chicken flue). In questi mesi sono in prima linea per le operazioni tecniche connesse all'emergenza Covid-19.

Al ministero dell'Interno erano sono stati attribuiti "i servizi tecnici per la tutela dell'incolumità delle persone e la preservazione dei beni derivanti anche dall'impiego dell'energia nucleare" fin dagli anni '60, con la legge sull'ordinamento del Corpo nazionale dei vigili del fuoco 13 maggio 1961, n. 469.

Nel 2002, riorganizzando tali precedenti attività ed esperienze, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, per meglio contrastare questi rischi, si è dotato di una particolare organizzazione che, prevedendo competenze diverse fra i vari opera-

tori, dalle squadre base ai nuclei specialistici, ha comportato l'adozione di nuovi percorsi formativi, addestrativi e di mantenimento, di nuove attrezzature e automezzi e di nuove procedure operative e sistemi di gestione dell'emergenza (MI, 2002a).

L'organizzazione dei Nuclei NBCR

Questi specialisti dei vigili del fuoco si distinguono immediatamente dagli altri per la particolarità dei loro indumenti. Quando intervengono non indossano la divisa istituzionale, ma sono equipaggiati di particolari tute scafandrate per la protezione personale, dotate di auto protettori che consentono la respirazione anche in ambienti contaminati.

Gli NBCR hanno in dotazione:

- maschere antigas;
- rilevatori di sostanze pericolose;
- sensori elettrochimici;
- particolari mezzi come unità mobili per la rilevazione di agenti chimici e nucleari, per la decontaminazione di persone, veicoli e terreno, nonché per il recupero delle sostanze pericolose.

I Nuclei NBCR sono stati organizzati gerarchicamente secondo differenti livelli, da 0 a 3, dove il 3 è quello di massima competenza.

Al Livello 0, locale, si fa riferimento a tutte le circa 500 Squadre Base dei Vigili del Fuoco che sono in servizio su automezzi attrezzati, le AutoPompeSerbatoio o APS, che assicurano la presenza con continuità e la capillarità sul territorio nazionale, garantendo il proprio intervento in 20 secondi, 24 ore su 24, per un totale di non meno di 700.000 interventi all'anno, sono state istruite sui rischi NBCR e dotate di attrezzature di primo contatto, soprattutto Dispositivi di Protezione Individuale, al cui uso vengono addestrate. Nella Figura 1 sono riportati due esempi di interventi.

Al Livello 1, anch'esso locale, i Capi Squadra delle Squadre Base di cui al Livello 0 sono stati addestrati anche ad applicare le specifiche procedure operative NBCR.

Al Livello 2 sono stati costituiti i Nuclei Provinciali NBCR: in ogni capoluogo di provincia sono stati distribuiti altri strumenti per il primo rilevamento degli agenti aggressivi e per la decontaminazione tecnica primaria, oltre che altri Dispositivi di Protezione Individuale e automezzi, sempre assicurando la necessaria formazione e l'addestramento

Al Livello 3 sono stati costituiti i Nuclei Regionali NBCR, che sono Nuclei specialistici dotati di:

- ulteriori scorte di Dispositivi Individuali di Protezione;
- attrezzature per la decontaminazione tecnica primaria e secondaria, che hanno lo scopo di ridurre la diffusione dell'agente aggressivo. La prima agisce sui soggetti

Fig. 1 – Intervento dei Nuclei NBCR.

contaminati e sui Dispostivi di Protezione Individuale dei Soccorritori, la seconda elimina le tracce residue.";
- strumenti da campo per il rilevamento degli agenti aggressivi;
- attrezzature, quali pompe, compressori, tubazione, per recuperare sostanze e mettere in sicurezza apparecchiature e contenitori;
- automezzi per il trasferimento.

Gli obiettivi dei Nuclei NBCR

Tutti i Nuclei NBCR, pur essendo stati costituiti per affrontare la nuova minaccia del terrorismo non convenzionale, intervengono normalmente negli incidenti nelle attività produttive e soprattutto negli incidenti collegati al trasporto di sostanze pericolose. Dagli inizi del 2020 sono stati poi fortemente coinvolti nella battaglia contro il coronavirus, che rappresenta una emergenza biologica e che sarà ricordata nella storia come un evento planetario.

L'esperienza acquisita negli anni e le strumentazioni, nonché i DPI all'avanguardia permettono ai Vigili del Fuoco italiani di affrontare ogni tipo di questione tecnica relativa ad ogni minaccia per la salute umana e dell'ambiente, comprese le questioni afferenti, per esempio a un virus aggressivo come nel caso del COVID19.

In una emergenza sanitaria con un virus convenzionale, come nel caso che si sta vivendo nei giorni in cui scrivo, o non convenzionale, cioè in caso di bioterrorismo, i Nuclei NBCR possono intervenire con attrezzature da campo di decontaminazione di persone ed ambienti. Le procedure utilizzate dai Nuclei Regionali, codificate in un manuale (MI, 2007) e insegnate in specifici corsi seguiti dagli operativi VF dei Nuclei, qui sintetizzate e che sono oggetto del paragrafo successivo:
- un sistema di comando e controllo dell'emergenza mutuato dall'Incident Command System, anche noto come ICS, della statunitense Federal Emergency Management Agency, la FEMA [1];

– una pianificazione dell'intervento con il cosiddetto "metodo 8 passi", una procedura che prevede 8 fasi che vanno dal controllo del sito di interesse alla chiusura dell'intervento, che a sua volta deriva dalle più diffuse procedure "HAZ-Mat" per la gestione di materiali pericolosi;
– le procedure per l'effettuazione di operazioni tecniche per la messa in sicurezza di autocisterne o ferrocisterne coinvolte in incidenti.

Il sistema di comando e di pianificazione adottato dal C.N.VV.F..
La Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile n° 1636 del 2 maggio 2006 (PCM, 2006) prevede per gli incidenti con sostanze pericolose, e più in generale per tutti gli incidenti in cui è coinvolto un elevato numero di persone, un sistema di comando basato sulla distinzione fra le operazioni d'intervento sul luogo dell'incidente e l'assistenza e l'informazione alla popolazione.

Le operazioni d'intervento sul luogo dell'incidente, effettuate dai Vigili del Fuoco, dal Servizio Sanitario, dalle Forze dell'Ordine e dalla Polizia Locale, sono dirette da un Direttore Tecnico dei Soccorsi, che deve essere identificato nel Comandante Provinciale dei Vigili del Fuoco, o comunque nel responsabile delle squadre VV.F. presente sul luogo dell'incidente, che con i responsabili dei citati Enti costituisce una Unità di Crisi Locale.

Le operazioni di assistenza e informazione alla popolazione, indicate nella direttiva come operazioni "a latere", sono dirette dal Sindaco competente per territorio che, qualora lo ritenga necessario, potrà richiedere il supporto della Città Metropolitana, della Regione e dell'Ufficio Territoriale del Governo, cioè la Prefettura, e costituire un Centro di Coordinamento composto dai rappresentanti delle Componenti e delle Strutture Operative del Servizio Nazionale di Protezione Civile che partecipano alla gestione dell'emergenza.

Per riunire l'Unità di Crisi Locale, il Corpo Nazionale si è dotato di specifici automezzi attrezzati, da adibire a Posto di Comando Avanzato da dove il Direttore Tecnico dei Soccorsi, il DTS, può dirigere le operazioni d'intervento in collaborazione con i responsabili dei Servizi Sanitari delle Forze dell'Ordine e della Polizia Locale ed essere in collegamento, grazie ai vari impianti di telecomunicazione presenti, con le rispettive Sale Operative e con i Centri di Coordinamento.

A supporto dell'attività di comando del DTS è prevista l'adozione di un sistema di comando e controllo dell'incidente, il Metodo ICS di cui si è detto al paragrafo precedente [1], che prevede che il Direttore Tecnico dei Soccorsi sia affiancato dai Responsabili delle seguenti quattro funzioni (MI, 2005):
– pianificazione;
– operazioni;
– logistica;
– finanza/amministrazione.

In particolare, per l'attività di pianificazione è prevista la stesura di un Piano d'Azione dell'Incidente (IAP) con il metodo di pianificazione "8 passi" che prevede una pianificazione tramite le otto seguenti fasi che permettono di raggiungere il risultato seguendo un percorso che affronta sequenzialmente le diverse problematiche poste dalla situazione in esame.

- controllo e gestione del sito;
- identificazione del materiale coinvolto;
- analisi dei pericoli e del rischio;
- valutazione degli indumenti protettivi e delle attrezzature;
- coordinamento delle informazioni e delle risorse;
- controllo, confinamento e contenimento del prodotto;
- decontaminazione;
- chiusura dell'intervento.

È con questa attività di pianificazione che vengono stabilite, in base a vari scenari incidentali, le distanze per l'individuazione delle zone di sicurezza e operative, i Dispositivi di Protezione Individuali da utilizzare e le procedure operative per la messa in sicurezza del sito e la risoluzione dell'incidente.

Per le zone di sicurezza e operative si utilizza l'usuale zonizzazione i (MI, 2002b):

- Zona A "calda" o "rossa": zona operativa di massima pericolosità, riservata esclusivamente a personale di contatto con protezione adeguata. Può comprendere al proprio interno una zona totalmente inaccessibile, interdetta a chiunque.
- Zona B "tiepida" o "arancio": zona operativa potenzialmente pericolosa, riservata a personale VF, sanitario e di supporto adeguatamente protetto. Zona in cui inizia il corridoio di decontaminazione.
- Zona C "fredda" o "gialla": zona operativa non pericolosa, destinata a personale dei Vigili del Fuoco, sanitario e di supporto con protezione ordinaria. Zona in cui termina il corridoio di decontaminazione, di attesa di primo livello in cui le vittime del contagio vengono affidate all'assistenza del personale sanitario.
- Zona "esterna" o "bianca": zona non pericolosa e non operativa, non soggetta a controllo e limitazione di accesso per il pubblico. In tale zona può essere opportuno, in certi casi, individuare un'area "verde" destinata alle Autorità, ai media e all'attesa di secondo livello, ad esempio per le squadre di riserva e i familiari.

Per esempio negli incidenti nel trasporto di GPL il Manuale (MI, 20027) offre una indicazione di distanze di riferimento per la zona rossa per i diversi scenari incidentali.

Nelle emergenze sanitarie tipo pandemia ma con virus "convenzionali" i Nuclei NBCR possono intervenire con attrezzature campali di decontaminazione di persone e ambienti; nel corso dei primi mesi del 2020 sono state fornite indicazioni per i vari scenari di intervento (MI, 2020).

Conclusioni

Queste poche pagine sono il racconto di una storia recente, quella dei nuclei NBCR dei Vigili del Fuoco, nati nel 2002, in prima linea contro i cosiddetti rischi non convenzionali e non solo. Quella del COVID19, che fa parte della storia attuale, è una delle situazioni in cui i Nuclei agiscono. Si spera che la storia futura sarà narrata in un mondo che dal COVID19 avrà imparato qualcosa.

Ringraziamenti

Si ringrazia tutto il personale del Nucleo Regionale Avanzato NBCR di Napoli per la grande professionalità e disponibilità sempre dimostrata.

Bibliografia

MI. 2002a. Scenari d'intervento tradizionali e non convenzionali. Organizzazione della risposta del C.N.VV.F. alle emergenze di tipo chimico, biologico, nucleare e radiologico. Circolare del n° 6 del 22 maggio 2002 del Ministero dell'Interno - Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile.

MI. 2002b. Integrazione della Circolare n°6 EM 2052/24205 del 22/05/02" prot. n° EM 4679/24205 del 2 ottobre 2002 del Ministero dell'Interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco Direzione Centrale per l'Emergenza .

MI. 2005. Sistema di comando e controllo per la gestione integrata delle emergenze a carico del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco – adozione del modello "Incident Command System" (ICS). Piani d'emergenza discendenti VF per scenari a seguito di atti deliberati con uso di sostanze convenzionali e non. Documento del Ministero dell'Interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco Direzione Centrale per l'Emergenza Area Controllo del Rischio Biologico e Chimico Prot. n° 6294/24205-EM del 29 Luglio 2005.

MI. 2007. Ministero dell'Interno - Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile direzione per l'Emergenza ed il Soccorso Tecnico, "Manuale LPG Transport Emergency" - Versione 0.4 - Agosto 2007.

MI. 2020. Linee guida per l'emergenza COVID 2019. Ministero dell'Interno Dipartimento dei Vigili del Fuoco Direzione Centrale per l'Emergenza, marzo 2020.

PCM. 2006. Indicazioni per il Coordinamento Operativo per emergenze dovute a: 1. Incidenti ferroviari con convogli passeggeri – Esplosioni o crolli di strutture con coinvolgimento di persone – Incidenti stradali che coinvolgono un gran numero di persone 2. Incidenti in mare che coinvolgono un gran numero di persone 3. Incidenti aerei 4. Incidenti con presenza di sostanze pericolose ai sensi dell'art. 5, comma 5, del decreto legge 7 settembre 2001, n. 343, convertito con modificazioni dalla legge 9 novembre 2001, n. 401, e in attuazione della Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri emanata il 6 aprile 2006 e pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 87 del 13 aprile 2006. Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Protezione Civile n° 1636 del 2 maggio 2006.

Webgrafia

[1] https://www.fema.gov/incident-command-system-resources

Author Index / Indice degli Autori

AMBROGI Vincenzo	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	487
AMORE Raffaele	Università degli Studi di Napoli Federico II	705
ARRICHIELLO Flora	Ingegnera, libera professionista	881
BELINGARDI Chiara	Sapienza Università di Roma	559
BELLICOSO Alessandra	Università degli Studi dell'Aquila	791
BERTOLAZZI Angelo	Università degli Studi di Padova	137
BIANCHI Francesco	Ingegnere	767
BOCCONCINO Maurizio Marco	Politecnico di Torino	633
BONGIOVANNI Margherita	Politecnico di Torino	855
BUCCARO Alfredo	Università degli Studi di Napoli Federico II, CIRICE	499
CALAMIA Mario	Università degli Studi di Firenze	15
CAMPOLONGO Alessandro	Università della Calabria	829
CAPANO Francesca	Università degli Studi di Napoli Federico II	671
CAPRIUOLI Federico	ACAS3D	449
CASALE Carmine	Libero Professionista, Milano	319
CINIERI Valentina	Dip. di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano	147
CIRANNA Simonetta	Università degli Studi dell'Aquila	647
COLELLA Carmine	Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche della Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti	89
COLI Massimo	Università degli Studi di Firenze	475
COLUSSI Francesco	Associazione Culturale Celanapoli	449
COMO Alessandra	Università degli Studi di Salerno	905
COMO Maria Teresa	Università degli Studi Suor Orsola Benincasa	681
COMO Mario	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	287, 299
CONFORTO Maria Letizia	Architetta	409
CORRADI Massimo	Università degli Studi di Genova	203
CUCCO Pasquale	Università degli Studi di Salerno	817
CULATTI Michele	Università eCampus	589

D'AGOSTINO Salvatore	CIBEC, Università degli Studi di Napoli Federico II	63, 219
d'AMBROSIO ALFANO Francesca R.	Università degli Studi di Salerno	545
DE MENNA Luciano	Professore Emerito dell'Università degli Studi di Napoli Federico II	31
DE SANTOLI Livio	Sapienza Università di Roma	3
DE VINCENZI Matteo	CNR-Istituto per la BioEconomia (IBE)	113
DEL REGNO Rossella	Ingegnera, libera professionista	881
DEMARTINO Cristoforo	Zhejiang University, Haining, Zhejiang, China	277
DI BATTISTA Rosanna	Architetta, libera professionista	435
DI FLORIO Vincenzo	Libero professionista	621
DI MARCO Umberto	Ingegnere	393
FASANO Gianni	CNR-Istituto per la BioEconomia (IBE)	113
FELLI Marco	Università degli Studi dell'Aquila	647
FERRIELLO Giuseppina	Architetta	189
FOSCARI Giuseppe	Università degli Studi di Salerno	523
FRANCESCHETTI Giorgio	Professore Emerito dell'Università degli Studi di Napoli Federico II	15
GAETANI Marianna	Politecnico di Torino	855
GEMINIANI Francesca	Università degli Studi dell'Aquila	647
GHERARDELLI Monica	Università degli Studi di Firenze	15
GIACCONE Domenico	Università degli Studi della Tuscia	843
GIANASSO Elena	Politecnico di Torino	511
GIANNETTI Ilaria	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	265
GÓMEZ LOPEZ Consuelo	Universidad Nacional de Educación a Distancia, España	251
GRECO Giovanna	Università degli Studi di Napoli Federico II	367, 383
GRECO Laura	Università della Calabria	345
GUAGLIARDI Valentina	Università della Calabria	743
GUARDIGLI Luca	Alma Mater Studiorum Università di Bologna	237
GUIDOBONI Emanuela	INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	45
IANNIELLO Carmine	Università degli Studi di Napoli Federico II	127
JAPPELLI Ruggiero	Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"	77
JAPPELLI Valentina	Architetta	77

LA VEGLIA Michele Maria	Direzione Regionale Vigili del Fuoco del soccorso pubblico e della difesa civile della Campania	915
LEGGIERI Carlo	Associazione Culturale Celanapoli	449
LIZZA Andrea	Ordine degli Ingegneri di Napoli	159, 601
MARINO Giulia	Université catholique de Louvain, Belgique	869
MARINO Luigi	Università degli Studi di Firenze	475
MARMO Francesco	Università degli Studi di Napoli Federico II	277
MATTOGNO Claudia	Sapienza Università di Roma	559
MAZZANTI Claudio	Università "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara	803
MICCIO Gennaro	Dirigente MiBACT	691
MOLARI Pier Gabriele	Alma Mater Studiorum Università di Bologna	393, 435, 487
MONTELEONE Maria Carmela	Northumbria University, United Kingdom	173
MOROSINI Stefano	Politecnico di Milano	719, 733
NARDI Ettore	Università degli Studi di Napoli Federico II	309
NATALE Anna	Università degli Studi di Napoli Federico II	309
NOVELLO Giuseppa	Politecnico di Torino	633
OMBRATO Luigi	Università degli Studi di Napoli Federico II	463
PAPA Lia M.	Università degli Studi di Napoli Federico II	661
PARADISO Massimo	Università degli Studi di Napoli Federico II	277
PELIZZARI Maria Rosaria	OGEPO, Università degli Studi di Salerno	545
PELLECCHIA Davide	Università degli Studi di Napoli Federico II	277
PENSA Claudio	Università degli Studi di Napoli Federico II	463
PEPE Daniela	Università degli Studi di Salerno	545
PEZONE Maria Gabriella	Università della Campania "Luigi Vanvitelli"	777
PICCOLO Carmine	INAIL Direzione Regionale, UOT CVR Avellino	611
PRATI Davide	Alma Mater Studiorum Università di Bologna	237
RASULO Alessandro	Ingegnere	755
RASULO Giacomo	Università degli Studi di Napoli Federico II	755
RIBERA Federica	Università degli Studi di Salerno	817, 881
ROSATI Luciano	Università degli Studi di Napoli Federico II	277

ROTTENBACHER Carlo E.	Università di Pavia	355
ROVIDA Edoardo	Politecnico di Milano	355
RUGGIERO Francesco	Politecnico di Bari	571
RUGGIERO Umberto	Professore Emerito del Politecnico di Bari	571
SCALETTI CARDENAS Adriana Nora	Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima	803
SERAFINI Caterina	Archivio Storico della Ferrovia Sangritana	621
SESSA Salvatore	Università degli Studi di Napoli Federico II	277
SILVESTRI Andrea	Politecnico di Milano	719, 733
SIVIERO Enzo	Università eCampus	589
SMERAGLIUOLO PERROTTA Luisa	Università degli Studi di Salerno	905
SORRENTINO Vincenzo	Università degli Studi di Napoli Federico II	463
SPADA Francesco	Università della Calabria	333
STENDARDO Luigi	Università degli Studi di Napoli Federico II	137
TACCHELLA Claudia	Università degli Studi di Genova	101
TALENTI Simona	Università degli Studi di Salerno	895
TEDESCHINI Federica	Ingegnera, Libera Professionista	791
TEODOSIO Annarita	Università degli Studi di Salerno	895
TERRACCIANO Mariangela	Università degli Studi di Napoli Federico II	705
TOCCO SCIARELLI Giuliana	Già Soprintendente Archeologica delle Province di Salerno, Avellino e Benevento	421
TOSONE Alessandra	Università degli Studi dell'Aquila	791
TRISOGLIO Fabrizio	Fondazione AEM - Gruppo A2A	719, 733
TURCO Giacomo Aldo	Fotografo paesaggista	147
VAIANA Nicolò	Università degli Studi di Napoli Federico II	277
VALENTINO Gabriella	Università degli Studi di Napoli Federico II	309
ZAMPERINI Emanuele	Politecnico di Milano	531
ZANCHETTIN Alberto	Università eCampus	589
ZAZZARO Chiara	Università degli Studi di Napoli "L'Orientale"	463